

Comportamiento dinámico y reacción de evitamiento en cardúmenes de peces pelágicos ante el estímulo del buque de prospección acústica, observados a través de un sonar multihaz

Patrice Brehmer, François Gerlotto y Alina Achury

Resumen. Se ha estudiado el comportamiento de nado de *Sardinella aurita* usando un sonar omnidireccional Simrad SR240 a bordo del B/O Antea en aguas venezolanas. Se presenta una metodología nueva de adquisición y procesamiento de los datos del sonar, que permite extraer informaciones sobre la dinámica y la estructura espacial de los cardúmenes presentes. La reacción de evitamiento es significativamente mayor (20%) durante las operaciones de arrastre (velocidad 3-4 nudos) que durante la prospección acústica (velocidad 5-6 nudos). Durante esta última, el 32% de los cardúmenes evita el buque. Existen varias diferencias en esta reacción: los cardúmenes evitan de forma más activa de día que de noche; los juveniles evitan más que los adultos. Según nuestros resultados, la diferencia de evitamiento entre períodos de pesca y de prospección se debe a la velocidad de la embarcación.

Palabras clave. Sonar. Dinámica. Comportamiento. *Sardinella aurita*. Evitamiento.

Dynamic and avoidance behaviour of tropical pelagic schools facing a research vessel during acoustic surveys, as studied by omnidirectional multi-beam sonar

Abstract. The swimming behaviour of *Sardinella aurita* schools has been observed with an omnidirectional sonar Simrad SR240 aboard the R/V Antea in Venezuelan waters. A new methodology for acquiring and processing sonar data is presented. It allows to extract information about the dynamics and spatial structures of a large number of schools. The avoidance is significantly stronger (20%) in trawling (3-4 knots) speed than in survey speed (5-6 knots). Juveniles present a stronger avoidance reaction than the adults. During acoustic surveys, around 32% of the schools avoid the vessel. The avoidance behaviour is different by day and by night, fish avoiding more actively by day. According to our results, it seems that the difference in avoidance reactions between trawling and survey is most likely due to the boat speed.

Key words. Sonar. Dynamic. Behaviour. *Sardinella aurita*. Avoidance.

Introducción

La reacción natural de las agregaciones de peces pelágicos frente a un estímulo externo sonoro o visual (una embarcación, por ejemplo), ha interesado a numerosos autores, aunque poco se ha estudiado la velocidad de nado de las especies pelágicas *in situ*. Por otra parte, las velocidades individuales, estudiadas generalmente en laboratorio, están bien documentadas, aunque en este tipo de experiencias el cautiverio limita las capacidades dinámicas de los peces. Se han llevado a cabo también

aproximaciones teóricas y empíricas por diversos métodos para determinar la velocidad de nado de los cardúmenes (Blaxter 1967, Hara 1986, Fricke 1987). Recientemente, gracias a la aparición de una nueva generación de sonares omnidireccionales de relativamente baja frecuencia, la observación directa de los cardúmenes a mayor escala e *in situ* ha permitido estudiar su comportamiento dinámico (Goncharov *et al.* 1989, Misund 1990, Hafsteinsson y Misund 1995) y su estructuración espacial (Petitgas *et al.* 1996). Igualmente hace posible evaluar el impacto de la pesca sobre un ecosistema y manejar el error de origen etológico que afecta las estimaciones directas e indirectas del stock.

Los cruceros clásicos de ecointegración sufren un sesgo debido a que parte de los cardúmenes encontrados a lo largo de la ruta presentan una reacción de evitamiento con respecto a la embarcación (Dalen y Nakken 1983, Ona y Toresen 1988, Misund y Algen 1992, Fréon *et al.* 1993, Gerlotto 1993, Coetzee *et al.* 2000). Este tipo de comportamiento es hoy en día ampliamente aceptado para diversas especies pelágicas explotadas. Según Urick (1967) y Chapman y Hawkins (1969), los peces teleósteos son sensibles a las ondas sonoras de baja frecuencia emitidas por las embarcaciones, principalmente entre 40 y 500 Hz.

Se pretende cuantificar la reacción de evitamiento de un stock de peces pelágicos tropicales (*Sardinella aurita*), en dos localidades la región oriental de Venezuela y comparar su comportamiento dinámico en condiciones naturales (con la embarcación a la deriva) y ante el estímulo de la embarcación en marcha. Se han utilizado diferentes configuraciones operativas, temporales y geográficas de observación, con el fin de conocer el efecto de estos parámetros sobre la dinámica y evitamiento de los peces, y por consiguiente, sobre las estimaciones de biomasa íctica por métodos acústicos (Brehmer 1998).

Sardinella aurita, con una CPUE (Captura Por Unidad de Esfuerzo) promedio de 35,85 ton/faena de pesca para el período 1995-2000 (Tabla 1), es la especie con mayor volumen de captura en Venezuela (Cervigón 1991, Novoa *et al.* 1998) y un eslabón esencial en la cadena trófica. La pesquería de esta especie es practicada en las costas del oriente venezolano, su captura se usa para el consumo humano (fresca y enlatada), elaboración de harina de pescado y como carnada en la pesca de otras especies de interés comercial como atún, pargo y mero (Guzmán *et al.* 1998).

Materiales y Métodos

Las observaciones se hicieron en el golfo de Cariaco y al norte de la península Araya, a bordo del B/O ANTEA (IRD, 38 m) durante la campaña de prospección acústica VARGET 2/98. Un total de 223 cardúmenes fueron registrados por un sonar omnidireccional multihaz de largo alcance SimradTM SR240 con frecuencia simultánea de 23,75 kHz en los 32 haces del transductor esférico y una escala horizontal entre 400 y 800 m de radio. Se utilizó también una ecosonda Biosonics 102 (38 kHz). Los registros fueron tratados a través de dos filtros proporcionados por el

Tabla 1. Variación de algunos índices pesqueros para la sardina en el oriente de Venezuela Período 1995-2000. Fuente: INIA-Sucre, Venezuela.

Año	Captura (ton)	Esfuerzo (faenas de pesca)	CPUE (ton/faena)
1995	95097	2177	43,68
1996	139352	3458	40,30
1997	131871	3225	40,89
1998	105768	2936	36,02
1999	111992	4467	25,07
2000	106750	3659	29,17

sonar: el primero hace una comparación cada ocho emisiones (“pings”) sucesivas para dar una imagen sonar más estable, el segundo elimina de manera drástica el efecto de la reverberación (Diner y Marchand 1995), las interferencias y todos los ecos parásitos; estos filtros limitan el estudio desde el punto de vista teórico a los cardúmenes con una estructura suficientemente compacta. El ángulo de inclinación del haz total (36°) es de -5° y la función de ganancia cronovariada (TVG), de 30 Log R . Los datos del sonar (Figura 1) fueron guardados en cintas magnéticas S-VHS, y luego digitalizados por una carta de adquisición de video (software DVP, ISVR III). En las diferentes campañas realizadas utilizando los mismos equipos acústicos, todos los cardúmenes detectados por la ecosonda han sido observados previamente en el sonar. Los datos de la ecosonda fueron retranscritos a ecogramas vía Movies-B (Weill *et al.* 1993).

Los registros fueron hechos bajo dos modos operativos diferentes: en movimiento y a la deriva. Las prospecciones en movimiento tenían como objetivo observar las reacciones dinámicas de *S. aurita* al aproximarse el buque y cuantificar la reacción de evitamiento lateral. Se hicieron observaciones diurnas y nocturnas a velocidades entre 5 y 6 nudos (prospección) y entre 3 y 4 nudos (pesca) sobre dos grupos de talla de *S. aurita* (Longitud a la furca: $L_f = 12 \text{ cm}$ y 18 cm).

Durante las operaciones de deriva, el motor se encontraba apagado y la iluminación nocturna era mínima, para reducir la perturbación sonora o visual creada por la embarcación, con el fin de observar los cardúmenes en condición natural (Gerlotto 1993).

Se llevaron a cabo pescas regulares de identificación sobre los cardúmenes observados en el sonar con una red pelágica de 25×38 metros de abertura. La temperatura y salinidad fueron obtenidas por un CTD Seabird 911 (Tabla 2). Estos datos permitieron calcular la velocidad del sonido de acuerdo con la profundidad.

El análisis de datos del sonar se llevó a cabo utilizando el software Infobancs, desarrollado en Visual Basic. Este programa permite determinar la trayectoria de cada cardumen, así como la del buque. Las velocidades instantánea y de exploración de los cardúmenes fueron calculadas por fórmulas euclidianas clásicas, así como su talla (L_w)

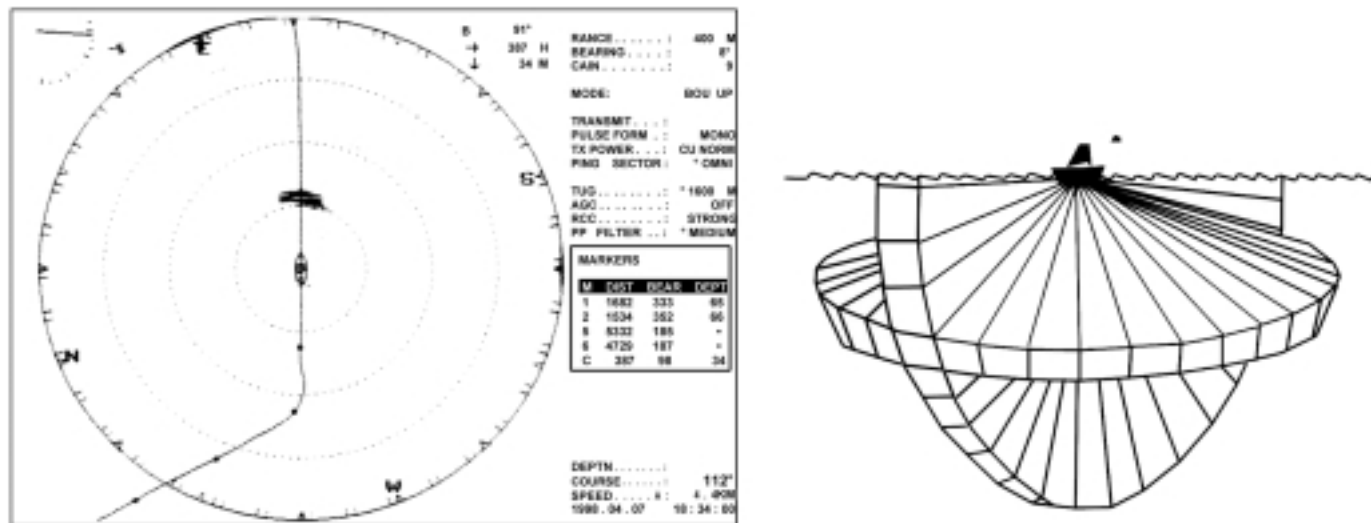


Figura 1. Imagen de sonar omnidireccional SR240 (izq.) durante una operación de prospección (Varget 2/98), la embarcación se encuentra en el centro del círculo, el eco sobre la línea de ruta (línea vertical) es el eco útil de un cardúmen. A la derecha de la pantalla se presentan los resultados y configuraciones. Der.: Patrón de emisión del SR240.

y distancia a la embarcación. La velocidad instantánea fue calculada cada 30 segundos (Misund 1990), la velocidad de exploración se calculó con la primera y última señal sonar de un cardumen. Se hace énfasis en la velocidad horizontal ya que Misund *et al.* (1993) han demostrado la débil variación de las velocidades verticales. La velocidad horizontal ha sido descompuesta en cinco variables: velocidad de exploración, velocidad instantánea de donde se extrae la desviación típica, la máxima y la mínima. Las mediciones de velocidad se hicieron en metros por segundo (m/s) o en longitud de cuerpo por segundo (Bl/s, de "Body length/s"). Los resultados se presentan como un archivo de datos estándar ASCII.

Tabla 2. Promedio de las variables ambientales en las dos zonas estudiadas: golfo de Cariaco y norte de Araya

CTD PROMEDIO	Golfo de Cariaco	Norte de Araya
Salinidad (‰)	36,67	36,59
Temperatura (°C)	20,61	22,76
Veloc. del sonido (m/s)	1525,42	1530,82

La talla de los cardúmenes (L_w) está dada por la mayor medida registrada durante su observación. Los bancos observados por el sonar y detectados posteriormente por la sonda son considerados como aquellos que no evitan la embarcación. Finalmente se han clasificado los cardúmenes según diferentes categorías temporales, geográficas y operativas respectivamente, según su registro se haya hecho de día o de noche, sobre una población juvenil ($L_f = 12$ cm) del golfo de Cariaco o adulta ($L_f = 18$ cm) al norte de Araya, y a velocidad de pesca o de prospección. Tres operaciones de deriva han permitido registrar los cardúmenes en condición natural, de día y de noche. Se observaron 183 cardúmenes en ocho operaciones de prospección y 40 en deriva. La reacción de evitamiento se ha podido cuantificar a través de 183 cardúmenes, de los cuales 135 fueron seleccionados por su validez acústica (Hafsteinsson y Misund 1995), de donde se extrajeron las variables de velocidad. Se trató de cardúmenes de *S. aurita*. En varias oportunidades se registró la presencia de *Trichiurus lepturus* (predador natural de la sardina) en las capturas.

Resultados

Se observaron altos porcentajes (hasta 69%) de evitamiento en las concentraciones de *Sardinella* juveniles durante la noche, a velocidad de pesca. Por el contrario, a velocidad de prospección, sólo el 32,5% de los cardúmenes evitaron la embarcación (Figura 2). Este porcentaje puede descender hasta 25,5% en operación diurna sobre individuos adultos ($L_f = 18$ cm).

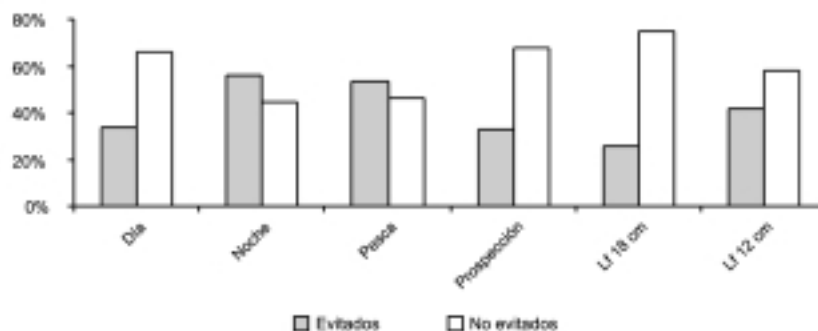


Figura 2. Reacción de evitamiento al buque (expresado en %) de los cardúmenes de *S. aurita*; se observan algunos efectos que parecen influenciar esta reacción, principalmente la velocidad de la embarcación y la talla de los peces.

A fin de determinar la influencia del período nictemeral, de la velocidad del buque y de la talla individual de los peces sobre el evitamiento horizontal de los cardúmenes, se hizo un análisis de regresión logística (Tabla 3). Este análisis confirma un aumento significativo del evitamiento, relacionado por un lado con la velocidad del buque, y por otro, con la talla de los peces estudiados: los cardúmenes del golfo de Cariaco (Lf= 12 cm) evitan más la embarcación que los observados al norte de Araya (Lf= 18 cm).

Por el contrario, la alternancia día/noche no parece afectar las velocidades en cardúmenes de un mismo grupo, según los resultados de la regresión logística. En horas nocturnas, algunos cardúmenes presentaron un comportamiento casi estático de 0,5 Bl/s (Body length by second), es decir 0,06 m/s en velocidad de exploración (nótese que este valor se refiere a nivel colectivo y no individual). La velocidad de exploración media es de 0,63 m/s = 5,25 Bl/s. Se obtuvo también una desviación estándar importante entre los cardúmenes diurnos, algunos de ellos alcanzaron velocidades instantáneas de hasta 14 Bl/s para las poblaciones de juveniles y de 22,5 para los adultos (Lf= 12 y 18 cm respectivamente). Según el análisis de regresión logística, el evitamiento está de hecho menos influenciado por el período nictemeral (Tabla 3).

Las variables de velocidad de nado obtenidas han sido tratadas en tres series de análisis de varianza (Tabla 4) según los criterios de clasificación: día/noche, deriva/prospección y Cariaco/norte de Araya. Al comparar las agregaciones registradas en condición natural y bajo la influencia de la embarcación, sólo difieren significativamente en la velocidad instantánea mínima. Con el buque a la deriva, las velocidades de exploración, instantánea y mínima, difieren significativamente entre el día y la noche para una misma clase de tallas (velocidades mayores durante el día). Las mismas variables cambian también significativamente con la talla de los peces. La velocidad del buque tiene una influencia casi nula sobre la velocidad del cardumen, en cambio se observa un marcado efecto de la talla de los individuos sobre las variables de velocidad (aumentan en las agregaciones de peces adultos), igual parece ser el caso del día frente a la noche (Tabla 4).

Tabla 3. Análisis de regresión logística (S-plus, 97) sobre 183 cardúmenes, para la variable indicadora de evitamiento en función de tres factores: zona, período y velocidad del B/O.

Tendencias ajustadas (1)	Coefficiente	Error est.	t(*)	T pr.	Variable : evitado/ no evitado
Constante	0.806	0.274	2.94	0.003	Distribución: binomial
Velocidad B/O	-1.543	0.385	-4.01	< .001*	Función : logística
Zona	-2.020	0.584	-3.46	< .001*	= log(h / n-h)
Velocidad B/O. Zona	2.066	0.828	2.50	0.013*	
Período	-0.002	0.410	-0.01	0.995	
Tendencias ajustadas (2)					
Constante	0.631	0.247	2.56	0.011	
Velocidad B/O	-1.199	0.336	-3.56	<0.001*	
Zona	-1.464	0.403	-3.63	<0.001*	Velocidad B/O: prospección / pesca
Constante	0.174	0.209	0.83	0.405	Zona: golfo de Cariaco Lf=18cm/ Norte de Araya Lf=12cm
Período	-0.835	0.305	-2.74	0.006*	Período: día / noche

Tabla 4. Análisis de varianza con un criterio de clasificación, sobre las variables descriptivas del comportamiento dinámico de los cardúmenes observados. Se han constituido tres grupos de datos: todos los cardúmenes observados (movimiento y deriva) y los observados en cada una de estas condiciones particularmente. La ANOVA 4 está hecha sobre un reagrupamiento más fino de los datos. Las variables significativas se encuentran marcadas*.

		Suma de cuadrados	g.l.	Error g.l.	F	P
ANOVA 1	Grupo 2: movimiento	Efecto significativo marcado* $p < 0.05$ / Variable de clasificación longitud a la furca (pareado con el período diurno).				
	Veloc. de explor.	20,398	1	80	0,303	<0.0000*
	Veloc. instant.	5,225	1	80	52,133	<0.0000*
	Talla cardumen	8,514,393	1	80	103,07	<0.0000*
	Desv. Estandar	1,445	1	80	25,458	0.00003*
	Max.	12,208	1	80	265,539	0.00002*
	Min.	1,708	1	80	36.68	<0.0000*
ANOVA 2	Grupo 2: movimiento + deriva	Efecto significativo marcado* $p < 0.05$ / Variable de clasificación: movimiento/ deriva				
	Veloc. de explor.	0,00	1	120	0,0003	0.9849
	Veloc. instant.	0,04	1	120	0,2811	0.5969
	Talla cardumen	11798,76	1	120	341,731	<0.0000*
	Desv. Estandar	0,06	1	120	0,7021	0.4037
	Max.	1,79	1	120	31,605	0.0779
	Min.	0,26	1	120	47,014	0.03211*
ANOVA 3	Grupo 3: deriva	Efecto significativo marcado* $p < 0.05$ / Variable de clasificación: día / noche				
	Veloc. de explor.	1,088	1	38	62,529	0.0141*
	Veloc. instant.	0,657	1	38	117,697	0.0014*
	Talla cardumen	1,900,504	1	38	29,587	0.0935
	Desv. Estandar	0,282	1	38	22,904	0.1384
	Max.	23,603	1	38	22,301	0.1436
	Min.	0,348	1	38	168,527	0.0002*
ANOVA 4	Grupo 4: movimiento y deriva día	Efecto significativo marcado* $p < 0.05$ / Variable de clasificación: talla Lf 18/Lf 12cm				
	Veloc. de explor.	5,492	1	32	62,529	0.0141*
	Veloc. instant.	13,459	1	32	117,697	0.0014*
	Talla cardumen	427.51	1	32	29,587	0.0935
	Desv. Estandar	0,118	1	32	22,904	0.1384
	Max.	5,316	1	32	22,301	0.1436
	Min.	0,665	1	32	168,527	0.0002*

Discusión y Conclusiones

Los registros del SR240 concuerdan con los resultados obtenidos por Misund y Aglen (1992), quienes utilizaron el modo Frecuencia Modulada (Simrad 1992) para seguir los cardúmenes. En FM, el sonar cambia automáticamente la frecuencia de emisión para optimizar las detecciones. Para este estudio se ha cambiado la metodología, trabajando en monofrecuencia, lo cual permite hacer un tratamiento coherente del nivel de ecos recibidos, sin tener en cuenta el efecto del filtro Reverberation Control Gain (Simrad 1992) ni que las correcciones de ganancia automática hayan sido suprimidas (Automatic Gain Control no activada). El PP filter (filtro emisión por emisión “ping to ping” que compara 2, 4 u 8 emisiones sucesivas) se utilizó en modo fuerte, que compara cada ocho emisiones. Esta configuración permite observar la dinámica de diferentes bancos simultáneamente sobre un plano omnidireccional sin las limitaciones de la modulación automática de frecuencia, aunque con el riesgo de no detectar los cardúmenes más pequeños y difusos. La información de profundidad del cardumen se pierde de esta manera, pero según Misund (1991), este parámetro tiene poca importancia en comparación con el desplazamiento horizontal. La metodología utilizada permite observar el comportamiento durante períodos más largos, lo que abre la puerta a estudios etológicos más ambiciosos, observando la estructuración espacial y la dinámica de repartición o de fusión/división de cardúmenes (Hafsteinsson y Misund 1995). Igualmente permitirá en el futuro aumentar de manera notable la superficie muestreada en un transecto.

Se observan fuertes fluctuaciones en las variables de velocidad. Los cardúmenes sometidos a predación pueden presentar las velocidades instantáneas máximas más elevadas (Pitcher *et al.* 1996). Una pesca de comprobación pone en evidencia la presencia de tajalí (*Trichiurus lepturus*), predador natural de las sardinias, relacionada con las máximas velocidades registradas. Los cardúmenes de *Sardinella aurita* que presentaron menores velocidades de desplazamiento se encontraron principalmente en horas nocturnas, lo cual sugiere un comportamiento de alimentación sobre la capa de plancton. Existe una alta variación en el comportamiento dinámico de los cardúmenes, aún dentro de un mismo criterio de clasificación (tanto diurnos como nocturnos), esta alta variación ha sido reportada por Pitcher *et al.* (1996). Las variables descriptivas de la velocidad dependen de diferentes parámetros, algunos de ellos estudiados aquí, entre los cuales se han identificado el ciclo nictemeral y la talla de los peces, confirmados anteriormente para otras especies pelágicas (Blaxter 1967, Hara 1986, Misund y Aglen 1992).

El evitamiento, por su parte, está fuertemente influenciado por la velocidad del barco y la talla de los peces (en este caso, la talla corresponde a un cambio en la ubicación geográfica). La reacción de evitamiento se hace más fuerte en el golfo de Cariaco que al norte de Araya, aunque no se observaron diferencias importantes en las condiciones ambientales (Tabla 2) en ambas localidades. A velocidad de prospección el evitamiento es notablemente inferior al observado en operaciones de pesca,

resultado aparentemente contradictorio: usualmente el evitamiento es relacionado con el ruido, el cual aumenta con la velocidad, por lo tanto se esperaba una reacción de evitamiento mayor a 5-6 nudos que a 3-4. Existen dos explicaciones posibles para este hecho.

Algunas mediciones parecen demostrar que el ruido del B/O Antea no sigue una relación lineal con la velocidad. No se calculó el ruido a las frecuencias sonoras recibidas por *S. aurita*, lo que impide concluir sobre esta posibilidad. Sin embargo el ruido medido por la ecosonda a 38 kHz demuestra que a esta frecuencia es mayor a 3-4 que a 5-6 nudos (Figura 3).

La operación de pesca introduce una fuente adicional de ruido, proveniente del arte de pesca. Este fenómeno es conocido (MacLennan and Hawkins 1977) y es la razón más probable del aumento del evitamiento durante las pescas.

Desde el punto de vista etológico, esta observación lleva a una pregunta importante: si el ruido del arte de pesca es cualitativamente diferente del ruido del barco ¿sería posible que los cardúmenes “aprendan” a relacionar este ruido con el riesgo de ser capturado, y por consiguiente ajustar su evitamiento a un espectro más que a una intensidad sonora?

Sin embargo el factor presencia/ausencia de la embarcación no parece generar perturbaciones importantes en el comportamiento de las agregaciones y sólo la velocidad instantánea mínima varía significativamente con el cambio de deriva a prospección. Ninguna de las variables descriptivas de velocidad parece variar entre los cardúmenes que evitan el buque y los que no lo hacen. Podría pensarse que el efecto del buque genera una débil y homogénea variación en el comportamiento de todos los cardúmenes, observados o no por la ecosonda. Los cardúmenes que evitan el buque a gran distancia cambian su dirección pero no su velocidad ante el estímulo sonoro generado por el barco. A corta distancia, el estímulo visual opera sobre el comportamiento de nado y aumenta los valores de velocidad mínima.

Se nota cierta ambigüedad entre los resultados de la ANOVA y los de la regresión logística: el efecto de la alternancia día/noche resulta significativo sobre tres variables de velocidad según el análisis de la varianza, pero la regresión logística le resta importancia frente a la variación debida a la talla individual (L_f) y a la velocidad de navegación del buque, que resultaron altamente significativos ($p < 0,001$). Sin embargo, al tomar como variable sólo el período (día/noche), este parámetro resulta tener una influencia muy significativa en el evitamiento ($p = 0,006$). Se debe tomar en cuenta que hubo desequilibrio en el muestreo a velocidad de prospección, en este caso los cardúmenes diurnos no pasan del 20% del total estudiado. Por otro lado, una variación del comportamiento dinámico descrito únicamente por la velocidad no permite juzgar la eficacia en la reacción de evitamiento de un cardumen al estímulo generado por el buque. Es necesario hacer un estudio vectorial de los desplazamientos, este estudio puede hacerse gráficamente o a través de un algoritmo particular en vía de desarrollo.

El evitamiento de *Sardinella aurita* parece estar ligado a su comportamiento dinámico, el cual a su vez está determinado por factores bióticos y abióticos,

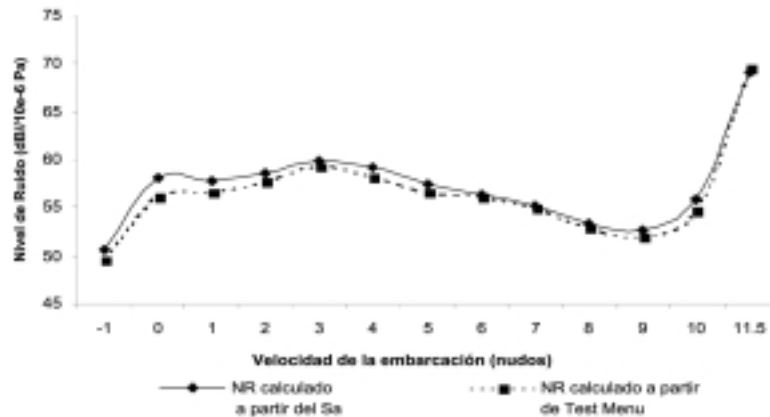


Figura 3. Medición del ruido generado por el B/O Antea a diferentes velocidades en marzo de 1999. Se utilizó una ecosonda Simrad EK500 (E. Josse, com. pers, IRD/US004). En el eje X, -1 significa que el motor se encuentra apagado, motor encendido en 0.

principalmente la talla de los individuos (juvenil/adulto) y el período día/noche, y ante la presencia de una embarcación, su velocidad de navegación y el ruido generado por una red de arrastre. Todas las variables descriptivas de la velocidad para *S. aurita* aumentan significativamente frente a dos condiciones diferentes: por una parte aumenta en los adultos ($L_f=18\text{cm}$) en relación a los juveniles ($L_f=12\text{ cm}$) y por otra es mayor durante las observaciones diurnas en relación a las nocturnas. La mayor tasa de evitamiento se obtuvo cuando la embarcación se desplazaba a baja velocidad, hecho que sería interesante confirmar mediante estudios posteriores a fin de conocer el o los componentes etológicos responsables de este comportamiento. El evitamiento diurno es de 34%, mientras que el nocturno alcanza el 55,8%. Esto resulta contradictorio con la idea general de que los cardúmenes de pequeños pelágicos presentan una reacción de evitamiento más fuerte en horas diurnas, sin embargo no es del todo incompatible con observaciones anteriores en que si bien la biomasa es mayor durante la noche, la densidad de cardúmenes es superior durante el día (Gerlotto 1993).

Hasta un 8% de los cardúmenes observados a velocidad de prospección registraron evitamiento parcial, que se traduce en una pérdida de densidad de peces no despreciable (Ona 2000) estimada alrededor del 5% del cardumen, además del 32,5% subestimado en el número de cardúmenes debido al evitamiento total de los peces a velocidad de prospección. Estos valores inciden en la biomasa de peces calculada a través de métodos acústicos.

El evitamiento es la mayor fuente de sesgo en las estimaciones de biomasa mediante el uso de ecosondas. Además, los peces en estadios juveniles evitan el buque de prospección más que los adultos, afectando la talla promedio calculada a partir de muestreos biológicos. La solución de aplicar correcciones basadas en estos resultados no elimina la necesidad de comprender el comportamiento de los peces ante la

presencia de un buque en prospección y considerar la existencia del componente etológico en el error de estimación (Brehmer *et al.* 2000).

La fuerte tasa de evitamiento podría explicarse por la presencia de una vejiga natatoria en las sardinas, que las hace más sensibles a las emisiones de bajas frecuencias. Sería interesante conocer el diagrama de directividad de la superficie de ruido emitido por el B/O ANTEA, buque tipo catamarán, susceptible de emitir un fuerte ruido de resonancia entre los dos cascos.

Durante las operaciones de pesca más de la mitad de los cardúmenes evitan la embarcación (Figura 2). Sin embargo los valores de evitamiento obtenidos en este estudio no deben ser aplicados a las faenas de pesca comercial. A diferencia de la presencia de una embarcación de tamaño considerable que sigue una trayectoria ya establecida, la pesca artesanal de sardina en el oriente venezolano es practicada a bordo de embarcaciones de menor tamaño equipadas con cercos sardineros. El sistema de búsqueda impide que los peces escapen de manera tan eficiente, ya que los pescadores ubican y rodean los cardúmenes con las redes antes de acercarse a ellos, además es de esperar que el patrón de directividad del ruido generado por estas embarcaciones y sus artes de pesca sea muy diferente al de un buque de prospección acústica.

Agradecimientos. A la tripulación del B/O Antea, a Noël Diner del Ifremer por la calibración del sonar, a Francis Laloe por su iniciación a la regresión logística, a Francis Gallois, Jaques Grellet y Jean-Pierre Lamoureux por el apoyo técnico, con la colaboración de B. Samb (CRO-DT/ISRA) y Luis González (Fundación La Salle). A la Fundación La Salle (Hermano Ginés, Juan José Cárdenas) por su acogida durante la campaña Varget 2/98. Al Pr Lumaret de la Universidad de Montpellier III.

Bibliografía.

- BLAXTER, J. H. S. 1967. Swimming speed of fish. *Fao fisheries report* 62: 69-100.
- BREHMER, P. 1998. Dynamique et évitement face à un navire de prospection acoustique, des bancs de poissons pélagiques tropicaux étudiés pas sonar omnidirectionel. Document ENSAR-Diplome d'études approfondies OEM/09. 7pp.
- BREHMER, P., F. GERLOTTO Y B. SAMB. 2000. Measuring fish avoidance during surveys. ICES CM K07, Annual, Bruges, Belgium. September 24-27 2000.
- CÁRDENAS, J. J. Y A. ACHURY. 2000. Acústica pesquera de los recursos marinos del nororiente de Venezuela: evaluación y seguimiento espacio-temporal del stock de sardina (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847). *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales* 154: 39-54.
- CERVIGÓN, F. 1991. Los peces marinos de Venezuela. Fundación Científica Los Roques. 2da edición. 425 pp.
- CHAPMAN, C. J. Y A. D. HAWKINS. 1969. The importance of sound in fish behaviour, in relation to capture by trawl. *FAO fisheries Report* 62(3): 717-729.
- COETZEE, J., O. A. MISUND Y D. BOYER. Survey vessel avoidance reaction of sardinella off Angola. ICES CM 2000/K:10.

- DALEN, J. y O. NAKKEN. 1983. The application of the conventional echo integration methods. CIEM CM 1983/B:19.
- DINER, N. y P. MARCHAND. 1995. Acoustique et pêche maritime. Ifremer, Brest. 147pp.
- FRÉON, P., F. GERLOTTO y O. A. MISUND. 1993. Consequence of fish behaviour for stock assessment. *ICES Marine Science Symposia* 196: 190-195.
- FRICKE, R., H. HANDERMANN, S. STAHLBERG, y P. PECKMANN. 1987. The compatible critical swimming speed: A new measure for the specific performance of swimming fishes. *Zoologische-Jahrbucher-Abteilung-fur-allgemeine-Zoologie-und-Physiologie-der-Tiere* 91: 101-111.
- GERLOTTO, F. 1993. Methodologie d'observation et d'évaluation par hydroacoustique des stocks tropicaux de poissons pelagiques cotiers: impact du comportement et de la distribution spatiale. These doctorale, Université de Bretagne Occidentale, Brest.
- GONCHAROV, S. M., E. S.BORISENKO, y A. I. PYANOV, 1989. Jack Mackerel school defense reaction to a surveying vessel. *Proceedings of the Institute of Acoustics* 11(3) 74-78.
- GUZMÁN, R., G. GÓMEZ y M. PENOTT. 1998. Aspectos biológicos y pesquería de la sardina (*Sardinella aurita*) en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. FONAIAP 16(2): 149-162.
- HAFSTEINSSON, M. T. y O. A. MISUND. 1995. Recording the migration behaviour of fish schools by multi-beam sonar during conventional acoustic surveys. *ICES Journal of Marine Science* 52: 915-924.
- HARA, I. 1986. Swimming speed of sardine school on the basis of Aerial survey. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 53(2): 223-227.
- MACLENNAN, D. N. y A. D. HAWKINS. 1977. Acoustic position fixing in fisheries research. *En: A Symposium on Hydro-Acoustics in Fisheries Research*. Bergen, Norway. 19 Jun 1973. Reunion du Conseil International pour l'Exploration de la Mer 170: 88-97
- MISUND O. A. 1990. Sonar observations of schooling herring: school dimensions, swimming behaviour, and avoidance of vessel and purse seine. *Rapport Reunion du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 189: 135-146.
- MISUND, O. A. 1991. Swimming behaviour of schools related to fish capture and acoustic abundance estimation. PhD. Thesis, University Bergen, Norway.
- MISUND, O. A. y A. AGLÉN. 1992. Swimming behaviour of fish schools in the North Sea during acoustic surveying and pelagic trawl sampling. *ICES Journal of Marine Science* 49: 325-334.
- MISUND, O. A., A. AGLÉN, S. O. JOHANNESSEN, D. S. KAGLÉN y B. TOTLAND. 1993. Assessing the reliability of fish density estimates by monitoring the swimming behaviour of fish schools during acoustic surveys. *ICES Marine Science Symposium* 196: 202-206.
- NOVOA, D., J. MENDOZA, L. MARCANO y J. J. CÁRDENAS. 1998. Atlas pesquero marítimo de Venezuela. MAC-SARPA y VECEP, Caracas. 197 pp.
- ONA, E. y R.TORESEN, 1988. Reactions of herring to trawling noise. ICES/FCC/CM 1988/ B: 36.
- PETTIGAS, P., L. MONINEAU, P. BREHMER, y F. GERLOTTO, 1996. Characterizing the spatial distribution of fish school with a point process approach: a first application on sonar recording. CIEM CM 1996/B: 31. 16pp.
- PITCHER, T. J., O. A. MISUND, A. FERNO, B. TOTLAND y V. MELLE. 1996. Adaptive behaviour of Herring schools in the Norwegian sea as revealed by high-resolution sonar. *ICES Journal of Marine Science* 53: 449-452.
- SIMRAD, 1992. Operator manuel simrad SR 240 sonar, P2291E software version 5.0. Mar 1992.
- URICK, R. J. 1975. Principles of underwater sound for engineer. Mc Graw Hill Book Compagny, New York, 2nd Ed. 384 pp.

WEILL, A. C., SCALABRIN Y N. DINER. 1993. MOVIES-B: An acoustic detection description software. Application to shoal species' classification. *Aquatic Living Resources* 6(3): 255-267.

Recibido: 11 febrero 2003
Aceptado: 19 enero 2004

Patrice Brehmer¹, François Gerlotto² y Alina Achury³

¹ Institut de Recherche pour le Développement (IRD), CRHMT - UR061, BP 171, 34203, Sète, France. brehmer@ird.fr

² Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Casilla 53390 Correo Central, Santiago-1, Chile. fgerlotto@ifop.cl

³ Estación de Investigaciones Marinas de Margarita (EDIMAR), Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Apartado postal 144 Porlamar, Isla de Margarita, Venezuela. edimar_biopesquera@unete.com.ve