

# Medición de la capacidad de pesca de la flota de voraz del Estrecho de Gibraltar: enfoques paramétricos y no paramétricos

DAVID CASTILLA ESPINO (\*)

JUAN JOSÉ GARCÍA DEL HOYO (\*)

## 1. INTRODUCCIÓN

La inexistencia de una correcta definición de derechos de propiedad sobre un recurso pesquero puede provocar la materialización de lo que en Teoría Económica se conoce como externalidad negativa, mediante la cual se origina una carrera competitiva entre los pescadores por hacerse con el recurso que, de no introducirse medidas regulatorias adecuadas, conducirá generalmente al incremento de la capacidad de pesca mediante capitalización y/o al incremento del número de unidades que componen las flotas. Dicho proceso provocará, en definitiva, la disipación de las rentas de los pescadores debido al incremento de costes derivados de mantener una mayor estructura de capital, junto a la previsible reducción de los ingresos a causa de la disminución de las capturas inherente a la existencia de una mayor presión sobre unos recursos pesqueros limitados, provocando una reducción de la biomasa capturable hasta situar progresivamente a la pesquería en una situación de sobreexplotación, siendo necesaria la introducción de sistemas de gestión apropiados y cambios institucionales para frenar este proceso.

La capacidad de pesca mide, en términos de inputs o outputs, el máximo tecnológico u óptimo económico potencial de las flotas que operan en una pesquería. Este concepto debe ser considerado si se pretende determinar el grado de capitalización y expansión que una

---

(\*) *Departamento de Economía General y Estadística. Universidad de Huelva.*

---

- Estudios Agrosociales y Pesqueros, n.º 210, 2006 (pp. 115-154).

flota de pesca ha alcanzado, y permite determinar la sobrecapacidad de las flotas de pesca mediante la comparación de la capacidad de pesca efectiva y sostenible desde una perspectiva bioeconómica. La sobrecapacidad de las flotas que resulta de la inadecuada definición de los derechos de propiedad sobre los recursos pesqueros y que podría provocar los problemas mencionados, se ha convertido en una de las principales preocupaciones de los agentes e instituciones, tanto nacionales como internacionales, que tienen encomendada la gestión de pesquerías.

Esta preocupación se manifiesta en las líneas actuales de la Política Pesquera Comunitaria (PPC), cuya reforma en 2002 se realizó fundamentalmente para reducir los altos niveles de sobrecapacidad de las flotas de pesca de la Unión Europea (UE) y garantizar, de este modo, la sostenibilidad bioeconómica de la pesca. En ésta se introducen planes de gestión y de recuperación como instrumentos efectivos para garantizar la sostenibilidad y conservación de los recursos pesqueros. Junto a ello, la política estructural de la PPC se orienta hacia la reducción gradual de los niveles de referencia de capacidad de pesca fijados para cada uno de los Estados miembros de la UE (1). Las regulaciones pesqueras española y andaluza han sido revisadas recientemente, incluyendo también explícitamente instrumentos destinados a la gestión y control de la capacidad de pesca en los ámbitos nacional y regional (2).

De esta forma, la medición, la gestión y el control de la capacidad de pesca se convierten en elementos fundamentales para tratar de evitar los problemas asociados al sector pesquero. En particular, la medición de los niveles de capacidad de pesca, su grado de utilización y la sobrecapacidad podría proporcionar a los gestores de pesquerías una herramienta de indudable importancia para el desarrollo de sus funciones.

En este contexto, el objetivo de este artículo no es otro que evaluar la efectividad de los sucesivos planes de recuperación de una pesquería concreta –la pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar– mediante el análisis de la evolución de la capacidad de pesca de la flota «voracera» de Tarifa, realizando para ello un análisis comparado de las diferentes técnicas existentes para la medición de la capacidad, su grado de utilización y la sobrecapacidad de pesca.

(1) Véanse Reglamentos (CE) números 2369/2002, 2370/2002 y 2371/2002.

(2) Véanse leyes 2/2001 de 26 de marzo, de Pesca Marítima del Estado y 1/2002, de 4 de abril, de Ordenación, Fomento y Control de la Pesca Marítima, el Marisqueo y la Acuicultura Marina de la Comunidad Autónoma Andaluza.

En la actualidad, casi todas las pesquerías de voraz (*Pagellus bogaraveo*, Brännich 1768) de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de la UE están siendo sobreexplotadas o, incluso, están prácticamente agotadas. La que se localiza en las aguas del Estrecho de Gibraltar es una de las más importantes de la UE, generando un elevado valor añadido, dado los altos precios del voraz, y contribuyendo significativamente al empleo de la zona en cuestión. Esta pesquería ha operado hasta 1998 en una práctica situación de libre acceso debido a la ausencia de regulaciones específicas y de limitaciones sobre el acceso al recurso. La manifestación clara de una situación de sobrecapacidad y sobreexplotación, causadas por la fuerte expansión de la flota en este período, hizo necesaria la implementación de un sistema de regulación concreto, manifestado en sendos planes de recuperación destinados a reducir la capacidad de pesca de la flota en los períodos 1999-2002 y 2003-2005. La medición de la capacidad de pesca de la flota afectada por estos planes de recuperación es de especial interés para evaluar el grado de éxito alcanzado por los mismos.

Las técnicas Pico a Pico (Ballard y Roberts, 1977), análisis envolvente de datos (Kirkley y Squires, 1999a) y análisis de fronteras estocásticas (Kirkley y Squires, 1999a) son las alternativas metodológicas principales que tienen los gestores de pesquerías para medir las mencionadas magnitudes (Pascoe, *et al.* 2003). Todas estas técnicas adoptan una orientación al output y, por lo tanto, miden la capacidad de pesca mediante el máximo output potencial que es posible producir (capturar en el caso del sector pesquero) bajo determinados supuestos, considerando una perspectiva tecnológica-económica o primal, salvo en contadas excepciones, debido al alto grado de dificultad de acceder a estadísticas pesqueras de naturaleza económica.

La mayoría de las aplicaciones existentes en la literatura sobre pesquerías para la medición de la capacidad de pesca y su grado de utilización que adoptan una orientación al output utilizan la técnica no-paramétrica del Análisis Envolvente de Datos (Dupont, *et al.* 2002; Reid, *et al.* 2003; Vestergaard, *et al.* 2003, Castilla Espino, *et al.* 2005b). Sólo algunas aplicaciones recientes utilizan la técnica paramétrica del Análisis de Fronteras Estocásticas haciendo especial hincapié en la comparación de los resultados obtenidos por esta técnica y su versión no-paramétrica para la medición de estas dos magnitudes (Kirkley *et al.*, 2002; 2004). Estas aplicaciones se centran principalmente en comparar los distintos resultados obtenidos de la capacidad de pesca y su utilización y exceso estimado, realizando distintos supuestos sobre el grado de expansión radial de los inputs variables sin realizar comparaciones de los distintos niveles de sobrecapacidad

obtenidos con cada una de ellas. Además tratan de analizar el impacto que distintos tamaños del stock explotable tiene en las medidas de capacidad de pesca cuando este dato es disponible.

La utilización de estas técnicas para medir la capacidad de pesca de la flota que opera en la pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar pone de manifiesto que la capacidad de pesca ha sido reducida como consecuencia de la implantación de los planes de recuperación. Por otra parte, un análisis comparativo de los resultados aportados por cada una de estas técnicas pone de manifiesto una alta variabilidad de estas magnitudes dependiendo de la técnica utilizada, si bien es cierto que todas ellas coinciden en que se ha producido una reducción de la capacidad de pesca, aunque con conclusiones contradictorias dependiendo de la técnica utilizada en relación con el nivel de sobrecapacidad de la flota de voraz del Estrecho de Gibraltar.

## 2. LA PESQUERÍA DEL VORAZ

### 2.1. Especie objetivo

El voraz o besugo de la pinta (*Pagellus Bogaraveo*, Brünnich, 1768) puede ser localizado en el mediterráneo occidental (Spedicato, *et al.* 2002) y en el atlántico oriental desde Noruega hasta Mauritania. Esta especie, cuya dieta consiste en distintos tipos de peces pequeños, crustáceos y moluscos, habita en profundidades de hasta 400 m y su talla oscila entre 20 y 35 cm (Gil, *et al.* 2000; Gil y Sobrino, 2001; Sobrino y Gil, 2001).

El voraz se encuentra agotado o sobreexplotado en la mayor parte de las subdivisiones del Consejo Internacional para la Exploración del Mar (CIEM). Este es el caso de las subdivisiones VI a VIII que mostraron una acentuada caída de los desembarcos a partir de 1990 o la subdivisión IX (Suroeste de España y Portugal) que presenta tasas decrecientes de los desembarcos desde 1998. La única excepción es la subdivisión X (Islas Azores) en la que esta especie no ha mostrado síntomas de declive en los últimos años, apreciándose todavía desembarcos crecientes (ICES CM 2004/ACFM: 15).

### 2.2. Arte

La flota que faena en el Estrecho de Gibraltar utiliza un tipo de arte de anzuelos verticales denominada voracera (Diputación Provincial de Cádiz, 1991, 1994) para la captura del voraz, aunque esta especie puede ser capturada por otros artes de anzuelo utilizados por buques artesanales y artes móviles de fondo (arrastre de fondo) del Golfo de

Cádiz y el Mediterráneo andaluz. La voracera es un arte de pesca muy selectiva, por lo que la mayor parte de las capturas registradas por la flota española que opera en esta pesquería son de voraz (Bravo, *et al.* 2000), siendo una pesquería monoespecífica pese a que se registren algunas capturas accidentales de otras especies de aguas profundas que habitan en aguas del Estrecho de Gibraltar (sable negro o breca), y de otras especies, como la japuta (*Brama brama*), que compiten con el voraz.

La voracera es operada con un carrete hidráulico o manual y consiste en un monofilamento de nylon de unos 1,8 mm de diámetro y una longitud de unos 2.000 m denominado madre, el cual está unido mediante una gasa con mosquetón a una plomada de 1/2 kg y a la voracera, propiamente, de lienza de 1,3 mm de diámetro y 120 m de longitud con 100 brazoladas de nylon de 0,6 mm de diámetro, en cuyo extremo se empatan anzuelos con argolla (sin patilla) de unos 4 cm de largo y unos 1,5 cm de ancho (seno) cebados generalmente con sardinas y que se sitúan a una distancia, los unos de los otros, de alrededor de un metro. En el otro extremo de la voracera hay embragada una piedra de 15 kg con falseta de hasta 4 hilos dependiendo de la marea (Diputación Provincial de Cádiz, 1991: 36; 1994: 91).

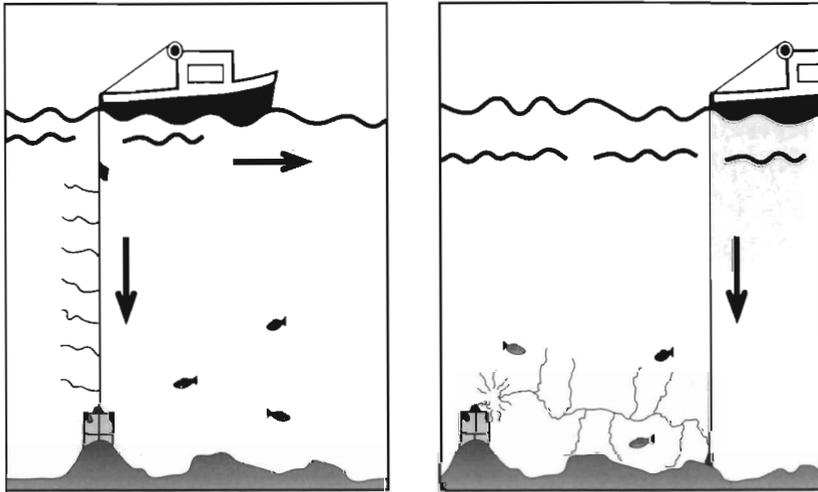
Los buques llevan alrededor de 30 voraceras que son lanzadas aprovechando el reviro de marea de bajamar a pleamar, y se realizan varios lances en cada marea volviéndose a puerto para desembarcar por la tarde, siendo las mareas de un solo día y su número equivalente al número de desembarcos bajo el supuesto de que en todas las mareas se registran capturas. El arte opera de forma que se lanza la piedra de 15 kg embragada con falseta en un extremo de la voracera y la plomada de 1/2 kg situada en su otro extremo, y, a continuación, se cobra la madre para extender el arte en el fondo hasta romper la falseta, facilitando de esta forma la posterior recogida del arte que es realizada mediante carretes manuales o hidráulicos (gráfico 1).

### 2.3. Flota

La pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar comenzó a ser explotada por buques españoles localizados en el puerto de Ceuta en los años setenta. La flota que explotaba esta pesquería se incrementó significativamente durante los años ochenta debido a las nuevas entradas en la pesquería de buques procedentes de todo el litoral atlántico andaluz, e incluso de diferentes puntos del mediterráneo, atraídos unos por la alta rentabilidad de esta pesquería y adquiridos, otros, por pescadores locales para sustituir embarcaciones de menor dimensión.

Gráfico 1

## Maniobras de calado de una voracera



Fuente: Elaboración propia.

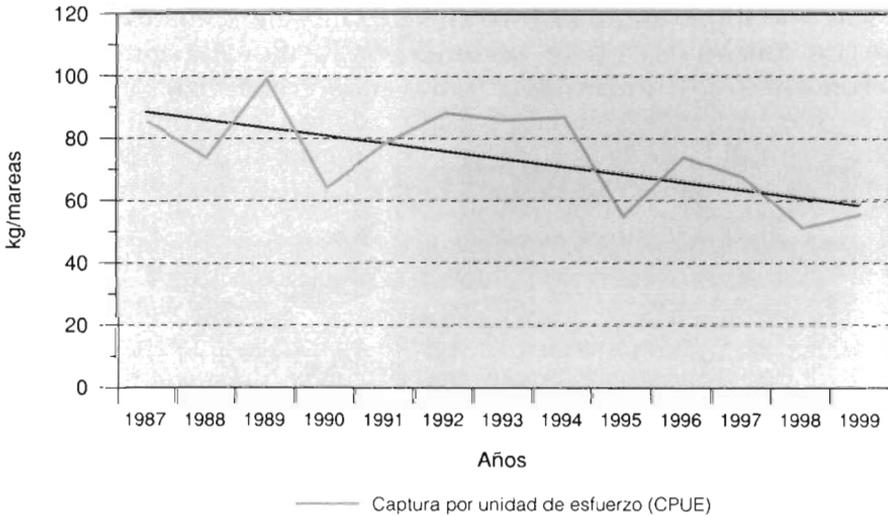
En la actualidad, la mayoría de los buques españoles que explotan esta pesquería en aguas del Estrecho de Gibraltar tienen su base en los puertos de Algeciras y Tarifa. La flota que explota esta pesquería está fuertemente influenciada por la estacionalidad de las capturas del voraz y las condiciones meteorológicas adversas del Estrecho de Gibraltar que impiden faenar a los buques durante todos los días de que disponen al año (García del Hoyo, *et al.* 2001). La flota española consta, de acuerdo con el último censo publicado en 2005, de 142 embarcaciones artesanales a motor de unos 65 CV que no superan los 9 metros de eslora con un tonelaje de alrededor de los 5,5 GT dotadas de un número medio de 5 tripulantes.

Es necesario destacar el hecho de que esta pesquería no es únicamente explotada por buques de origen español, sino que también participan habitualmente embarcaciones marroquíes de carácter artesanal. En la actualidad no existe suficiente información para poder evaluar el impacto que la actividad de estos buques pueda tener en la pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar. Si el esfuerzo de pesca ejercido sobre el stock de voraz por estos buques fuese significativo, la pesquería podría caracterizarse como transzonal, provocando que cualquier intento de establecer sistemas de gestión a nivel comunitario, nacional y regional se convierta en una quimera si no se consiguiese la cooperación en la gestión de la pesquería.

El régimen de libre acceso a la pesquería causado por la alta movilidad de los buques inscritos en la modalidad de «artes menores» en el Censo de Flota Operativa junto a la elevada tasa de rentabilidad obtenida, provocó la expansión exponencial de las capturas obtenidas por la flota voracera entre 1983 a 1995. Esta expansión de las capturas coincidió con una progresiva reducción de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en el mencionado período (gráfico 2). La pesquería comenzó a dar síntomas de debilidad a partir de 1995 mostrando un agudo declive en 1998. Éste fue causado, ciertamente, por un elevado grado de sobreexplotación y por la incidencia de factores de naturaleza estocástica algunos años, como picos en la abundancia relativa de japuta (*Brama brama*) que interfieren con el proceso de captura del voraz.

Gráfico 2

**Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y tendencia lineal 1987-1999**



Fuente: García, et al. (2001).

Las capturas de la flota voracera de Tarifa, que opera en la subdivisión IX del CIEM, representan más del 50 por ciento de los desembarcos de esta especie realizados en esta subdivisión estadística y es, en la actualidad, una de las principales flotas europeas que tiene por especie objetivo el voraz. Ésta emplea a tiempo completo un porcentaje significativo de pescadores de los puertos de Algeciras y Tarifa, situándose este último entre los 33 municipios de Europa

(NUT 3) con una dependencia del sector pesquero superior al 10 por ciento (CE, 1999).

## 2.4. Gestión

En 1998 el Ministerio de Agricultura y Pesca aprobó un Plan de Recuperación para promover la explotación sostenible de la pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar. En dicho Plan se establecía un intervalo para las principales características técnicas del arte de pesca y de las embarcaciones, limitaba la actividad de la flota a cinco mareas a la semana y publicó un censo de buques autorizados a faenar en la pesquería (3). La Dirección General de Pesca de la Junta de Andalucía complementó este plan de pesca limitando la actividad a 160 mareas al año y estableciendo un período de veda de dos meses que, a partir de 2000, se situó en los meses de febrero y marzo. No obstante, las limitaciones a la actividad pesquera definidas por la regulación no constituían una verdadera restricción para la flota voracera, la cual está sujeta principalmente a las condiciones climatológicas que imperen en el Estrecho de Gibraltar (cuadro 1). A los efectos de control de la flota, las lonjas de Tarifa y Algeciras se constituyeron como las únicas autorizadas para comercializar y desembarcar voraz. Además, se incentivó el traslado de los buques a estos puertos y su salida de la pesquería (4). En esta última modificación del plan de recuperación destaca la creación de una comisión de

Cuadro 1

### MAREAS DE PESCA DESARROLLADAS EN EL PERÍODO 1998-2003

Año	Regulación	Media	Máximo	Desv. estándar
1998	-	48,93	121	28,00
1999 (*)	160	37,79	94	19,00
2000	160	44,08	103	22,75
2001	160	34,27	101	22,88
2002	160	41,63	125	29,72
2003	150	47,33	112	26,85

(\*) Las mareas de los meses de 1999 no disponibles en la muestra han sido estimadas usando los datos de 1998 y 2000.

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca e ID@PES.

(3) Véase Orden del Ministerio de Agricultura y Pesca de 17 de junio, BOE número 157 de 2 de julio de 1998.

(4) Véase Resolución de 20 de septiembre de 1999, de la Dirección General de Pesca, BOJA número 112 de 25 de septiembre de 1999.

seguimiento del mismo que cumple funciones consultivas en la que participan todos los agentes directamente implicados en la pesquería (cuadro 2).

En diciembre de 2002 fue aprobado un nuevo Plan de Recuperación para el período 2003-2005 con el objeto de volver a situar la pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar dentro de los límites de seguridad (STECF, 2002). Este plan de recuperación se centró principalmente en el control de inputs, al igual que el plan vigente en el período 1999-2002. Los días de pesca al año se redujeron de 160 a 150 en 2003 y a 140 en 2004 y 2005, se amplió el período de veda a dos meses y medio, y se incrementaron las ayudas para fomentar la salida de la pesquería en un 20 por ciento. El control de outputs fue

Cuadro 2

### MEDIDAS DE GESTIÓN APLICADAS A LA PESQUERÍA DE VORAZ DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR

Medidas de gestión	Años						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
N.º de buques autorizados	Programa de licencias						
Limitación de mareas anuales	160				160	160	
Limit. de mareas semanales	Período de descanso obligatorio de 48 h continuadas						
TAC	-				-		
Participación	Comité de seguimiento						
Incentivos a la salida	Especialmente buques de 11-15 m. y de 8,5-15 GT				Especialmente buques de 11-15 m y de 8,5-15 GT		
Incentivos a la modernización	Especialmente buques de 11-15 m. y de 8,5-15 GT. Requiere previa salida flota				Especialmente buques de 11-15 m y de 8,5-15 GT Requiere previa salida flota		
Pesca recreativa	Autorizada				No Autorizada		
Medidas comerciales	-				-		
Puertos y lonjas autorizados	Tarifa y Algeciras						
Vedas temporales	2 meses			-	2 1/2 meses		
Vedas espaciales	-				-		
Máx. n.º carretes hidráulicos	3				-		
Longitud máxima del arte	120 m				120 m		
N.º máximo de artes	30				30		
N.º máximo de anzuelos por arte	100				-		
N.º máximo de anzuelos	3000				2800	2600	2400
Longitud del anzuelo	3,55 +/- 0,35 cm				3,95 +/- 0,39 cm		
Seno del anzuelo	1,30 +/- 0,13 cm				1,40 +/- 0,14 cm		

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y Ministerio de Agricultura y Pesca.

introducido en la pesquería mediante la fijación de una TAC anual de 270 t (cuadro 2) (5).

En diciembre de 2000 la UE expresó su preocupación sobre las especies de peces de aguas profundas debido a su vulnerabilidad como consecuencia de su ciclo reproductivo lento, la escasa información disponible sobre el ecosistema en que habitan y la ausencia de medidas de gestión y control del esfuerzo de pesca ejercido sobre ellas. Dicha preocupación se materializó en la fijación de una TAC anual para estas especies en el período 2003-2004 en la ZEE de la UE y las aguas internacionales del CIEM y del atlántico nordeste para estas especies. La TAC anual para el voraz se fijó en 2757 t y fue repartida entre Portugal (1387 t), España (1291 t), Gran Bretaña (45 t) y otros (10 t). De la cuota total asignada a España, unas 1.000 t fueron para la subdivisión IX CIEM (cuadro 3) (6). Además, se creó un sistema especial de recogida de información sobre algunas especies de peces de aguas profundas entre las que se encuentra el voraz (7). En este sentido, es necesario destacar que esta TAC no es aplicable ni a las capturas realizadas en el Mediterráneo ni a los buques de eslora inferior a 12 metros, segmento en el que se encuentra situada gran parte de la flota voracera.

Cuadro 3

REPARTO DE LA TAC ANUAL (t) DEL PERÍODO 2003/-2004  
ENTRE ESTADOS MIEMBROS DE LA UE

País	Subdivisión CIEM		
	VI-VIII	IX	X
España	281	1.000	10
Francia	14	0	0
Irlanda	10	0	0
Portugal	0	271	1.116
Gran Bretaña	35	0	10
Otros	10	0	0
<b>Total</b>	<b>350</b>	<b>1.271</b>	<b>1.136</b>

Fuente: CE.

(5) Véanse Orden del Ministerio de Agricultura y Pesca de 20 de diciembre, BOE número 313 de 31 de diciembre de 2002 y Resolución de 30 de diciembre de 2002, de la Dirección General de Pesca y Acuicultura, BOJA número 14 de 22 de enero de 2003.

(6) Véase Reglamento (CE) número 2340/2002.

(7) Véase Reglamento (CE) número 2347/2002

### 3. MARCO TEÓRICO

El concepto de capacidad de pesca puede ser definido desde una perspectiva tecnológica-económica (primal), esto es, considerando únicamente los aspectos productivos de la actividad pesquera o puramente económica (dual), suponiendo un comportamiento optimizador de los pescadores. Las medidas de la capacidad de pesca obtenidas de acuerdo con estas dos perspectivas pueden ser expresadas en términos de inputs o outputs productivos. Este artículo centra su atención en las definiciones de capacidad de pesca que adoptan una perspectiva tecnológica-económica.

Desde una orientación al input (capacidad-input) la capacidad de pesca se define como el *stock de capital (capital convencional) máximo de una pesquería completamente utilizado al nivel de máxima eficiencia técnica en un período de tiempo, dados el nivel del recurso y las condiciones del mercado* (Kirkley y Squires, 1999b: 83). En este sentido, las características técnicas de un buque pueden ser usadas para representar la capacidad de pesca de un buque o flota como lo contempla la regulación pesquera de la UE (8). Por otro lado, desde una orientación al output (capacidad-output) la capacidad de pesca se define como la *máxima captura que un buque puede producir si sus inputs son utilizados plenamente dadas la biomasa, los inputs fijos, la estructura de edad del stock de peces y el estado actual de la tecnología* (Vestergaard, et al. 2003: 359).

La utilización de la capacidad de pesca se define como la ratio entre los niveles efectivos de input o output y los de capacidad-output o capacidad-input, respectivamente, dependiendo de la orientación, mientras que la sobrecapacidad de pesca (SC) requiere la comparación de la capacidad de pesca con los niveles de output o inputs correspondientes a algún punto de referencia de gestión como el nivel de Rendimiento Máximo Sostenible, el Máximo Rendimiento Económico o cualquier otro que, basado en criterios de sostenibilidad bioeconómica, refleje los objetivos de gestión de la pesquería (Gréboval, 1999).

El Total Admisible de Captura (TAC) puede ser usado para representar este punto de referencia cuando se adopte una orientación al output siempre que su definición se base en criterios de sostenibilidad bioeconómica y su aplicación se extienda a medio o largo plazo, tal y como se pretende en los planes de recuperación de la Unión Europea. De este modo, la sobrecapacidad de pesca puede ser medida median-

---

(8) Véase Reglamento (CE) número 2371/2002.

te [1] para los  $J$  buques de una pesquería en un momento  $t$ , una vez que la capacidad-output de pesca ha sido determinada ( $y_{jt}^*$ ).

$$SC = \frac{\sum_j y_{jt}^*}{TAC_t} \quad [1]$$

La sobrecapacidad de la flota que explota una determinada pesquería es un problema de carácter estructural que difiere de situaciones coyunturales de exceso de capacidad debidas a alteraciones a corto plazo en las condiciones del mercado y otros factores de naturaleza socioeconómica. La sobrecapacidad de pesca surge cuando los incentivos económicos de los pescadores a maximizar su captura les llevan a invertir en capital alcanzando niveles de capacidad que superan los que pueden ser considerados sostenibles para un tamaño dado del stock explotable (Ward y Metzner, 2002).

El concepto de capacidad de pesca está estrechamente relacionado con el concepto de esfuerzo de pesca que puede definirse desde una perspectiva micro-económica como un índice agregado de los distintos factores de producción empleados en el desarrollo de la actividad pesquera como se muestra en [2] donde  $E_j(t)$  es el esfuerzo de pesca ejercido por un buque  $j$  en el momento  $t$  utilizando  $m$  inputs productivos  $a_{jm}$  - (Anderson, 1976, 1977, 1978).

$$E_j(t) = G(a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jm}) \quad [2]$$

La construcción de un índice agregado de esfuerzo de pesca consistentemente requiere que se den las condiciones de separabilidad de la tecnología de producción y homoteticidad (Squires, 1987; Bjornedal, 1989; Del Valle, *et al.* 2003) y permite conectar directamente el concepto de esfuerzo de pesca con la teoría de la producción, mediante la definición de una función de capturas de un buque  $j$  como una función que transforma la interacción del esfuerzo de pesca y el stock explotable en un momento del tiempo  $t$  en output ( $y_{jt}$ ). Una de las formulaciones más generales de una función de capturas de estas características es la presentada en [3] donde  $q$  es la tasa de capturabilidad,  $S_t$  el stock explotado,  $G[\dots]$  un índice agregado de esfuerzo de pesca función de la actividad ( $\tau_j$ ) y  $m$  factores de producción  $X_{jk}$ ; y  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros que explican la forma en que se combinan el stock explotable y el esfuerzo pesquero en la función de capturas (Clark, 1990).

$$y_{jt} = q \cdot S_t^\alpha \cdot G[\tau_j, f(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})]^\beta \quad [3]$$

La inclusión del concepto de capacidad de pesca en los términos descritos en esta sección en la función de capturas [3] se lleva a cabo sustituyendo el esfuerzo de pesca por la capacidad de pesca que se distingue del primero porque impone la plena utilización de los inputs variables empleados en la producción y un comportamiento técnicamente eficiente de los buques de pesca, esto es, que estos obtienen el máximo output posible dado el uso efectivo de los inputs productivos (orientación al output).

Descartando algunos indicadores triviales utilizados para la medición de la capacidad de pesca y su grado de utilización (FAO, 1998: 44-50), las técnicas Pico a Pico, Análisis Envolvente de Datos (DEA) (9) y el Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA) (10) son las generalmente utilizadas para la determinación de estas magnitudes (Pascoe y Gréboval, 2003). La selección de cada una de estas técnicas depende de la naturaleza y riqueza de los datos disponibles y las características específicas de las pesquerías concretas cuya capacidad se pretenda medir.

Estas tres técnicas han sido aplicadas a la flota «voracera» de Tarifa con el objeto de evaluar la efectividad de los sucesivos planes de recuperación de la pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar, mediante la evolución de la capacidad de pesca de esta flota realizando un análisis comparativo aplicado de las mediciones de la capacidad, su grado de utilización y la sobrecapacidad de pesca proporcionadas por las mismas, adoptando una orientación al output y una perspectiva tecnológica-económica debido a la ausencia de estadísticas de naturaleza económica de esta pesquería.

La aplicación de estas técnicas a la flota voracera de Tarifa en el período 1983-2003 ha sido realizada utilizando un panel desequilibrado mensual de datos de tipo tecnológico y output. La estimación de la capacidad de pesca y su grado de utilización mediante la técnica Pico a Pico ha sido obtenida por interpolación lineal de la tendencia tecnológica entre picos de producción mensuales agregados de todos los buques que operan cada mes; mientras que el cálculo de estas magnitudes mediante la técnica DEA ha sido llevada a cabo mediante la resolución por métodos de programación matemática de distintos problemas lineales DEA para cada buque cada mes (11).

---

(9) DEA es el acrónimo anglosajón de Data Envelopment Analysis.

(10) SFA es el acrónimo anglosajón de Stochastic Frontier Analysis.

(11) Para más detalles sobre los métodos y procedimientos utilizados para la determinación de la capacidad y su grado de utilización mediante DEA y la técnica Pico a Pico véase el apéndice técnico.

Por otra parte, distintas fronteras de producción con ineficiencia técnica invariante y variante (12) en el tiempo han sido estimadas de manera global para la totalidad del panel de datos por los métodos de mínimos cuadrados generalizado (MCG) o efectos aleatorios y de máxima verosimilitud (MV), utilizando la parametrización de Batesse y Corra (1977) (13) para obtener estimaciones alternativas de las referidas magnitudes de acuerdo con los procedimientos Puro SFA y Mixto DEA-SFA (14).

#### 4. RESULTADOS

Esta aplicación utiliza datos de empleo, características técnicas de los buques y capturas mensuales de voraz realizadas por los buques con puerto base en Tarifa durante el período 1998-2003. Los datos de captura proceden de la base de datos ID@PES de primera venta en lonja de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, las características técnicas del Censo de Flota Operativa de la Secretaría General de Pesca del Ministerio de Agricultura y Pesca, y los datos de empleo del Instituto Social de la Marina. Los desembarcos de los buques de esta muestra representaron en 2003 más del 68 por ciento de las capturas de la totalidad de la flota (cuadro 4).

Cuadro 4

#### DESEMBARCOS DE VORAZ (kg) DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR (1998-2003) (\*)

Año	Tarifa	Total	Tarifa/Total
1998	226.216	571.863	39,56%
1999	88.616	407.121	21,77%
2000	162.961	283.677	57,45%
2001	133.084	223.126	59,65%
2002	123.338	169.258	72,87%
2003	144.858	211.322	68,55%

(\*) La escasa representatividad de los desembarcos de 1999 es debida a la ausencia de datos en la muestra correspondiente a los meses de marzo, agosto, noviembre y diciembre de este año.

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.

(12) Los modelos de ineficiencia técnica variante en el tiempo usan la especificación del término de error de una sola cola Battese y Coelli (1992) donde:  $u_{it} = e^{-\eta(t-T)} \cdot u_p$ , donde  $\eta$ , es un parámetro representativo de la tasa de cambio de la eficiencia a lo largo del tiempo ( $t$ ) y  $T$  es el número de periodos del panel de datos.

(13) Esta parametrización implica la estimación de dos parámetros adicionales mediante el procedimiento de MV:  $\sigma^2 = \sigma^2_v + \sigma^2_u$  y  $\gamma = \sigma^2_u / (\sigma^2_v + \sigma^2_u)$ .

(14) Para más detalles sobre los métodos y procedimientos utilizados para la determinación de la capacidad y su grado de utilización mediante SFA véase el apéndice técnico.

El cuadro 5 muestra la media y desviación típica (DT) de las principales características técnicas de la muestra utilizada [tonelaje medido en GT, eslora entre perpendiculares medida en metros y potencia del motor medida en caballos de vapor (CV)] y la tripulación durante el período 1998-2003.

Cuadro 5

MEDIA Y DT DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y TRIPULACIÓN  
DE LOS BUQUES MUESTREADOS (1998-2003)

Año	GT		Eslora (m)		CV		Tripulación	
	Media	DT	Media	DT	Media	DT	Media	DT
1998	5,38	2,65	8,33	1,84	65,15	32,15	4,72	2,30
1999	5,59	2,62	8,33	1,73	65,39	31,38	4,83	2,07
2000	5,57	2,60	8,36	1,76	65,95	31,46	4,81	2,09
2001	5,68	2,56	8,49	1,67	67,24	31,23	4,85	2,10
2002	5,70	2,68	8,37	1,78	64,93	31,68	4,81	2,20
2003	5,76	2,71	8,34	1,77	64,60	31,33	4,83	2,23

Fuente: Elaboración propia.

El número total de mareas de pesca y buques, el tonelaje total y la potencia total de la muestra ponen de manifiesto una tendencia decreciente que sugiere una reducción de la actividad y la capacidad de pesca de la flota voracera en el período 1998-2003 (cuadro 6).

Cuadro 6

INDICADORES TRIVIALES DE LA ACTIVIDAD Y LA CAPACIDAD DE PESCA  
(1998-2003)

Año	Mareas	Buques	GT	CV
1998	4.306	88	473,44	5.733,00
1999	1.608	77	430,48	5.035,00
2000	3.526	80	445,22	5.276,00
2001	2.536	74	420,65	4.976,00
2002	2.789	67	382,08	4.350,50
2003	2.982	63	362,78	4.069,50

Fuente: Elaboración propia.

Como ya ha sido señalado en la subsección sobre el arte de pesca de la sección sobre la pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar, las mareas de pesca tienen una duración de un día y se suponen un input variable en la medida en que el máximo de días de pesca permitido por la regulación no representa un límite real para el número de mareas desarrolladas. Se supone que los buques usan en todos los casos el número máximo de voraceras y anzuelos permitidos, por lo que los resultados de capacidad obtenidos son condicionados por esta restricción legal. Además, no existen datos disponibles sobre el stock de peces por lo que los resultados de capacidad de pesca de cada año son condicionados al tamaño del stock de ese año.

Estos datos componen un panel de datos de tipo tecnológico y output mensual que abarca el período 1998-2003 compuesto de una muestra que incluye todos los buques (unidad de decisión) con puerto base en Tarifa que operan en la pesquería de voraz del Estrecho de Gibraltar que realizaron desembarcos en el período considerado. Los inputs fijos utilizados para la estimación y cálculo de las técnicas aplicadas han sido la eslora entre perpendiculares medida en metros (ESL) y la potencia del motor principal medida en caballos de vapor (CV), mientras que los inputs variables han sido el número de mareas desarrolladas por cada buque medido por el número de desembarcos realizados dentro del mes (MAREAS) y el número de tripulantes enrolados en el buque (TRIP). Por otra parte, el output es medido en kg y ha sido obtenido agregando la cantidad de voraz desembarcada cada mes por cada uno de los  $J$  buques de la muestra ( $QSBR_j$ ). El panel de datos utilizados es desequilibrado porque las secciones transversales correspondientes a cada mes contienen distinto número de buques debido a que estos no operan todos los meses por razones de diversa índole, principalmente de mantenimiento.

La hoja cálculo Excel, GAMS Minos 2.5 (Brooke, *et al.* 1998), LIM-DEP 7.0 (Greene, 1998) y FRONTIER 4.1 (15) (Coelli, 1996) fueron programados y ejecutados para la determinación de la capacidad de pesca y su grado de utilización de acuerdo con las técnicas Pico a Pico, DEA (Walden y Kirkley, 2000) y SFA, de acuerdo con las descripciones contenidas en el marco teórico y el apéndice técnico.

La tecnología de producción utilizada para la aplicación de las técnicas Pico a Pico y SFA fue la Cobb-Douglas que García, *et al.* (2001) ha demostrado empíricamente más apropiada para la misma pes-

---

(15) El software FRONTIER 4.1 está disponible gratuitamente en la web: [www.uq.edu.au/economics/cepa/index.htm](http://www.uq.edu.au/economics/cepa/index.htm)

quería tras contrastar la hipótesis de separabilidad global en una tecnología de producción flexible Translog. La aplicación de la técnica pico a pico ha exigido los supuestos adicionales de rendimientos constantes de escala, agregación de Hicksian y separabilidad de Leontieff de la tecnología de producción Cobb-Douglas, los cuales han sido impuestos para la aplicación de esta técnica tal y como se describe en el apéndice técnico.

Para la aplicación de la técnica Pico a Pico de acuerdo con la metodología descrita en el apéndice técnico se utilizó como output los datos agregados de los desembarcos totales de voraz realizados por todos los buques con puerto base en Tarifa que operaron cada mes en la pesquería, mientras que como input productivo fijo representativo de la tecnología Cobb-Douglas fue utilizado la potencia del motor principal.

La aplicación de la técnica DEA ha requerido la solución de dos problemas lineales mediante técnicas de optimización matemática de acuerdo con el procedimiento bietápico descrito en el apéndice técnico para cada uno de los  $J$  buques y  $T$  meses del panel de datos. El primer problema lineal supone rendimientos variables de escala, utilización eficiente de los inputs fijos, y plena y eficiente utilización de los inputs variables. Este problema lineal se presenta en [4] donde  $\lambda_{jt}$  son los parámetros del modelo,  $\gamma_{jtMAREAS}$  y  $\gamma_{jtTRIP}$  representan la máxima expansión radial de las mareas y de la tripulación respectivamente en el supuesto de plena utilización de los inputs variables; y la inversa de  $\phi_{1jt}$  la utilización de la capacidad de pesca observada del buque  $j$  en el momento  $t$ .

$$\begin{aligned}
 & \text{máx } \phi_{1jt}, t = 1, 2, \dots, T \\
 & \lambda, \phi_{1jt}, \gamma \\
 \text{s.a. } & \phi_{1jt} \text{QSBR}_{jt} - \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} \text{QSBR}_{jt} \leq 0 \\
 & \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} \text{ESL}_{jt} - \text{ESL}_{jt} \leq 0 \\
 & \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} \text{CV}_{jt} - \text{CV}_{jt} \leq 0 \\
 & \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} \text{MAREAS}_{jt} - \gamma_{jtMAREAS} \text{MAREAS}_{jt} = 0 \\
 & \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} \text{TRIP}_{jt} - \gamma_{jtTRIP} \text{TRIP}_{jt} = 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} &= 1 \\ \lambda_{jt} &\geq 0, j=1,2,\dots,J \\ \gamma_{jt\text{MAREAS}} &\geq 0 \\ \gamma_{jt\text{TRIP}} &\geq 0 \end{aligned}$$

La solución del problema [4] permite obtener la capacidad de pesca de cada buque cada uno de los meses ( $QSBR_{jt}^*$ ) mediante el producto de  $\phi_{1jt}$  y el output efectivo pescado cada mes por el buque ( $QSBR_{jt}$ ). El cálculo de la capacidad-output de pesca de un mes concreto ( $QSBR_t^*$ ) ha sido realizado sumando la capacidad-output de pesca de cada buque ese mes [5], mientras que la utilización de la capacidad de pesca observada ( $UC_{obs,t}$ ) ha sido calculada promediando la utilización de la capacidad de pesca observada de cada buque ese mes [6]. La sobrecapacidad de pesca ha sido calculada mediante [1] después de determinar la capacidad-output de pesca anual sumando la de cada uno de los meses ( $QSBR_t^*$ ).

$$QSBR_t^* = \sum_{j=1}^J QSBR_{jt}^* \quad [5]$$

$$UC_{obs,t} = \frac{\sum_{j=1}^J UC_{obs,jt}}{J} \quad [6]$$

La determinación de la utilización de la capacidad de pesca eficiente de acuerdo con el procedimiento descrito en el apéndice técnico ha requerido la solución del problema lineal [7] cada mes para cada uno de los  $J$  buques que componen la muestra. El problema [7] se diferencia del [4] en que el primero no impone ni plena utilización de los inputs variables ni un comportamiento técnicamente eficiente de los buques que componen la muestra tal y como se detalla en el apéndice técnico.

$$\begin{aligned} &\text{máx } \phi_{2jt}, t=1,2,\dots,T \\ &\lambda_{\phi_{2jt},\gamma} \\ \text{s.a. } &\phi_{2jt} QSBR_{jt} - \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} QSBR_{jt} \leq 0 \\ &\sum_{j=1}^J \lambda_{jt} ESL_{jt} - ESL_{jt} \leq 0 \\ &\sum_{j=1}^J \lambda_{jt} CV_{jt} - CV_{jt} \leq 0 \end{aligned} \quad [7]$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} \text{MAREAS}_{jt} - \text{MAREAS}_{jt} &\leq 0 \\ \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} \text{TRIP}_{jt} - \text{TRIP}_{jt} &\leq 0 \\ \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} &= 1 \\ \lambda_{jt} &\geq 0, j = 1, 2, \dots, J \end{aligned}$$

La solución del problema [7] para  $\phi_{2jt}$  proporciona la ineficiencia técnica de cada uno de los buques de la muestra cada uno de los meses y permite calcular el grado de utilización de la capacidad de pesca eficiente de cada buque cada mes ( $UC_{\text{efi},jt}$ ) dividiéndolo por la solución óptima del problema [4] para  $\phi_{1jt}$  de acuerdo con el procedimiento descrito en el apéndice técnico. La utilización de la capacidad de pesca eficiente de un mes concreto ( $UC_{\text{efi},t}$ ) ha sido obtenida promediando la  $UC_{\text{efi},jt}$  de todos los buques de la muestra que operaron ese mes [8].

$$UC_{\text{efi},t} = \frac{\sum_{j=1}^J UC_{\text{efi},jt}}{J} \quad [8]$$

La aplicación de la técnica SFA para la estimación de la capacidad de pesca y su grado de utilización ha requerido la utilización de distintos procedimientos econométricos de estimación de la frontera de producción tipo Coob-Douglas [9] donde  $\alpha$  es el parámetro del término constante,  $\beta_m$  son los parámetros de cada uno de los  $M$  inputs productivos considerados en la tecnología de producción,  $v_{jt}$  es un término de error simétrico distribuido  $N(0, \sigma_v^2)$  representativo de los factores aleatorios que intervienen en la captura de voraz y  $u_{jt}$  es un término de error asimétrico representativo de la ineficiencia técnica que puede adoptar diversas distribuciones y en el que el subíndice  $t$  que identifica a cada mes no aparece cuando se supone que la ineficiencia técnica es invariante en el tiempo.

$$\begin{aligned} \ln(\text{QSBR}_{jt}) &= \alpha + \ln(\text{MAREAS}_{jt}) \cdot \beta_1 + \ln(\text{ESL}_{jt}) \cdot \beta_2 + \ln(\text{CV}_{jt}) \cdot \beta_3 + \\ &+ \ln(\text{TRIP}_{jt}) \cdot \beta_4 + v_{jt} - u_{jt} \end{aligned} \quad [9]$$

Los procedimientos de estimación de MCG y MV han sido los utilizados para la estimación de las distintas fronteras de producción alternativas consideradas utilizando un enfoque global para la totali-

dad de los datos del panel mensual, tal y como se indicó en la sección dedicada al marco teórico. La aplicación de estos procedimientos de estimación para los casos de ineficiencia técnica invariante y variante en el tiempo ha permitido estimar un total de cinco modelos alternativos. En el caso de ineficiencia técnica invariante en el tiempo, el Modelo 0 fue estimado por MCG (Schdmit y Sickles, 1984) y los Modelos 1 y 2 por MV suponiendo, bien que el término de error de una sola cola se distribuye de acuerdo con una distribución Semi-normal [ $N(\mu, \sigma^2_u)$  truncada en 0], o bien con una distribución  $N(\mu, \sigma^2_u)$  truncada en 0 (Pitt y Lee, 1981; Battese y Coelli, 1988; Battese, *et al.* 1989) respectivamente; mientras que en el caso de ineficiencia técnica variante en el tiempo los Modelos 3 y 4 fueron estimados por el procedimiento de MV suponiendo, bien que el término de error de una sola cola se distribuye de acuerdo con una distribución Semi-normal, o bien con una distribución  $N(\mu, \sigma^2_u)$  truncada en 0 respectivamente.

Los modelos de fronteras estocásticas con eficiencia variante e invariante en el tiempo descritos en el marco teórico son presentados en los cuadros 7 y 8.

El contraste de razón de verosimilitud del término de error de una sola cola (Kodde y Palm, 1986) permite confirmar la existencia de ineficiencia con un nivel de significación del 1 por ciento, por lo que se desecha la posibilidad de utilizar una frontera determinista en vez

Cuadro 7

PARÁMETROS ESTIMADOS (PE), ERROR ESTÁNDAR (EE) Y ESTADÍSTICO t (T)  
DE LAS FRONTERAS ESTIMADAS CON EFICIENCIA INVARIANTE EN EL TIEMPO

Modelo= Variables	0			1			2		
	Coef.	ET	T	Coef.	ET	T	Coef.	ET	T
Constante	2,98 (***)	0,18	16,27	3,43 (***)	0,20	17,33	3,41 (***)	0,21	15,92
ln (mareas)	1,05 (***)	0,01	84,96	1,05 (***)	0,01	86,22	1,05 (***)	0,01	85,68
Ln (eslora)	0,17 (*)	0,11	1,50	0,10	0,10	1,04	0,11	0,11	1,06
ln (CV)	0,05	0,05	0,95	0,03	0,04	0,88	0,03	0,04	0,90
ln (tripulantes)	0,08 (**)	0,04	2,11	0,07 (**)	0,03	2,08	0,07 (**)	0,04	2,03
$\gamma$	-	-	-	0,31 (***)	0,02	18,03	0,29 (***)	0,05	6,04
$\sigma^2$	-	-	-	0,25 (***)	0,04	6,02	0,21 (*)	0,13	1,60
$\mu$	-	-	-	0,08	0,25	0,33			
RVCM		0,615			0,478			0,478	

(\*\*\*)  $\alpha=0,01$ ; (\*\*)  $\alpha=0,05$ ; (\*)  $\alpha=0,1$ .

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 8

PARÁMETROS ESTIMADOS (PE), ERROR ESTÁNDAR (EE) Y ESTADÍSTICO  $t$  (T)  
DE LAS FRONTERAS ESTIMADAS CON EFICIENCIA VARIANTE EN EL TIEMPO

Modelo= Variables	3			4		
	Coef.	ET	T	Coef.	ET	T
Constante	3,27 (***)	0,19	17,32	3,24 (***)	0,19	17,30
ln (mareas)	1,05 (***)	0,01	86,12	1,05 (***)	0,01	84,63
Ln (eslora)	0,12*	0,09	1,29	0,13 (*)	0,10	1,29
ln (CV)	0,07 (**)	0,04	1,78	0,08 (**)	0,04	1,85
ln (tripulantes)	0,07 (**)	0,03	2,16	0,08 (**)	0,04	2,16
$\gamma$	0,39 (***)	0,04	10,05	0,30 (***)	0,04	7,15
$\sigma^2$	0,41	0,06 (***)	7,03	0,24 (***)	0,10	2,37
$\mu$	-	-	-	0,31(**)	0,15	2,03
$\eta$	-0,01 (***)	0,00	-4,83	-0,01 (***)	0,00	-4,01
RVCM		0,476			0,476	

(\*\*\*)  $\alpha=0,01$ ; (\*\*)  $\alpha=0,05$ ; (\*)  $\alpha=0,1$ .

Fuente: Elaboración propia.

de estocástica. Por otra parte, el contraste T pone de manifiesto que la significación de los distintos parámetros de los modelos es superior en el caso de los modelos con ineficiencia técnica variante en el tiempo en los que la única variable con una significación superior al 5 por ciento es la eslora. La raíz cuadrática media de la parte del error compuesto que representa las perturbaciones irregulares asimétricas (RVCM) de los distintos modelos estimados pone también de manifiesto que los modelos con ineficiencia técnica variante son preferibles a los de eficiencia técnica invariante en el tiempo debido a que muestran un mayor valor de esta magnitud (cuadros 7 y 8). Además, la especificación de la ineficiencia técnica variante en el tiempo de Battese y Coelli (1992) permite captar el efecto en la eficiencia de factores que varían en el tiempo y que afectan por igual a todos los buques de la muestra seleccionada, entre ellos la evolución del stock explotable de voraz o cambios climatológicos que no ha sido explícitamente incluido en las fronteras de producción estimadas, dotando a los modelos con ineficiencia técnica invariante de un mayor atractivo desde un punto de vista teórico para el caso de estudio que los de ineficiencia técnica invariante en el tiempo. Finalmente, el contraste de razón de verosimilitud permite concluir con un nivel de significación del 1 por ciento que el modelo que mejor se ajusta al caso de estudio de entre todos los seleccionados y particularmente entre los modelos de ineficiencia técnica variante en el tiempo es el Modelo 3 (cuadro 9).

Cuadro 9

CONTRASTE DE RAZÓN DE VEROSIMILITUD PARA LA SELECCIÓN  
DEL MODELO MÁS APROPIADO

$H_0$	Estadístico	gl	Valor crítico ( $\alpha=0,01$ )	Decisión
1 vs 2	0,08	1	6,63	Acepta
1 vs 3	23,82	1	6,63	Rechaza
1 vs 4	25,1	2	9,21	Rechaza
2 vs 4	25,02	1	6,63	Rechaza
3 vs 4	1,28	1	6,63	Acepta

Fuente: Elaboración propia.

Una vez estimadas la frontera estocástica [9] del modelo seleccionado (Modelo 3) se ha procedido a determinar de acuerdo con la metodología descrita en el apéndice técnico la capacidad de pesca y su grado de utilización tanto observada como eficiente para cada buque de acuerdo con los procedimientos Puro SFA y Mixto DEA-SFA cada uno de los meses. Los valores de estas magnitudes para cada mes han sido computados mediante las ecuaciones [5], [6] y [8], mientras que para la determinación de la sobrecapacidad de pesca se ha utilizado [1] como se describió en el caso de la técnica DEA.

El cuadro 10 muestra los resultados de capacidad de pesca obtenidos con las tres técnicas para la muestra empleada y su extrapolación considerando la representatividad de los desembarcos de los buques de la

Cuadro 10

CAPACIDAD DE PESCA (t)

Año	Captura		Pico a pico		DEA		Puro SFA		Mixto DEA-SFA	
	Total	Tafira	Total	Tafira	Total	Tafira	Total	Tafira	Total	Tafira
1998	572	226	896	354	1.329	526	779	308	1.100	435
1999	407	89	567	123	1.013	220	597	130	799	174
2000	284	163	467	268	732	421	421	242	534	307
2001	223	133	355	211	602	359	347	207	490	292
2002	169	123	244	178	422	307	295	215	419	305
2003	211	145	300	206	457	313	251	172	435	298

Fuente: Elaboración propia.

muestra cada uno de los años con respecto al total de desembarcos realizados por la totalidad de la flota. Como cabía esperar, la capacidad de pesca toma valores superiores a las capturas en todos los casos.

El gráfico 3 muestra la evolución mensual de la flota voracera localizada en el puerto de Tarifa obtenida mediante las técnicas DEA y SFA. Ambas técnicas coinciden al mostrar una tendencia decreciente de la capacidad de pesca a lo largo del período.

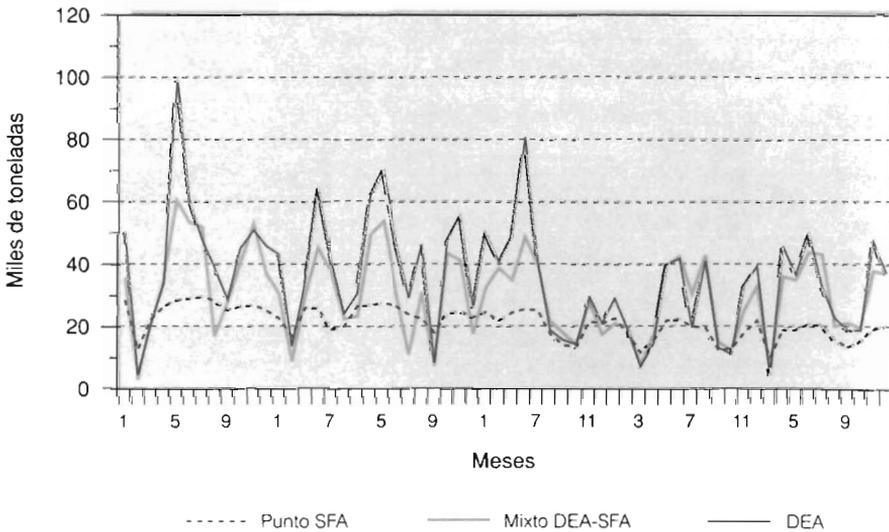
El gráfico 4 muestra la evolución del grado de utilización de los inputs variables durante el período. Mientras que el grado de utilización de la tripulación se incrementa, el de las mareas decrece, estando este último todos los meses por debajo del de la tripulación.

El gráfico 5 muestra el grado de utilización eficiente de la capacidad de pesca obtenido utilizando las técnicas DEA y SFA. Las técnicas DEA y el procedimiento Mixto SFA muestran una tendencia decreciente en el que cambia al final del período, mientras que el procedimiento Puro SFA presenta una ligera tendencia creciente.

Tanto los resultados de DEA como de SFA muestran tendencias similares de las magnitudes de utilización de capacidad eficiente y observada que proporcionan. Como puede comprobarse en el gráfico 6 y

Gráfico 3

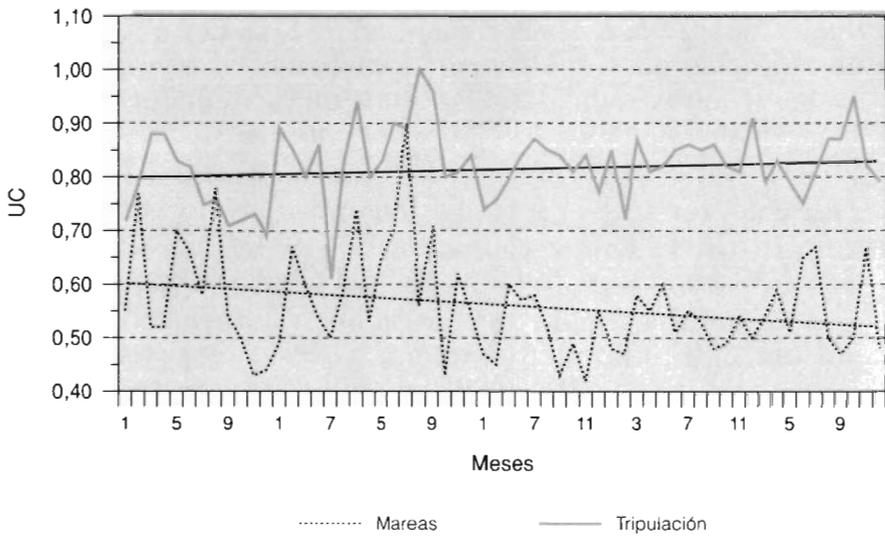
**Capacidad de pesca (tn)**



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4

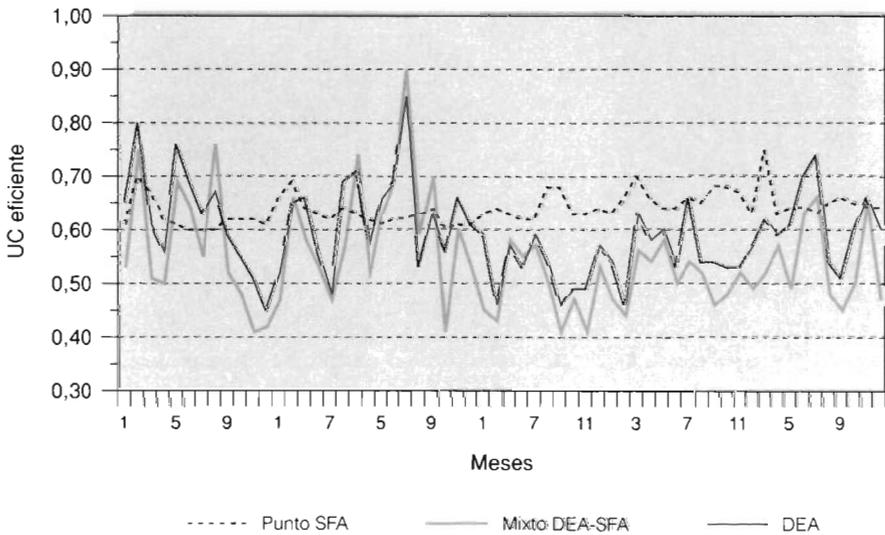
**Grado de utilización de los inputs variables**



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5

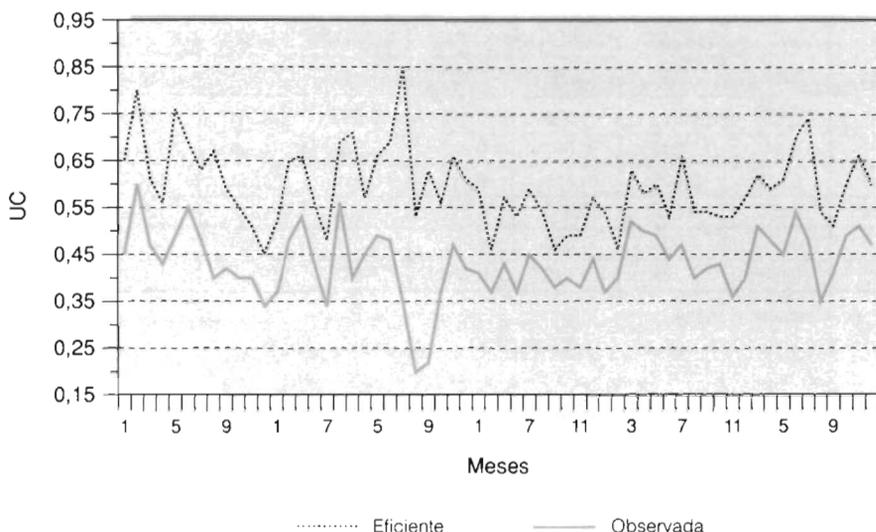
**Utilización de la capacidad eficiente**



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6

**Utilización de la capacidad eficiente y observada (DEA)**



Fuente: Elaboración propia.

el cuadro 11, en todos los casos la utilización de la capacidad eficiente toma valores superiores a los de la observada.

La disponibilidad de suficiente base informativa para trabajar con datos desagregados por buques que hace preferible las técnicas DEA y SFA a la técnica Pico a Pico en este caso de estudio, la elevada selectividad del arte de pesca empleada en esta pesquería que destina la práctica totalidad de su esfuerzo de pesca a la captura de voraz, la homogeneidad de la tecnología empleada en esta pesquería y la naturaleza estocástica intrínseca de la actividad pesquera hace preferibles los resultados obtenidos usando la técnica SFA a los de las técnicas Pico a Pico y DEA. Por otra parte, el procedimiento de Análisis de Fronteras Estocásticas Puro SFA presenta el inconveniente de suponer que la totalidad de las diferencias debidas a la no inclusión de los inputs productivos variables en el modelo de frontera estimado son únicamente capturadas por variaciones en el valor de los parámetros y el término representativo de la ineficiencia técnica permaneciendo inalterado el término de error simétrico representativo de las perturbaciones aleatorias que afectan a la producción. Estos hechos nos permiten seleccionar definitivamente los resultados del procedimiento Mixto DEA-SFA del Análisis de Fronteras Estocásticas como los más apropiados en este caso de estudio a los efectos de

Cuadro 11

## UTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD EFICIENTE Y OBSERVADA (SFA)

Año	UC <sub>eff</sub> (Puro SFA)		UC <sub>obs</sub> (Puro SFA)		UC <sub>eff</sub> (Mix DEA-SFA)		UC <sub>obs</sub> (Mix DEA-SFA)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
1998	0,618	0,219	0,528	0,213	0,583	0,358	0,475	0,299
1999	0,645	0,212	0,547	0,203	0,552	0,306	0,447	0,258
2000	0,619	0,225	0,515	0,217	0,811	0,873	0,639	0,691
2001	0,637	0,230	0,529	0,217	0,503	0,312	0,398	0,261
2002	0,653	0,232	0,535	0,217	0,518	0,324	0,402	0,260
2003	0,648	0,241	0,519	0,220	0,557	0,297	0,421	0,235

Fuente: Elaboración propia.

medir la capacidad de pesca y su grado de utilización, así como la sobrecapacidad de pesca de la flota voracera que opera en aguas del Estrecho de Gibraltar.

## 5. CONCLUSIONES

Las medidas de gestión aplicadas en la pesquería por el primer plan de recuperación han tenido éxito en la reducción de la capacidad de pesca de la flota voracera que faena en aguas del Estrecho de Gibraltar, aunque no parecen ser suficientes para garantizar la sostenibilidad bioeconómica de la pesquería a largo plazo al constatarse la persistencia de una alta sobrecapacidad de pesca de la flota voracera a principios del segundo plan de recuperación de acuerdo con la técnica más apropiada para este caso de estudio (Mixto DEA-SFA).

La capacidad de pesca de la flota voracera del puerto de Tarifa se ha reducido de 435 a 298 t en el período 1998-2003 de acuerdo con la técnica más apropiada (Mixto DEA-SFA); no obstante, continúa existiendo una sobrecapacidad de pesca del 61 por ciento de la TAC en la totalidad de la flota extrapolando los datos para toda la pesquería considerando la representatividad de la muestra en 2003. Por otra parte, la utilización de la capacidad observada y eficiente media es del 42 por ciento y el 56 por ciento, respectivamente, de acuerdo con esta misma técnica.

Los resultados obtenidos por las distintas técnicas y procedimientos utilizados para medir la capacidad de pesca y su grado de utilización, así como la sobrecapacidad de pesca presentan bastante variabilidad. En este sentido, la sobrecapacidad de pesca de la totalidad de la flota de voraz que opera en aguas del Estrecho de Gibraltar muestra una

tendencia decreciente de acuerdo con todas las técnicas utilizadas y oscila entre el -7 por ciento (Puro SFA) y el 69 por ciento (DEA). El resultado de la técnica Puro SFA es de signo contrario al del resto de técnicas, lo que conduciría, de acuerdo con esta técnica, a la conclusión de que no hay sobrecapacidad de pesca.

Todas las técnicas empleadas para la medición de la capacidad de pesca presentan una misma tendencia decreciente, aunque los valores absolutos arrojados por estas presentan bastante variabilidad. En el caso de las técnicas DEA y Puro SFA todos los años del período considerado son significativamente diferentes ( $\alpha=1$  por ciento) de acuerdo con el contraste no-paramétrico de Kruskal y Wallis (1952). Sin embargo, no existen diferencias significativas ( $\alpha=5$  por ciento) en los resultados obtenidos con las técnicas DEA y Mixto DEA-SFA en los dos últimos años del período considerado (2002 y 2003). Este hecho puede ser explicado por la escasa incidencia de los factores estocásticos en estos dos últimos años comparados con 1999 y 2000 cuando la abundancia relativa de japuta (*Brama brama*) fue excepcional. La japuta, de escaso interés comercial, es una especie que consume cebo del arte antes de que ésta alcance el fondo marino, donde habita el voraz, por lo que cuando es abundante en aguas pelágicas provoca una reducción significativa de las capturas.

La utilización de la capacidad eficiente muestra una ligera tendencia creciente después de 2000 de acuerdo con la técnica DEA y el procedimiento Mixto DEA-SFA. Esta tendencia creciente se puede observar para todo el período en los resultados del procedimiento Puro SFA. Los hechos de que otros estudios sugieran que el stock de voraz del Estrecho de Gibraltar durante el período de análisis ha crecido ligeramente, los inputs de la pesquería están controlados por la regulación vigente y la eficiencia técnica muestra una tendencia decreciente, unido a esta mejora de la utilización de la capacidad, incrementan los argumentos que permiten concluir que los planes de recuperación han contribuido efectivamente a una reducción de la capacidad de la pesquería (Castilla Espino, *et al.* 2005a).

La ratio de utilización de la tripulación (82.4 por ciento en 2003) es superior al de las mareas (52,2 por ciento en 2003) durante todo el período (gráfico 3). Esto puede ser explicado por el hecho de que los buques intensivos en mano de obra son los que continúan operando en la pesquería conforme pasa el tiempo. Bajo plena utilización se desarrollaría en 2003 un total de 5.680 mareas y el empleo generado sería de 369 trabajadores a tiempo completo.

La eficiencia técnica media de los buques en 2003 es del 75,77 por ciento de acuerdo con DEA, y entre el 70 por ciento y el 81 por ciento de acuerdo con los diferentes modelos SFA. Los rangos de eficiencia que muestran los resultados de eficiencia de las distintas fronteras estocásticas muestran un alto grado de correlación, mientras que las diferencias en los rangos de DEA y SFA son mayores (cuadro 12 –Spearman, 1904). La eficiencia muestra una tendencia decreciente en todo el período que es debida a las restricciones impuestas por la regulación de la pesquería.

Cuadro 12

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN POR RANGOS DE SPEARMAN (1904)  
DE LA EFICIENCIA TÉCNICA

Técnica	DEA	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
DEA	100,00%	58,22%	54,74%	55,51%	60,25%	62,39%
Modelo 0	58,22%	100,00%	95,94%	95,93%	92,32%	91,17%
Modelo 1	54,74%	95,94%	100,00%	99,96%	95,89%	94,40%
Modelo 2	55,51%	95,93%	99,96%	100,00%	96,24%	94,81%
Modelo 3	60,25%	92,32%	95,89%	96,24%	100,00%	99,71%
Modelo 4	62,39%	91,17%	94,40%	94,81%	99,71%	100,00%

Fuente: Elaboración propia.

La sobrecapacidad de pesca que persiste en la pesquería hace necesario aplicar medidas de gestión que avancen hacia la corrección de los incentivos económicos de los pescadores como las que promuevan una participación más intensa de los pescadores en la gestión o la creación de cuotas individuales transferibles que mejoran la definición de los derechos de propiedad sobre los recursos pesqueros motivando la inversión de los pescadores en la conservación de los recursos en aras de la sostenibilidad bioeconómica.

## 6. APÉNDICE TÉCNICO

### 6.1. Técnica Pico a Pico

La técnica Pico a Pico se basa en la identificación, mediante el uso de información histórica sobre la pesquería, de picos (máximos relativos) en los que se supone que se hace un uso pleno de la capacidad disponible (Ballard y Roberts, 1977; Hsu 2003). La técnica pico a pico es la de más fácil aplicación de las consideradas en este apéndice.

ce y no requiere excesiva información de base para su aplicación, lo que la hace especialmente apropiada cuando los datos son limitados (Kirkley y Squires, 1999b). Los supuestos de rendimientos constantes de escala, agregación de Hicksian y separabilidad de Leontieff de una tecnología de producción Cobb-Douglas son críticos en esta técnica.

Si  $Y_t$  es la captura de la flota que opera en la pesquería,  $V_t$  es una variable compuesta del capital o representativa de éste,  $T_t$  es la tendencia tecnológica en el momento  $t$ , y  $C$  es una constante, bajo los supuestos críticos relacionados en el párrafo anterior, una tecnología de producción Cobb-Douglas toma la forma que se presenta en la ecuación [10].

$$\frac{Y_t}{V_t} = C \cdot T_t \quad [10]$$

La estimación de la tendencia tecnológica ( $T_t$ ) de la ecuación [10] se lleva a cabo mediante la ecuación [11] donde  $p_1$  y  $p_2$  son el tiempo transcurrido entre el momento  $t$  y el momento del tiempo en el que tienen lugar los picos inmediatamente anterior y posterior. Una vez que la tendencia tecnológica ha sido estimada, la evaluación de [10] para los períodos entre picos proporciona la capacidad de pesca y la comparación de los valores de producción observados con los estimados en la utilización de la capacidad de pesca observada.

$$T_t = T_{t-p_1} + \frac{m \cdot \left( \frac{Y_{t+p_2}}{V_{t+n}} - \frac{Y_{t+p_1}}{V_{t+m}} \right)}{(p_1 + p_2)} \quad [11]$$

## 6.2. Análisis Envolvente de Datos (DEA)

El DEA es una técnica no-paramétrica de programación matemática gestada para calcular la eficiencia de una unidad de decisión. La técnica DEA determina la eficiencia mediante la distancia radial que separa a esta unidad de decisión de una frontera de producción formada por una combinación lineal no paramétrica compuesta de unidades de decisión que se supone operan eficientemente.

El DEA tiene las ventajas de ser de fácil aplicación y adaptación a tecnologías multiproducto, suponer relativamente pocas restricciones teóricas y no requerir que la tecnología de la producción sea especificada (García del Hoyo, *et al.* 2004). El principal inconveniente de esta técnica radica en que no considera los factores estocásticos que

influyen en la producción, no obstante, una línea de investigación relativamente reciente ha producido algunos resultados teóricos que permiten poder hablar de un DEA estocástico (Sengupta, 1987, Land, *et al.* 1993, Olesen y Petersen, 1995).

La técnica DEA ha sido aplicada en el ámbito de la economía de la pesca, no sólo para la medición de la eficiencia, sino también para la medición de la capacidad de pesca, especialmente desde la recomendación de su uso en FAO (1998) que realizó una extensa revisión de los distintos métodos alternativos disponibles para medir la capacidad de pesca (Hsu 2003, Vestergaard, *et al.* 2003, Reid, *et al.* 2003, Castilla Espino, *et al.* 2005b).

La medición de la eficiencia técnica mediante DEA requiere la realización de supuestos críticos sobre la orientación de la medida de eficiencia: al input o al output, o los rendimientos de escala de la tecnología de producción empleada. En Färe, *et al.* (1989) se desarrolló un procedimiento bietápico para determinar la capacidad de producción y su grado de utilización desde la perspectiva del output usando la técnica DEA, basándose en el concepto de capacidad de producción de Johansen (1968) según el cual la capacidad de una planta de producción es el máximo output que se puede producir por unidad de tiempo con el equipo existente, siempre que el uso de los inputs variables disponibles no se encuentre restringido.

La técnica DEA fue aplicada por primera vez en el sector pesquero a los efectos de medición de la capacidad-output de pesca y su grado de utilización por Kirkley y Squires (1999a), y para el cálculo de estas dos magnitudes requiere la resolución de dos problemas de programación lineal en un proceso bietápico.

En el supuesto de rendimientos constantes de escala (RCE), se resuelve en la primera etapa el problema lineal [12] que adopta una orientación al output y en el que se supone que cada uno de los  $J$  buques ( $j$ ) de una flota captura  $S$  especies ( $y_{sj}$ ) haciendo uso de  $M$  inputs productivos ( $x_{mj}$ ) de los que  $\alpha$  son fijos, y  $\alpha'$  son variables y plenamente utilizados. También se supone que cada buque usa al menos un input ( $x_{mj} > 0$ ) y captura al menos una especie ( $y_{sj} > 0$ ).

$$\begin{aligned} & \underset{\lambda, \phi_j, \gamma}{\text{máx}} \phi_1 \\ \text{s.a.} \quad & \phi_1 y_{js} - \sum_{j=1}^J \lambda_j y_{js} \leq 0, s = 1, 2, K, S \\ & \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{jm} - x_{jm} \leq 0, m \in \alpha \end{aligned} \quad [12]$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{jm} - \gamma_{jm} x_{jm} &= 0, m \in \alpha' \\ \lambda_j &\geq 0, j = 1, 2, \dots, J \\ \gamma_{jm} &\geq 0, m \in \alpha' \end{aligned}$$

La solución óptima del problema de programación lineal [12], en el que la restricción tercera impone plena utilización de los inputs variables, permite calcular la utilización de la capacidad observada ( $UC_{obs}$ ) mediante la inversa de  $\phi_1$  [13], el grado de utilización de los  $\alpha'$  inputs variables mediante la solución óptima del problema para  $\gamma_{jm}$  (ratio de utilización de los inputs variables) y la capacidad de pesca ( $y_{js}^*$ ) mediante el producto de  $\phi_1^*$  y el output efectivo ( $y_j$ ) de cada buque. La capacidad de pesca de la totalidad de la flota vendrá determinada por la suma de la de cada uno de los buques que la componen.

$$UC_{obs} = \frac{Y_{js}}{\phi_1^* \cdot y_{js}} = \frac{1}{\phi_1^*} \quad [13]$$

El valor de  $\phi_1^*$  representa la expansión radial necesaria del output para operar eficientemente utilizando plenamente los inputs variables. Cuando  $\phi_1^* = 1$ , el buque de que se trate opera eficientemente, mientras que cuando  $\phi_1^* > 1$  el buque opera ineficientemente aun haciendo uso pleno de los inputs variables. La utilización de la capacidad observada toma el valor 0 cuando el pescador no pudo pescar o tomó la decisión de no hacerlo, el valor 1 cuando los pescadores usan todo su potencial para capturar peces y valores entre 0 y 1 dependiendo del grado de uso de su potencial de captura.

La posibilidad de que la eficiencia técnica pueda estar sesgada a la baja como consecuencia de que el buque pueda estar operando ineficientemente (Färe, *et al.* 1989), y el hecho de que la  $UC_{obs}$  pueda ser una medida poco realista de la utilización de la capacidad en los casos en los que hay una alta variabilidad de la eficiencia y ésta persiste con el paso del tiempo (Felthoven y Morrison, 2004), hace necesario la resolución en la segunda etapa del problema de programación lineal [14] que permite eliminar el efecto negativo que pueda tener la ineficiencia en el cálculo de la utilización de la capacidad de pesca posibilitando la obtención de una medida insesgada o eficiente de la misma [15].

$$\begin{aligned}
 & \max_{\lambda, \phi_2} \phi_2 \\
 \text{s.a.} \quad & \phi_2 y_{js} - \sum_{j=1}^J \lambda_j y_{js} \leq 0, s = 1, 2, \dots, S \\
 & \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{jm} - x_{jm} \leq 0, m = 1, 2, \dots, M \\
 & \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, J
 \end{aligned} \tag{14}$$

La solución óptima del problema de programación lineal [14] en el que a diferencia del problema [12] no se impone la plena utilización de los inputs variables, permite medir la eficiencia técnica (ET) mediante la inversa de  $\phi_2^*$  que representa la expansión radial necesaria del output para operar eficientemente con el uso efectivo de los inputs variables. Cuando  $\phi_2^* = 1$  (ET = 1), el buque de que se trate opera eficientemente, mientras que cuando  $\phi_2^* > 1$  ( $0 < ET < 1$ ) el buque opera ineficientemente. Junto a la eficiencia técnica, la solución óptima de este problema también permite calcular el máximo output potencial que es posible producir dado el uso actual de los inputs variables mediante el producto de  $\phi_2^*$  y el output efectivo ( $y_{js}$ ), y la utilización de la capacidad eficiente ( $UC_{\text{efi}}$ ) de cada buque mediante la ratio [15].

$$UC_{\text{efi}} = \frac{\phi_2^* \cdot y_{js}}{\phi_1^* \cdot y_{js}} = \frac{\phi_2^*}{\phi_1^*} \tag{15}$$

Cuando se suponen rendimientos variables de escala (RVE) se ha de añadir a los problemas de programación lineal [12] y [14] la restricción de convexidad [16].

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j = 1 \tag{16}$$

### 6.3. Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA)

Una frontera de capturas es el máximo output potencial que puede ser obtenido dados los inputs productivos, la tecnología de producción y las condiciones del stock explotado. Una frontera estocástica de captura toma la forma presentada en [17] donde  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros,  $q$  es la capturabilidad,  $S_t$  el stock explotable en el momento  $t$ ,  $G[.]$  el esfuerzo de pesca que es definido como una función de la actividad ( $\tau_j$ ) y una función  $f(.)$  de  $m$  inputs productivos ( $x_{jm}$ ) de

cada buque  $j$ ,  $v_{jt}$  es un término de error simétrico que representa los factores estocásticos que influyen las capturas y  $u_{jt}$  es un término de error asimétrico no negativo ( $u_{jt} \geq 0$ ) que representa la ineficiencia. Generalmente, se supone que  $v_{jt}$  se distribuye de acuerdo con una distribución normal con media nula y varianza constante, mientras que  $u_{jt}$  de acuerdo con una distribución Normal truncada en cero o cualquier otra distribución asimétrica no negativa (v.g. Seminormal, Exponencial, Gamma – Khumbakar y Lovell, 2000).

$$y_{jt} = q \cdot S_t^\alpha \cdot G\left[\tau_j, f(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})\right]^\beta \cdot e^{v_{jt} - u_{jt}} \quad [17]$$

El Análisis de Fronteras Estocásticas comparado con las técnicas Pico a Pico y Análisis Envoltente de Datos considera los factores estocásticos que influyen las capturas, requiere que la tecnología de la producción sea especificada y permite contrastar restricciones sobre los parámetros de los modelos (García del Hoyo, *et al.* 2004; Sharp, BMH, *et al.* 2004). Sin embargo, esta técnica presenta dificultades de adaptación a tecnologías multiproducto, aunque puede ser adaptada a este caso mediante el uso de funciones de distancias (Coelli y Perelman, 1999, 2000; Orea, *et al.* 2005). Una de las primeras aplicaciones de esta técnica para la medición de la capacidad de pesca y su grado de utilización es atribuida a Kirkley y Squires (1999a). Existen dos procedimientos diferentes que permiten estimar la capacidad de pesca y su grado de utilización mediante SFA.

El primer procedimiento (en adelante Puro SFA), estima la frontera de capturas [18] en una primera etapa. En esta frontera se supone que los inputs variables ( $X_{j,var}$ ) son usados plenamente incluyendo únicamente en el modelo los inputs fijos ( $X_{j,fix}$ ). La frontera de capturas [17], la cual incluye todos los inputs productivos, se estima en la segunda etapa con el objeto de obtener una medida de la utilización de la capacidad eficiente o insesgada en el sentido descrito en este apéndice para la técnica DEA.

$$y_{jt} = q \cdot S_t^\alpha \cdot G\left[f(X_{j,fix})\right]^\beta \cdot e^{v_{jt} - u_{jt}} \quad [18]$$

La estimación de los modelos de fronteras estocásticas [17] y [18] permite determinar para este caso concreto una medida de la utilización de la capacidad observada ( $UC_{obs}$ ) y eficiente ( $UC_{eff}$ ) mediante [19] y [20] respectivamente para cada buque. Ambas magnitudes toman valores comprendidos entre 0 y 1 y son interpretados del mismo modo descrito para la técnica del DEA. La capacidad de pesca ( $y_{jt}^*$ ) resultaría de la evaluación para cada buque según sus inputs productivos fijos de la parte determinista de la frontera [18].

$$UC_{obs} = e^{-\hat{u}_j} \quad [19]$$

$$UC_{efi} = \frac{e^{-\hat{u}_j}}{e^{-\hat{u}_j}} \quad [20]$$

El Segundo procedimiento (en adelante procedimiento Mixto DEA-SFA) determina en la primera etapa la ratio de utilización de los inputs variables ( $\gamma_{jm}$ ), para lo cual pueden seguirse distintos criterios como la utilización de la ratio de utilización de los inputs variables máxima dadas las restricciones impuestas en la pesquería por la regulación o el valor óptimo de ésta de acuerdo con un óptimo económico (Felthoven y Morrison, 2004, Kirkley, *et al.* 2004). Otro criterio factible en el caso en que la regulación de la pesquería no supone una restricción real consiste en determinar la ratio de utilización de los inputs variables calculada mediante la resolución de un problema de programación lineal DEA como el mostrado en [12] para la determinación de la ratio de utilización de los inputs variables. La frontera estocástica [17] es estimada en la segunda etapa y permite determinar la capacidad de pesca mediante su evaluación suponiendo utilización plena de los inputs variables obtenida en la primera etapa. El grado de utilización de la capacidad de pesca observado y eficiente también puede ser estimado mediante las expresiones [21] y [22] respectivamente para cada buque.

$$UC_{obs} = \frac{y_{jt} \cdot e^{-\hat{v}_j}}{G[\gamma_t \cdot \tau_j, f(X_{j,fix}, \gamma_{var} \cdot X_{j,var})]^{\hat{\beta}}} \quad [21]$$

$$UC_{efi} = \frac{G[\tau_j, f(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})]^{\hat{\beta}}}{G[\gamma_t \cdot \tau_j, f(X_{j,fix}, \gamma_{var} \cdot X_{j,var})]^{\hat{\beta}}} \quad [22]$$

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, L. G. (1976): «The Relationship between Firm and Fishery in Common Property Fisheries». *Land Economics*, 52(2): pp. 179-91.
- ANDERSON, L. G. (1977): «The Economics of Fisheries Management». Johns Hopkins University Press, Baltimore (EE.UU. de America).
- ANDERSON, L. G. (1978): «The Relation between Firm and Fishery in Common Property Fisheries: Reply». *Land Economics*, 54(1): pp. 100-3.
- BALLARD, K. y ROBERTS, J. (1977): «Empirical Estimation of the Capacity Utilization Rates of Fishing Vessels in 10 Major Pacific Coast Fisheries». National Marine Fisheries Service, Washington D.C. (EE.UU. de America).

- BATTESE, G. E. y COELLI, T. J. (1988): «Prediction of Firm-Level Technical efficiencies with a Generalized Frontier Production function and Panel Data». *Journal of Econometrics*, 38: pp. 387-99.
- BATTESE, G. E. y COELLI, T. J. (1992): «Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India». *Journal of Productivity Analysis*, 3: pp. 153-69.
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. y COLBY, T. C. (1989): «Estimation of Frontier Production Functions and the Efficiencies of Indian Farms Using Panel Data From ICRISAT's Village Level Studies». *Journal of Quantitative Economics*, 5: pp. 327-48.
- BATTESE, G. y CORRA, G. (1977): «Estimation of a Production Frontier Model: With Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia». *Australian Journal of Agricultural Economics*, 21(3): pp. 169-79.
- BJØRNDAL, T. (1989): «Production in a Schooling Fishery: The Case of the North Sea Herring Fishery». *Land Economics*, 65(1): pp. 49-56.
- BRAVO, R.; CASMIRO-SORIGUER, M.; VILLAR, N.; GÓMEZ-CAMA, M. C. y HERNANDO-CASAL, J. A. (2000): «An Approach to Studying the Selectivity of the Voraz (*Pagellus bogaraveo*, Brünnich, 1768) Fishing Technique Used in Tarifa, Spain». En F. Pinella: *International Congress on Maritime Technological Innovations and Research 2º*. Universidad de Cádiz, Cádiz (España).
- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. y RAMAN, R. (1998): «GAMS, a User's Guide». GAMS Development Corporation, Wasington D.C. (EE.UU. de America).
- CASTILLA ESPINO, D.; FRIED, H. H.; GARCÍA DEL HOYO, J. J. y TAUER, L. W. (2005a): «Estimating the Stock of Red Seabream in the Strait of Gibraltar: Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Estimates». *AEM Working Paper*, 15. Department of Applied Economics and Management, Cornell University, Nueva York (EE.UU. de América).
- CASTILLA ESPINO, D.; GARCÍA DEL HOYO, J. J. y SHARP, B. M. H. (2005b): «Capacity and Capacity Utilization of «Voracera» Fleet in the Strait of Gibraltar». *Marine Resource Economics*, 20(4): pp. 367-84.
- CE (1999): «Regional Socio-economic Studies on Employment and the Level of Dependency on Fishing». *Final Report. Spain. Lot*, 5. Andalusia (Atlantic Coast), Canary Islands, Estremadura». [www.europa.eu.int/comm/fisheries](http://www.europa.eu.int/comm/fisheries).
- CLARK, C. W. (1990): «Mathematical Bioeconomics, The Optimal Management Renewable Resources». Wiley, segunda edición (primera edición: 1976), Nueva York (EE.UU. de América).
- CHARNES, A.; COOPER, W. W. y RHODES, E. (1978): «Measuring of Efficiency on Decision Making Units». *European Journal of Operational Research*, 2(6): pp. 429-44.
- COELLI, T. J. (1996): «A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation». *CEPA Working Paper 96/7*, Department of Econometrics, University of New England, Armidale NSW (Australia).

- COELLI, T. J. y PERELMAN, S. (1999): «A Comparison of Parametric and Non-Parametric distance functions: with application to European Railways». *European Journal of Operational Research*, 117: pp. 326-39.
- COELLI, T. J. y PERELMAN, S. (2000): «Technical Efficiency of European Railways: A Distance function Approach». *Applied Economics*, 32: pp. 1.967-76.
- DEL VALLE, I.; ASTORKIZA, I. y ASTORKIZA, K. (2003): «Fishing Effort Validation and Substitution Possibilities Among Components: The Case Study of the VIII Division European Anchova Fishery». *Applied Economics*, 35(1): pp. 63-77.
- DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE CÁDIZ (1991): «El Sector Pesquero de la Provincia de Cádiz». Excma. Diputación de Cádiz, Cádiz (España).
- DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE CÁDIZ (1994): «Las Artes de Pesca en el Litoral Gaditano». Excma. Diputación de Cádiz, Cádiz (España).
- DUPONT, D. P.; GAFTON, R. Q., KIKLEY, J. E. y SQUIRES, D. (2002): «Capacity Utilization Measures and Excess Capacity in Multi-product Privatized Fisheries». *Resource and Energy Economics*, 24: pp. 193-210.
- FAO (1998): «Report of the FAO Technical Working Group on the Management of Fishing Capacity». *FAO Fisheries Report*, 586, FAO, Roma (Italia).
- FÅRE, R.; GROSSKOPF, S. y KOKKELENBERG, E.C. (1989): «Measuring Plant Capacity, Utilization and Technical Change: A Nonparametric Approach». *International Economic Review*, 30(3): pp. 655-66.
- FELTHOVEN, R. G. y MORRISON, C. J. (2004): «Multi-output, Non-Frontier Primal Measures of Capacity and Capacity Utilization». *American Journal of Agricultural Economics*, 86(3): pp. 619-633.
- GARCÍA DEL HOYO, J. J.; CASTILLA ESPINO, D. y JIMÉNEZ TORIBIO, R. (2004): «Determination of Technical Efficiency of Fisheries by Stochastic Frontier Models: A Case on the Gulf of Cádiz (Spain)». *ICES Journal of Marine Science*, 61(3): pp. 416-21.
- GARCÍA DEL HOYO, J. J.; GARCÍA ORDAZ, F.; GONZÁLEZ GALÁN, M. D. y VILCHES LOBATO, M. L. (2001): «Gestión de Pesquerías Artesanales». Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, Huelva (España).
- GIL, J. y SOBRINO, I. (2001): «Studies on Reproductive Biology of the Red (blackspot) Seabream [*Pagellus bogaraveo* (Brünnich, 1768)] from the Strait of Gibraltar (ICES IXa/SW Spain)». Poster 1, NAFO Scientific Symposium on Deep-Sea Fisheries, Varadero (Cuba).
- GIL, J.; SOBRINO, I. y JIMÉNEZ, M. P. (2000): «A Brief Description of the Strait of Gibraltar Red Seabream (*Pagellus Bogaraveo*) Fishery». Working Document of the 2000 Report of the ICES S.G. on the Biology and Assessment of Deepsea Fisheries Resources (S.G. DEEP).
- GRÉBOVAL, D. (1999): «Assessing Excess Fishing Capacity at World-wide Level». En: D. Gréboval (ed.): *Managing Fishing Capacity: selected papers on underlying Concepts and Issues*, FAO Fisheries Technical Paper no 386, FAO, Roma (Italia).
- GREENE, W. H. 1998. *LIMDEP's Users Manual*, Version 7.0, New York (USA): Econometric Software.

- HSU, T. (2003): «Simple Capacity Indicators for Peak to Peak and Data Envelopment Analysis of Fishing Capacity-A Preliminary Assessment». En S. Pascoe y D. Gréboval (eds.): *Measuring Capacity in Fisheries, FAO Fisheries Technical Paper*, 445, FAO, Roma (Italia).
- JOHANSEN, L. (1968): «Production Function and the Concept of Capacity», en *Recherches recentes sur la fonction de production*, Namur University Center for Study and Research, Namur (Francia).
- KIRKLEY, J. E.; MORRISON, C. J. y SQUIRES, D. (2002): «Capacity and Capacity Utilization in Common-pool Resource Industries». *Environmental and Resource Economics*, 22: pp. 71-97.
- KIRKLEY, J. E.; MORRISON, C. J. y SQUIRES, D. (2004): «Deterministic and Stochastic Capacity Estimation for Fishery Capacity Reduction». *Marine Resource Economics*, 17: pp. 271-94.
- KIRKLEY, J. E. y SQUIRES, D. (1999a): «Capacity and Capacity Utilization in Fishing Industries». *Discussion paper*, 99-16, Department of Economics, University of California, San Diego.
- KIRKLEY, J. E. y SQUIRES, D. (1999b): «Measuring Capacity and Capacity Utilization in Fisheries». En Gréboval, D., (ed.): *Managing Fishing Capacity: Selected Papers on Underlying Concepts and Issues*, FAO Fisheries Technical Paper no 386, FAO, Roma (Italia).
- KRUSKAL, W. H. y WALLIS, W. A. (1952): «Use of Ranks in One-criterion Variance Analysis». *Journal of the American Statistical Association*, 47: pp. 583-621.
- KODDE, D. A. y PALM, F. C. (1986): «Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions». *Econometrica*, 54: pp. 1.243-8.
- KHUMBAKAR, S. C. y LOVELL, C. A. K. (2000): «Stochastic Frontier Analysis». Cambridge University Press, Nueva York (EE.UU. de America).
- LAND, K.; LOVELL, C. A. K. y THORE, S. (1993): «Chance-constrained Data Envelopment Analysis». *Managerial and Decision Economics*, 14(6): pp. 541-54.
- OLESEN, O. B., y PETERSEN, N. C. (1995): «Chance-constrained Efficiency Evaluation». *Management Science*, 41(3): pp. 442-57.
- OREA, L.; ÁLVAREZ, A. y MORRISON, C. J. (2005): «Modelling and Measuring Production Processes for a Multi-Species Fishery: Alternative Technical Efficiency Estimates for the Northern Spain Hake Fishery». *Natural Resource Modeling*, 18(2): pp. 183-213.
- PASCOE, S. y GRÉBOVAL, D. (2003): «Measuring Capacity in Fisheries». *FAO Fisheries Technical Paper*, 445, FAO, Roma (Italia).
- PASCOE, S.; KIRKLEY, J. E.; GRÉBOVAL, D. y MORRISON-PAUL, C. J. (2003): «Measuring and Assessing Capacity in Fisheries. 2. Issues and methods». *FAO Fisheries Technical Paper*, 433/2, FAO, Roma (Italia).
- PITT, M. y LEE, L.F. (1981): «The Measurement and Sources of Technical Inefficiency in the Indonesian Weaving Industry». *Journal of Development Economics*, 9: pp. 43-64.
- REID, C.; SQUIRES, D.; JEON, Y.; RODWELL, L. y CLARKE, R. (2003): «An Analysis of Fishing Capacity in the Western and Central Pacific Ocean Tuna Fishery and Management Implications». *Marine Policy*, 27: pp. 449-69.

- SCHMIDT, P. y SICKLES, R. C. (1984): «Production Frontiers and Panel Data». *Journal of Business and Economic Statistics*, 4: pp. 367-74.
- SENGUPTA, J. K. (1987): «Data Envelopment Analysis for Efficiency Measurement in the Stochastic Case». *Computers and Operations Research*, 14(2): pp. 117-29.
- SHARP, B. M. H.; CASTILLA ESPINO, D. y GARCÍA DEL HOYO, J. J. (2004): «Efficiency in the New Zealand Rock Lobster Fishery: A Production Frontier Analysis». *New Zealand Economic Papers*, 38(2): pp. 207-18.
- SPEARMAN, C. (1904): «General Intelligent Objectively Determined and Measured». *American Journal of Psychology*, 15: pp. 201-93
- SOBRINO, I. y GIL, J. (2001): «Studies on Age Determination and Growth Pattern of the Red (blackspot) Seabream [*Pagellus bogaraveo* (Brünnich, 1768)] from the Strait of Gibraltar (ICES IXa/SW Spain)». Poster 4, NAFO Scientific Symposium on Deep-Sea Fisheries, Varadero (Cuba).
- SPECICATO, M. T.; GRECO, S.; SOPHRONIDIS, K.; LEMBO, G.; GIORDANO, D. y ARGYRI, A. (2002): «Geographical Distribution, Abundance and Some Population Characteristics of the Species of the Genus *Pagellus* (Osteichtchyes: Perciformes) in the Different Areas of the Mediterranean». *Scientia Marina*, 66(2): pp.65-82.
- SQUIRES, D. (1987): «Fishing Effort: Its Testing, Specification, and Internal Structure in Fisheries Economics and Management». *Journal of Environmental Economics and Management*, 14: pp. 268-282.
- STECF (2002): «Report of the Ad hoc Working Group on Evaluation of Recovery Plans of Andalusia and Sicily», European Commission Staff Working Paper, SEC 888.
- VESTERGAARD, N.; SQUIRES, D. y KIRKLEY, J. E. (2003): «Measuring Capacity and Capacity Utilization in Fisheries. The Case of the Danish Gillnet Fleet». *Fisheries Research*, 60(2-3): pp. 357-68.
- WALDEN, J. B. y KIRKLEY, J. E. (2000): «Measuring Technical Efficiency and Capacity in Fisheries by Data Envelopment Analysis Using the General Algebraic Modeling System (GAMS): A Workbook». NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-160.
- WARD, J. M. y METZNER, R. (2002): «Fish Harvesting Capacity, Excess Capacity, and Overcapacity». En FAO: Report of the Expert Consultation on Catalyzing the Transition Away from Overcapacity in Marine Capture Fisheries. Rome, 15-18 october 2002, FAO Fisheries Technical Paper, 691, FAO, Roma (Italia).

## RESUMEN

### Medición de la capacidad de pesca de la flota de voraz del Estrecho de Gibraltar: enfoques paramétricos y no paramétricos

La alta rentabilidad y movilidad de los buques inscritos en el Censo de Flota Operativa artesanal provocó una expansión significativa de la flota «voracera» que faena en aguas del Estrecho de Gibraltar durante el período 1983-1995. Era evidente en 1998 que la pesquería de voraz (*Pagellus bogaraveo*, Brünnich 1768) estaba siendo sobreexplotada. Este hecho motivó la elaboración y aplicación de dos planes de recuperación en los períodos 1999-2002 y 2003-2005 tendentes a garantizar la sostenibilidad bioeconómica de la pesquería y reducir la sobrecapacidad de la flota que la explota. Este artículo tiene como objeto evaluar el efecto sobre la capacidad de pesca del primer plan de recuperación y calcular la sobrecapacidad de la flota «voracera» al principio del segundo plan de recuperación usando las técnicas Pico a Pico, Análisis Envolvente de Datos y Análisis de Fronteras Estocásticas. Los resultados de esta aplicación muestran que el primer plan de recuperación ha logrado frenar la expansión de la flota «voracera» reduciendo su capacidad de pesca, pese a que a principios del segundo plan de recuperación continúa existiendo sobrecapacidad de la flota. Se concluye señalando la necesidad de introducir medidas de gestión que modifiquen los incentivos económicos de los pescadores a maximizar su captura individualmente, especialmente aquellas que progresen más en la implicación de los pescadores en la gestión de la pesquería.

**PALABRAS CLAVE:** Capacidad de pesca, DEA, Estrecho de Gibraltar, fronteras estocásticas, pico a pico, plan de recuperación, sobrecapacidad, voraz.

## SUMMARY

### Measuring fishing capacity of red seabream in the Strait of Gibraltar: Parametric and non-parametric approaches

High profitability, vessel mobility and open access resulted in an increase in total harvesting capacity in the red seabream fishery (*Pagellus bogaraveo*, Brünnich, 1768) during the period 1983-1998. In 1998 it was evident that the fishery was overexploited and two recovery plans aimed at sustainability and reducing overcapacity of the fishery were implemented in periods 1999-2002 and 2003-2005. The first recovery plan introduced a limited license program to restrict access to the fishery, fishing gear restrictions, a cap on the number of fishing trips, incentives to leave fishing employment, and a size limitation on fish caught. An advisory board was formed, composed of fishermen and other interest groups. The second recovery plan imposed a Total Allowable Catch (TAC) per year. This paper investigates the effects of the first recovery plan on fishing capacity and estimates overcapacity of the «voracera» fleet at the beginning of the second recovery plan. Fishing capacity and capacity utilization are determined by Peak to Peak, Stochastic Frontier Analysis (SFA) and Data Envelopment Analysis (DEA) techniques.

The Peak to Peak technique is based on the identification of peaks (relative maximum outputs) using historical information of the fishery and assuming that capacity is completely used in peaks periods. Peak to Peak is an appropriate technique only when data are limited. Fare et al. (1989) developed a two-stage procedure based on the efficiency and productivity analysis non-parametric technique Data Envelopment Analysis (DEA) to calculate production capacity and capacity utilization that was first applied to fisheries. This procedure imposes full utilization of variable productive inputs in a standard DEA linear problem to determine fishing capacity and observed capacity utilization in a first stage. A standard DEA linear program is run in a second stage to determine efficient capacity utilization. Stochastic Frontier Analysis is parametric technique of the efficiency and productivity analysis. Two procedures have been used in the paper to measure fishing capacity and capacity utilization. The first procedure (Pure SFA) estimates an SFA model without restricting variable inputs in a first stage to determine fishing capacity and observed capacity utilization. A standard

SFA model is estimated to obtain efficient capacity utilization in a second stage. The second procedure (Mix DEA-SFA) determines the ratio of utilization of variable inputs using a DEA linear program, where full utilization of variable inputs is imposed. In a second stage, a standard SFA model is estimated and evaluated to determine fishing capacity and observed and efficient capacity utilization using the ratio of utilization of variable inputs calculated from the DEA first stage.

The results from the three techniques are compared. Results suggest that management measures applied in the fishery at the end of 1998 have had a positive effect on the objective of reducing fishing capacity of this fleet. Nonetheless, it is worth noting that management measures implemented in the fishery may not have a significant effect on reducing fishing capacity in the long term. It is necessary to introduce measures that change the incentives of fishermen and to make further progress involving fishermen in the management of the resource.

**KEYWORDS:** DEA, SFA, peak to peak, fishing capacity, red seabream fishery, recovery plan, Strait of Gibraltar.