

Análisis Económico de la Pesquería de Chirla Suratlántica

Félix García Ordaz
Universidad de Huelva

BIBLID [0213-7525 (1999); 55; 15-46]

PALABRAS CLAVE: Modelización bioeconómica, Pesquerías artesanales, Control óptimo.

KEY WORDS: Bioeconomic modelling, Artisanal fisheries, Optimal control.

RESUMEN:

Durante los últimos años, las pesquerías artesanales andaluzas han sufrido los perniciosos efectos de la sobreexplotación de sus recursos. De ellas, las de moluscos bivalvos, fundamentalmente la de Chirla, son fiel ejemplo. En este trabajo se analizan los principales eventos que han condicionado el comportamiento de los distintos agentes involucrados en la actividad. Posteriormente se define una serie específica de esfuerzo pesquero como paso previo a la posterior fase de modelización bioeconómica, con especial referencia al problema de la estimación, y finalmente se identifican las soluciones al problema de gestión de la pesquería desde diferentes enfoques metodológicos.

ABSTRACT:

During the last years, the Andalusian artisanal fisheries have experienced the negative effects of the overexploitation. Among them, we would like to stand out the bivalve mollusc ones, mainly the Striped Venus fishery. In this research work, first, the specific features of the artisanal fisheries are defined. Second, the most important events that have conditioned the behaviour of the different agents of the fishery are analysed, highlighting the recent technological innovation process and its negative consequences in our unregulated artisanal fishery. Third, specific series of fishing effort are defined so that the bioeconomic modelling can be done. Therefore, the most important aspects related to the estimate of the different model parameters are analysed. Finally, some solutions for the optimal control fishery are proposed from different methodological points of view.

INTRODUCCIÓN

Las crecientes restricciones al acceso de caladeros en países terceros han motivado que las diferentes naciones ribereñas se esfuercen en regular de una forma eficiente la actividad pesquera desarrollada en las zonas en las que todavía ostentan competencias de regulación. En este sentido, las pesquerías artesanales constituyen un fiel ejemplo del estado de degradación al que están

siendo sometidos los stocks explotados por las flotas costeras. La actividad desarrollada en estas pesquerías al amparo de la regulación que en la Región Suratlántica Española ejerce la Dirección General de Pesca de la Junta de Andalucía se ve caracterizada por multitud de matices y hechos diferenciadores que confieren a la misma una naturaleza singular. Fiel ejemplo de ello son las pesquerías de moluscos bivalvos de la citada región, de las que sobresale por su especial relevancia socioeconómica la pesquería de Chirla.

En este trabajo se desarrollan los aspectos básicos de esta actividad, para lo que ha resultado trascendental la revisión histórica de los principales acontecimientos que han condicionado la evolución de la pesquería analizada, destacando como hecho de especial relevancia el proceso de innovación tecnológica producido a principios de la década de los noventa, con la introducción de un nuevo arte que ha entrado en competencia con el tradicional rastro remolcado, expulsando a las unidades provistas de este arte en beneficio de la draga hidráulica. Esta innovación tecnológica se ha traducido, entre otros aspectos, en un crecimiento sostenido del esfuerzo pesquero en el período 1991-1997, principal causante del estado de degradación al que se está viendo sometido el recurso.

El análisis de la pesquería se ha abordado desde la perspectiva de los denominados modelos bioeconómicos, contemplando de forma separada un submodelo biológico que explica la dinámica del stock y sus reacciones ante la explotación pesquera, y por otra parte, un submodelo económico, que analiza el comportamiento de los principales agentes económicos implicados en la actividad. La conjunción de estos dos submodelos permite, aplicando una especial metodología, obtener soluciones de equilibrio basadas en combinaciones de esfuerzo y capturas que permiten, por un lado, situar al recurso en posiciones sostenibles con el mantenimiento de ciertos márgenes de seguridad, y en segundo lugar, garantizar que la explotación pesquera sea compatible con un margen de rentabilidad que permita la continuidad de la actividad, actualmente amenazada por la sobreexplotación del stock. Finalmente, se formularán algunas de las principales alternativas, en forma de herramientas de gestión o instrumentos de control, que permitan al gestor de la pesquería situarla en un plazo determinado de tiempo en las situaciones de equilibrio anteriormente determinadas.

1. LA PESQUERÍA DE CHIRLA EN LA REGIÓN SURATLÁNTICA

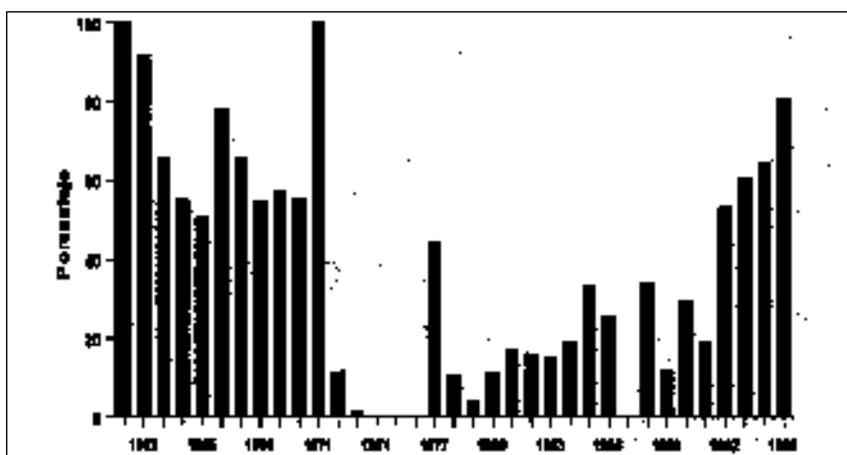
La captura de moluscos bivalvos en mar abierto se ha venido realizando tradicionalmente mediante el arte de pesca denominado "rastros remolcados", destacando entre las pesquerías de este tipo, por su trascendencia económica, la de la especie denominada chirla "Chamelea gallina" (Linnaeus, 1758). La flota dedicada a esta actividad queda caracterizada como artesanal, ya que junto a la proximidad de los stocks de chirla a los diferentes puertos donde es desembarcada y subastada, confluyen en ella todo un conjunto de peculiaridades en los procesos productivos y de comercialización, junto con un especial sistema de relaciones laborales donde subsiste aún el denominado sistema de retribución "a la parte", rasgo común en muchas de las pesquerías artesanales.

Aunque se conservan referencias estadísticas sobre la existencia de capturas relevantes de chirla con anterioridad a 1956, es a partir del citado año cuando se empiezan a obtener capturas de cierta importancia. En el decenio 1946-1956 los desembarcos de chirla se concentraban en las regiones Cantábrica y Noroeste. Sin embargo, a partir de 1956 la importancia de los desembarcos de chirla en la Región Suratlántica se incrementa de forma exponencial¹.

El análisis de esta pesquería se ha realizado a partir de la información que ha podido recopilarse sobre la actividad de extracción de chirla por la flota marisquera con base en el puerto de Punta Umbría, en la provincia marítima de Huelva. La elección de esta flota no ha sido casual, ya que como puede comprobarse en la Figura 1, la actividad de comercialización de chirla en primera subasta se ha venido concentrando tradicionalmente en el citado puerto².

1. La campaña de 1956 representó unas capturas que supusieron más del 34% de los desembarcos nacionales de chirla (2,9 Tm. respecto a las 8,3 del total nacional), mientras que tan sólo un año más tarde dicha producción se elevó a 69,5 Tm. en la citada región, frente a las 70,9 Tm. para todo el litoral peninsular español, es decir, prácticamente la totalidad de la producción.
2. Puede observarse en la Figura 1 que en algunos años la participación de los desembarcos de chirla en Punta Umbría respecto al total de la región son muy reducidos. Esto se debe a que durante el período 1974-1977 no se desembarcaron cantidades apreciables, así como durante el año 1987, por razones que serán expuestas a lo largo del presente trabajo. No obstante, cuando la actividad ha experimentado marcados repuntes, la participación de los barcos con puerto base en Punta Umbría ha sido más que significativa, por lo que el análisis de la actividad en el citado puerto marca las pautas de la actividad considerada en su conjunto.

FIGURA 1
EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE CAPTURAS DE CHIRLA EN PUNTA
UMBRÍA Y EN LA REGIÓN SURATLÁNTICA (%)



En la evolución de las series de desembarcos de chirla tanto en la Región Suratlántica como en el mencionado puerto puede apreciarse la existencia de cuatro períodos claramente diferenciados:

A) Durante el período 1961- 1968 se produce una enorme expansión de la pesquería a la que se incorporan un elevado número de unidades. Dos son las razones de este notable incremento en el esfuerzo: en primer lugar, las grandes posibilidades que a principios de los sesenta ofrecían unos stocks apenas explotados con anterioridad y, en segundo lugar, la regulación restrictiva que a partir de 1964 se hace de la pesquería de arrastre especializada en el langostino y la acedia³. El tonelaje mínimo requerido de 35 TRB (toneladas de registro bruto) establecido en la citada regulación expulsó de la actividad a un elevado número de embarcaciones que se vieron forzadas a "refugiarse" en la pesquería de chirla. Aunque dicha expulsión fue paulatina, la incorporación de unidades procedentes de otras pesquerías provocó que el esfuerzo se disparase en esta etapa, lo que junto a las amplias taras permitidas por la administración motivó un crecimiento sostenido de las capturas que llegaron a alcanzar en 1968 cantidades próximas a las 20.000 Tm en la Región Suratlántica.

3. Orden Ministerial de 11 de marzo de 1953 y Reglamento de la pesca con artes de arrastre remolcados por embarcaciones aprobado por Orden Ministerial de 7 de julio de 1962 (BOE nº 169).

B) Como consecuencia de la intensa presión pesquera ejercida durante el período anterior, a partir de 1968 y hasta 1974 tiene lugar una drástica reducción de las capturas. En sólo cuatro años las capturas disminuyen más de un 90%, provocando un rápido colapso en la pesquería. Muchas de las embarcaciones de rastro remolcado tuvieron que refugiarse en otras modalidades de pesca denominadas "protegidas", fundamentalmente trasmallo y alcatruz. Por otra parte, el descenso de las capturas no pudo compensarse por un incremento en el precio medio de las mismas, ya que es en esta fecha cuando comienza a importarse chirla del Adriático de mayor tamaño y a unos precios muy competitivos, lo cual no hizo más que acrecentar la crisis del sector.

C) Ante lo agotados que se encontraban los stocks, la administración pesquera decreta durante los años 1975 y 1976 la prohibición total de capturar chirlas, en espera de una recuperación de los stocks. A partir de 1977, y tras dos años de veda, comienza a autorizarse de forma estacional y muy controlada la captura de chirlas, pero la notable influencia que en los mercados centrales ejercían las crecientes importaciones de chirla italiana hace que la pesquería se vuelva muy estacional, ejerciendo la flota española los máximos niveles de esfuerzo en aquellos meses en que Italia decretaba la veda sobre el recurso, y en los que los desembarcos de chirla suratlántica podían ser comercializados de forma rentable.

En 1983 se transfieren competencias a la Junta de Andalucía en materia de pesca, y tras las primeras regulaciones que del marisqueo se realizan a través del control de tallas mínimas y períodos de veda, en 1986 se acomete la realización del primer censo de embarcaciones marisqueras con arte de rastro remolcado⁴.

D) A partir del citado año se va haciendo patente la necesidad de acometer una profunda reestructuración en las unidades debido a la imposibilidad de competir en los mercados centrales con la chirla italiana, fruto de lo cual a partir de 1992 comienzan a incorporarse a la pesquería unidades provistas de un nuevo arte de pesca: la draga hidráulica, arte importado de Italia y cuya utilización responde a la necesidad de desarrollar la actividad en condiciones similares a las del mencionado país. Sin embargo, la introducción de este arte ha provocado la paulatina sustitución de las tradicionales unidades de rastro remolcado. Tras las primeras campañas experimentales, a partir de 1992 se produce la incorporación masiva de unidades, manteniéndose esta tendencia hasta la actualidad. A partir de mediados de 1996 se regula de manera definitiva la actividad marisquera de las embarcaciones equipadas con draga hidráulica. A pesar del constante incremento en el número de embarcaciones,

4. Decreto de 22 de febrero de 1983 (BOE nº 76 de 30 de marzo de 1982).

las capturas crecieron más que proporcionalmente debido a la posibilidad de colocar en los mercados la chirla suratlántica de forma más rentable durante prácticamente todo el año, provocando finalmente que en 1996 la práctica totalidad de la pesquería de chirla sea ejercida por unidades de draga hidráulica.

Finalmente, el crecimiento sostenido del esfuerzo pesquero en los últimos cinco años ha puesto en peligro la continuidad de la pesquería por sobreexplotación del recurso. Las sucesivas reducciones en las taras por embarcación y día ponen de manifiesto la necesidad de regular eficazmente la actividad, ante la progresiva pérdida de rentabilidad de las embarcaciones⁵.

2. ANÁLISIS DEL ESFUERZO PESQUERO DURANTE EL PERÍODO 1977-1996

Las unidades pesqueras, en función de sus características tecnológicas y para una pesquería concreta, tienen asociado un determinado "poder de pesca", entendido éste como "*el poder de captura de un barco individual*"⁶. En función del tiempo de operación de cada embarcación, y para un mismo poder de pesca, las capturas podrán ser superiores o inferiores según la duración de la faena de pesca. Por esta razón, se define como "esfuerzo de pesca" al producto del poder de pesca individual y el tiempo de operación efectivo. Se utilizará el término "intensidad de pesca" para medir el esfuerzo de pesca ejercido por unidad de superficie, por caladero o por zona de pesca. El análisis de la dinámica de la actividad en los últimos años ha permitido desarrollar un procedimiento específico para la obtención de series de esfuerzo en la pesquería de chirla suratlántica considerando las siguientes variables como determinantes del esfuerzo pesquero: 1) *número de embarcaciones según tipo de arte*, incorporando únicamente aquellas que faenaron efectivamente en cada uno de los meses que comprenden cada temporada de pesca; 2) *número de días en los que la flota opera realmente*, deduciendo del total de días potenciales de pesca aquellos en los que la flota no opera por ser jornada de descanso o por haber sido decretada una veda sobre el recurso; 3) *duración de la temporada de pesca*, medida en número de meses por año, y 4) *equivalencia de poder de pesca entre diferentes unidades pesqueras*, lo cual implicará un

5. Véase la Tabla 1, donde se muestra la enorme reducción de la CPUE (capturas por unidad de esfuerzo) expresada en volumen de capturas por día de pesca y, sin embargo, el constante crecimiento del esfuerzo pesquero.

6. Beverton, R. J. H. y S. J. Holt, (1957), pág. 29.

estudio pormenorizado de las distintas características selectivas de los diferentes artes de pesca considerados.

Dadas las necesidades del análisis se ha optado por construir series mensuales de esfuerzo, habida cuenta de lo irregular de la frecuencia de los desembarcos diarios en los años analizados. El esfuerzo mensual de pesca de una embarcación vendrá dado por el producto de su poder de pesca individual por el tiempo de pesca efectivo. El esfuerzo total desplegado por la flota será entonces la suma de todos los esfuerzos individuales.

Suponiendo que existen n embarcaciones dedicadas a la pesca durante el mes considerado, y denotando por PP_i al poder de pesca del barco i -ésimo, y por t_{ij} a los días de pesca efectiva de la embarcación, el esfuerzo total ejercido en la pesquería durante el mes j -ésimo vendrá dado por:

$$E_j = \sum_{i=1}^n PP_i t_{ij} \quad (1)$$

Evidentemente, el esfuerzo pesquero anual será la suma de los esfuerzos mensuales, y vendrá expresado en número de barcos por número de días de pesca al año. En la pesquería analizada, el cambio tecnológico se ha manifestado en la introducción de un nuevo tipo de arte: la draga hidráulica, mientras que las embarcaciones equipadas con rastro remolcado se han mantenido en el período considerado con diferentes características técnicas. Por esta razón, se ha considerado la existencia de dos categorías heterogéneas de embarcaciones, asignando un poder de pesca para las equipadas con rastro remolcado PP_1 y otro distinto PP_2 para las provistas de draga hidráulica. La relación entre el poder de pesca de una draga hidráulica y un rastro convencional se establece a partir de diferentes datos técnicos relacionados con la velocidad de rastreo por hora de faena, la superficie rastreada o la dimensión longitudinal del arte, estableciendo que las embarcaciones de draga hidráulica poseen un poder de pesca, por término medio, tres veces superior al de los barcos de rastro remolcado⁷.

La obtención, mediante el procedimiento descrito, de una serie específica de esfuerzo pesquero para el período 1977/1996, así como la información estadística recopilada sobre desembarcos de chirla suponen la información básica para abordar la posterior fase de modelización bioeconómica, que pretende analizar el comportamiento del recurso ante la actividad pesquera y las especiales implicaciones que en el ejercicio económico de la pesca deben ser tenidas en cuenta.

7. Royo Rodríguez, A., (1995).

TABLA 1
**EVOLUCIÓN DE LAS CAPTURAS, ESFUERZO PESQUERO Y
 CPUE (CAPTURAS POR UNIDAD DE ESFUERZO). 1977-1996**

Año	Capturas (Kg.)	Esfuerzo (Días pesca)	CPUE	Año	Capturas (Kg.)	Esfuerzo (Días pesca)	CPUE
1977	300.506	2.613	115	1987	730	5	146
1978	96.173	1.086	89	1988	100.478	723	139
1979	103.632	1.103	94	1989	47.274	322	147
1980	113.943	1.117	102	1990	184.676	1.032	179
1981	216.668	1.693	128	1991	127.418	855	149
1982	151.672	1.319	115	1992	446.363	3.464	129
1983	84.550	762	111	1993	548.395	4.507	122
1984	83.378	600	139	1994	543.084	4.910	111
1985	29.575	223	136	1995	959.955	9.803	98
1986	57.683	375	154	1996	1.313.113	17.280	76

Fuente: elaboración propia⁸

3. MODELIZACIÓN BIOECONÓMICA DE LA PESQUERÍA

Hemos optado por analizar la pesquería considerada a través de un modelo bioeconómico en el que pueden diferenciarse, por un lado, un submodelo biológico, que describe el comportamiento del stock y sus reacciones ante la explotación pesquera, y por otro, un submodelo económico que determine el funcionamiento de los diferentes agentes económicos implicados en la actividad. Con el fin de lograr una mayor claridad en la exposición de los diferentes resultados de esta investigación se analizarán por separado cada uno de los submodelos anteriormente mencionados.

3.1. Submodelo biológico

Frente a los denominados modelos biológicos analíticos que consideran de forma separada los principales componentes relacionados con los fenóme-

8. Los datos de la Tabla 1 se han obtenido a partir de la información suministrada por la Comandancia de Marina de Huelva, la cofradía de pescadores de Punta Umbria y la Dirección General de Pesca de la Junta de Andalucía.

nos de crecimiento y mortalidad de un stock de peces, los modelos agregados representan de forma conjunta todos los factores relacionados con los fenómenos biológicos que explican el comportamiento del recurso explotado⁹. Teniendo en cuenta la naturaleza de la pesquería de chirla y la información estadística recopilada se ha seleccionado un modelo biológico formulado en tiempo discreto, basado en la relación stock- reclutamiento formulada por Cushing (1971)¹⁰

$$R_t = \alpha S_{t-1}^\beta \quad (2)$$

donde R_t denota el stock de reclutas o biomasa susceptible de ser capturada al inicio de la temporada de pesca t -ésima y S_{t-1} representa el stock de supervivientes al final de la temporada de pesca anterior. El parámetro α se encuentra relacionado con fenómenos de mortalidad densidad-independiente, mientras que β se relaciona con eventos de mortalidad densidad-dependientes. La relación entre reclutas y supervivientes en cada año viene expresada por

$$S_t = R_t - h_t \quad (3)$$

donde h_t es la captura total realizada durante la temporada de pesca t -ésima. La función de capturas viene dada por:

$$h_t = R_t (1 - e^{-qE_t}) = F(S_{t-1}) (1 - e^{-qE_t}) \quad (4)$$

descrita por Spence (1974), quien determina la captura en cada temporada de pesca a partir del stock de reclutas al inicio de la misma R_t y del esfuerzo pesquero ejercido E_t , interviniendo en dicha función el parámetro q , denominado coeficiente de capturabilidad y relacionado, entre otros factores, con la dificultad de acceso al recurso por parte de la flota, en función de sus potencialidades tecnológicas. La función dada por (4) es la resultante de la discretización de la función de capturas propuesta por Schaefer, por lo que no resulta complicado plantear la condición de sostenibilidad biológica del recurso, dada por¹¹

9. A principios del siglo XIX, los trabajos de Baranov (1918) son un fiel reflejo de los denominados modelos analíticos, aunque las aportaciones de Rusell (1931) han tenido quizás más presencia en el mundo científico.
10. No obstante, podría haberse utilizado también como modelo biológico el resultante de la discretización del modelo de Schaefer (1954, 1957), coincidente formalmente con la función de reclutamiento de Beverton y Holt (1957). Sin embargo, el elevado número de hipótesis restrictivas que deben asumirse en la citada discretización ha aconsejado la selección de un modelo más flexible.
11. Muy identificado con el concepto de población en equilibrio, la condición de sostenibilidad biológica hace referencia al hecho de que el recurso mantenga un tamaño constante durante

$$S = S_t - S_{t-1} = |F(S_{t-1}) - h_t| - S_{t-1} = 0 \quad (5)$$

La expresión (5) permite determinar el conjunto de combinaciones de esfuerzo y captura compatibles con la sostenibilidad biológica del recurso, es decir, la denominada función de esfuerzo- rendimiento sostenibles.

Debido a la naturaleza de las variables que intervienen en el modelo, la pesquería puede ser considerada como un sistema, el cual suministra información sobre la variable de estado (el recurso), y a través de la modelización en el espacio de los estados construir los denominados modelos estado-medida, en los que puede identificarse, por un lado, una ecuación de estado, que rige el comportamiento dinámico del stock de reclutas, y por otro, una ecuación de medida o de observación, expresada a través de la función de capturas, siendo ésta la variable de medida.

La especificación estadística del modelo recomienda la introducción de la incertidumbre en la pesquería mediante la inclusión de un error de proceso o ruido de sistema w_t que sintetiza la variabilidad inherente al recurso fruto de las perturbaciones medioambientales. En segundo lugar, se incluye en la ecuación de medida una perturbación aleatoria representada por un error de observación o medida v_t y que recoge la influencia en la serie de capturas de diferentes fuentes de error, desde los relacionados con un deficiente proceso de recogida de la información hasta la ausencia relativa de fiabilidad de los datos sobre capturas¹². Por otra parte, se supondrá la incertidumbre sobre la forma y valores de los parámetros que intervienen en el modelo, provocando que el procedimiento de estimación deba incorporar hipótesis sobre la variabilidad de cada parámetro, incluyendo una distribución probabilística que ciertamente puede complicar el proceso de estimación.

La introducción de la incertidumbre en el modelo estado-medida queda materializada en la reformulación de las ecuaciones (2) y (4):

$$R_t = \alpha S_{t-1}^\beta e^{w_t} \quad (6)$$

$$h_t = R_t (1 - e^{-qE_t}) e^{v_t} \quad (7)$$

las diferentes temporadas de pesca, una vez que éste haya alcanzado un tamaño determinado. Esta sostenibilidad es tan sólo, como se verá posteriormente, una condición necesaria pero no suficiente para que la actividad se ejerza respetando al recurso.

12. En la literatura es frecuente la incorporación de la incertidumbre asociada al reclutamiento mediante la inclusión de términos de error (aditivos o multiplicativos), como puede comprobarse en Cushing (1973), Parrish (1973) o Pope (1979).

Las perturbaciones w_t y v_t se comportan como una sucesión de variables aleatorias i.i.d. con distribución normal, centradas en el cero y con precisiones (inversos de las varianzas) dadas por h_w y h_v respectivamente. Dado que no se dispone de información previa sobre el estado del recurso consideraremos a la biomasa como variable no observable y abordaremos el proceso de estimación del modelo a través de técnicas bayesianas. Hemos aplicado la técnica denominada "muestreo de Gibbs", que es una adaptación del algoritmo de Metrópolis, basado en las propiedades de las cadenas de Markov y utilizado por Geman y Geman (1984) para extraer muestras de una distribución conjunta a partir de las distribuciones condicionales completas de las variables que intervienen en el modelo¹³.

El procedimiento de estimación funciona como sigue: una vez especificadas las variables $X_0, X_1, \dots, X_{20}, q, h_w, h_v$ (es decir, la serie de biomásas desde 1977 hasta 1996 y los diferentes parámetros del submodelo biológico), se selecciona un conjunto arbitrario de valores iniciales de las mismas. Previamente, se habrán asignado distribuciones a priori para cada variable, lo cual permitirá, aplicando técnicas bayesianas, obtener las diferentes distribuciones condicionales¹⁴. A partir de la condicional $f(X_0 / X_1, \dots, X_{20}, q, h_w, h_v)$ puede obtenerse una extracción aleatoria de la misma. Posteriormente, dicha observación es introducida para la extracción de una observación de X_1 a partir de su distribución condicional, repitiendo el procedimiento de forma recursiva hasta completar la primera iteración del método y que da como resultado la obtención del vector de observaciones dado por $X_0^{(1)}, X_1^{(1)}, \dots, X_{20}^{(1)}, \alpha^{(1)}, \beta^{(1)}, q^{(1)}, h_w^{(1)}, h_v^{(1)}$. La repetición de dicho procedimiento un número L de iteraciones suministra finalmente un vector de observaciones de las variables $X_0^{(L)}, X_1^{(L)}, \dots, X_{20}^{(L)}, \alpha^{(L)}, \beta^{(L)}, q^{(L)}, h_w^{(L)}, h_v^{(L)}$.

Geman y Geman (1984) muestran que dicho vector converge en distribución a una muestra aleatoria de tamaño unidad de la distribución conjunta conforme L tiende a infinito, de manera que tomando un número suficientemente elevado de iteraciones para que se garantice dicha convergencia y repitien-

13. El algoritmo de Metrópolis fue desarrollado inicialmente en el campo de la física nuclear, aunque con posterioridad, Hastings (1970), generalizó su uso en la resolución de problemas estadísticos. Los trabajos de Tanner (1991) han revelado el amplio abanico de posibilidades que presentan estas técnicas.
14. La no linealidad de la ecuación de estado y de medida imposibilita la identificación de los núcleos de las distribuciones condicionales. Este problema puede ser resuelto por técnicas alternativas, por ejemplo, la aplicación de algoritmos de rechazo-aceptación, técnicas desarrolladas entre otros por Gelfand y Smith (1990). No obstante, en nuestro caso concreto, dicho problema ha sido resuelto mediante la expansión en series de Taylor de primer orden de los términos no lineales.

do el proceso descrito un número G de veces en paralelo, el resultado final es la obtención de una muestra aleatoria de G elementos de la distribución conjunta $f(X_0, X_1, \dots, X_{20}, \alpha, \beta, q, h_w, h_v)$, a partir de la que se estiman las diferentes características de las distribuciones marginales generadas por el modelo, paso previo a la obtención de estimaciones revisadas de las biomazas y parámetros del submodelo biológico.

La determinación del conjunto de valores iniciales necesario para la aplicación recursiva del muestreo de Gibbs se ha realizado aplicando la técnica de estimación descrita por Spence (1974), basada en la formulación del modelo

$$\ln Z_t = \alpha + \beta \ln Z_{t-1} - \beta q E_{t-1} \quad (8)$$

donde $Z_t = P_t / (1 - e^{-qE_t})$. Mediante un procedimiento recursivo basado en la formulación de un valor arbitrario inicial del parámetro q y la posterior estimación de los parámetros del modelo dado por (8) se han obtenido estimaciones revisadas del citado parámetro y repitiendo el proceso de estimación tantas veces como ha sido necesario obtener una diferencia entre el q formulado inicialmente y el estimado por (8) que se considere suficientemente pequeña¹⁵.

$$\ln Z_t = 5,95188 + 0,606499 \ln Z_{t-1} - 2,43E-5 E_{t-1} \quad (9)$$

(2,0904) (0,1392) (1,01E-5)

$$R^2 \text{ (ajustado)} = 61,9\% \quad D.W. = 2,3749 \quad F = 14,761$$

El modelo dado por (9) permite obtener valores iniciales de los parámetros del submodelo biológico. En las especificaciones iniciales para el proceso de estimación mediante el algoritmo de Gibbs se ha asignado a la biomasa inicial y a los parámetros del modelo distribuciones iniciales normales, siendo los valores medios las estimaciones obtenidas mediante el procedimiento descrito por Spence. En segundo lugar, se ha asignado a las desviaciones standard de los errores de proceso y observación distribuciones Gamma.

15. En este caso concreto dicha diferencia se ha considerado pequeña cuando el q inicial es $4,0075E-5$ y el estimado en (8) $4,00754E-5$, procediendo a la estimación final del modelo. A un nivel de significación del 5% los niveles de tolerancia quedan establecidos en 1,05 y 1,53, con lo que la no pertenencia del estadístico de Durbin-Watson a dicho intervalo conduce a rechazar la hipótesis de autocorrelación positiva de los residuos. Por otra parte, el valor no demasiado elevado del coeficiente de determinación (61,9%) es consecuencia, por otra parte lógica, de la forma adoptada por el modelo basado en transformaciones logarítmicas. Debe tenerse en cuenta que las estimaciones suministradas por el modelo de Spence tan sólo serán utilizadas como valores de partida en el posterior proceso de estimación de los parámetros del submodelo biológico.

Finalmente, se ha trabajado para todas las distribuciones iniciales con coeficientes de variación del 5%, a fin de poder garantizar de forma razonable una determinada amplitud de convergencia. En este caso, ha sido suficiente programar 100 iteraciones para lograrla y se ha repetido dicho proceso 200 veces en paralelo, de manera que el resultado final es la obtención de una muestra de tamaño 200 de la distribución conjunta. La determinación de las densidades marginales se ha llevado a cabo utilizando el estimador de núcleo basado en el Teorema de Rao- Blackwell y aplicado por Gelfand y Smith (1990), a partir de las que se estiman las diferentes características de dichas distribuciones.

El resultado final se materializa en sendas estimaciones tanto de las biomásas como de los parámetros que intervienen en el modelo (Tabla 2), comprobándose, en primer lugar, que se han podido reducir las variabilidades asignadas inicialmente (5%), y en segundo lugar, que las distribuciones finalmente obtenidas superan de forma razonable un test de normalidad, garantizando por lo tanto la unimodalidad de las distribuciones revisadas, así como su simetría.

TABLA 2
**ESTIMACIONES FINALES DE LOS PARÁMETROS
DEL SUBMODELO BIOLÓGICO**

Parámetro	Estimación	Estadístico "t"	Coef. Variación (%)
α	5,9459	23,8751	4,187
β	0,6062	28,1834	3,544
q	0,00004	28,7375	3,484
h_w	24,9925	20,2355	4,942
h_v	0,2556	20,2361	4,941

Fuente: elaboración propia

Los resultados del proceso de estimación nos permiten evaluar el estado del recurso, revisando la situación que presenta en los últimos años en relación a la actividad pesquera (Tabla 3). La pesquería de chirla objeto de estudio ha experimentado en el último decenio una enorme transformación, motivada por la especialización de las unidades pesqueras, pasando de una situación inicial de práctica polivalencia en las unidades a la situación actual en la que la flota está constituida en su práctica totalidad por unidades que al instalar la draga hidráulica se han visto forzadas a dedicarse de forma exclusiva al marisqueo,

significando ello un notable incremento del esfuerzo pesquero. Ello ha afectado al recurso, el cual se ha visto reducido a márgenes que ponen en peligro el mantenimiento de una explotación sostenible del mismo.

TABLA 3
EVOLUCIÓN DEL STOCK DE RECLUTAS (R_t), Y DE SUPERVIVIENTES (S_t)

Año	R_t	S_t	Año	R_t	S_t
1977	3.813.113	3.512.607	1987	3.644.077	3.643.347
1978	2.311.407	2.215.234	1988	3.596.362	3.495.884
1979	2.452.081	2.348.381	1989	3.769.575	3.722.301
1980	2.663.157	2.549.214	1990	4.644.188	4.459.512
1981	3.367.377	3.150.709	1991	3.865.263	3.737.845
1982	3.011.550	2.859.878	1992	3.521.092	3.074.729
1983	2.876.874	2.792.324	1993	3.389.057	2.840.662
1984	3.580.503	3.497.125	1994	3.108.173	2.565.089
1985	3.481.220	3.450.935	1995	3.018.594	2.058.639
1986	3.946.124	3.888.441	1996	2.684.514	1.371.401

Fuente: *Elaboración propia*

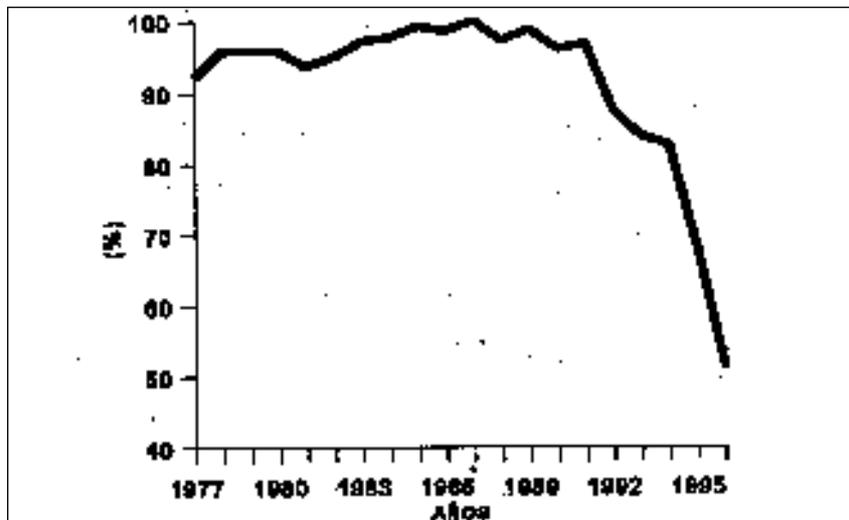
En 1977 los niveles de stock estimados reflejan la reducida presión pesquera ejercida en años anteriores. A pesar de existir con anterioridad una flota marisquera muy elevada, el tamaño de éstas, su enorme obsolescencia técnica y el reducido tiempo de pesca empleado no supuso en ningún momento amenaza alguna para el recurso, y tan sólo cuando la crisis de las pesquerías alternativas puso en peligro el mantenimiento de los niveles del stock existentes se hizo necesario el establecimiento de medidas de control sobre el recurso. La posterior relajación de los fuertes controles provocó un rápido incremento en las capturas, lo cual se tradujo en un notable descenso de los niveles del stock.

Es a partir de 1978 cuando la pesquería se recupera de forma progresiva, fruto del paulatino abandono de las unidades pesqueras menos eficientes y el resurgimiento de las pesquerías locales de trasmallo. La rentabilidad de las estacionales pesquerías de cerco del litoral suministraban a la flota una buena alternativa durante los períodos de veda, con lo que a pesar del progresivo incremento en número de unidades pesqueras, los crecientes niveles de esfuerzo no tuvieron demasiada incidencia en la numerosidad del recurso.

Todo ello provocó que el recurso se posicionara en razonables niveles de compatibilidad con la explotación pesquera, al menos hasta finales de la década de los ochenta. La introducción de la draga hidráulica a comienzos del año 1991 ha desplazado al tradicional rastro remolcado; el mayor poder de pesca de este nuevo arte y el progresivo incremento del número de unidades ha provocado que desde el citado año el recurso se haya visto sometido a los efectos de un progresivo incremento en el esfuerzo pesquero, provocando que la biomasa se reduzca paulatinamente, situándose en niveles que no permiten la sostenibilidad biológica del recurso.

El incremento del esfuerzo pesquero iniciado en 1991 se mantiene, creciendo de forma exponencial. Así, en 1996 el esfuerzo creció un 76%; sin embargo, la CPUE descendió por encima del 20%, mostrando el enorme deterioro del recurso fruto del excesivo esfuerzo ejercido. En la Figura 2 se representa la evolución del porcentaje de supervivientes a cada temporada de pesca respecto al stock de reclutas al inicio de la misma, mostrándose cómo, mientras que en 1991 el 96,7% del recurso sobrevivía a la temporada de pesca, cinco años más tarde, en 1996 dicho porcentaje estimado fue tan sólo del 51%.

FIGURA 2
PORCENTAJE DE SUPERVIVIENTES RESPECTO AL STOCK
DE RECLUTAS (%). PERÍODO 1977-1996



3.2. *Análisis económico de la pesquería de chirla*

La incorporación del submodelo económico permite completar el análisis bioeconómico de la pesquería, analizando por un lado las causas y consecuencias de la sobrepesca biológica, y en segundo lugar, las razones de naturaleza económica que impulsan al pescador a sobrepasar los límites de sostenibilidad que ofrece el recurso. Abordamos a continuación el proceso de estimación de los principales componentes del submodelo económico, por lo que habrá de analizarse con profundidad la estructura de ingresos y costes de las unidades pesqueras que ejercen la actividad.

Para la correcta definición de la función de beneficios de las embarcaciones debe analizarse el funcionamiento de la demanda de chirla. La posibilidad de considerar la demanda de chirla en la región suratlántica como perfectamente elástica conduce a establecer que las distintas cantidades desembarcadas no se ven influenciadas por el precio que dichas subastas alcanzan en la lonja. La actividad marisquera en esta región se ve notablemente influenciada por el volumen de las importaciones de chirla procedentes de Italia, de manera que la actividad extractiva va a remolque de los ciclos productivos de la flota marisquera italiana, y cuando se establece la parada biológica anual en Italia es cuando la flota ejerce los mayores niveles de esfuerzo. En el resto de los meses, el importante volumen de importaciones condiciona de forma prácticamente definitiva el precio que alcanzan las chirlas en primera subasta, ya que la competencia fundamental se establece en torno al precio, de forma que los incrementos y reducciones en las capturas no pueden revertirse en el precio.

La no dependencia de la cantidad pescada del precio que alcanza en la primera subasta debe verificarse de una forma empírica razonable y contrastada. Para ello, se han analizado las series de precios y desembarcos de chirla en la región suratlántica, así como de los distintos tipos de precios alcanzados en MERCAMADRID (principal percceptor de la chirla suratlántica en el mercado nacional) en el período 1991-1996, mes a mes, con el fin de detectar si realmente puede aceptarse la hipótesis sobre la demanda anteriormente formulada.

En una primera fase se ha construido una función que relaciona el precio alcanzado por las capturas en primera subasta y la magnitud de las mismas. Al considerar todo el período 1991-1996 debemos preguntarnos si la estructura de la demanda ha sido estable durante el mismo. Si dicha hipótesis puede ser verificada, entonces tendría solvencia estadística la construcción de una única función de demanda para todo el período considerado. Para verificar o rechazar en su caso dicha hipótesis de estabilidad sometemos el conjunto de

datos a un test de estabilidad, concretamente el test de Chow¹⁶. El período de estudio (1991.02-1996.04) comprende 63 observaciones, construyendo el siguiente modelo:

$$\text{LQCHIR}_t = 17,84 - 1,807 \text{LPCHIR}_t + 1,0758 \text{D1}_t + 0,8419 \text{D2}_t + 0,0312 \text{T}_t + u_t$$

$$(1,4101) \quad (0,285) \quad (0,137) \quad (0,115) \quad (0,001)$$

$$R^2 \text{ (ajustado)} = 85,2\% \quad \text{D.W.} = 1,582 \quad \text{F} = 65,63695$$

$$u_t = \alpha_t + 0,8607 a_{t-4} ; \text{ siendo } a_t \text{ normales } (0, \sigma)$$

donde LQCHIR y LPCHIR son, respectivamente, las cantidades de chirla subastada y los precios medios en cada período (ambas en logaritmos), D1 es una variable dummy que representa los meses de parada biológica en Italia, mientras que D2 es otra variable dummy que representa los meses de parada biológica en la región suratlántica; u es el residuo generado por el modelo (modelizado a través de proceso de media móvil de orden 4 (MA)), y finalmente se incluye un factor de tendencia T.

A pesar de que los coeficientes del modelo son significativos y la fiabilidad del mismo elevada cabe suponer que se haya producido un cambio estructural en la serie, ya que el modelo construido no recoge con la misma intensidad las variaciones de las variables explicativas durante todo el periodo considerado, apreciándose un incremento progresivo en el número de residuos generados por el modelo. Los resultados del modelo anterior refuerzan las afirmaciones que anteriormente se han realizado sobre la estacionalidad en las capturas de chirla. En primer lugar, el signo positivo del coeficiente de la variable dummy1 muestra cómo se mantiene un aprovechamiento de los "huecos" que en el mercado nacional se producen como consecuencia de la reducción de las importaciones de chirla italiana a causa de la veda a que éstas son sometidas. Pero además, el signo positivo del coeficiente de la variable dummy2 es el esperado, dado que en la Región Suratlántica, al coincidir las vedas parcialmente con los períodos de importaciones reducidas, es cuando las capturas suelen ser mayores, lo cual indica que las paradas biológicas no se respetan en su conjunto.

El test de estabilidad de Chow ha dado como resultado que, a un nivel de significación ($\alpha=1\%$), puede aceptarse la hipótesis de un cambio estructural a partir del mes de junio de 1993, de forma que para el estudio de la demanda de chirla en la región suratlántica deben considerarse de forma separada dos subperíodos claramente diferenciados:

16. Chow, G. C., (1960), págs. 591-605.

A) Desde enero de 1991 hasta junio de 1993. La flota marisquera de la región suratlántica se encuentra compuesta en este subperíodo por un número elevado de pequeñas embarcaciones provistas del rastro tradicional, capturando chirlas de pequeño tamaño y de reducido valor¹⁷. Ello obliga a que las capturas de la flota se concentren en aquellos meses en los que se produce la veda en Italia, principal competidor en los mercados nacionales, de forma que tan sólo en aquellos meses de veda las exportaciones de chirla suratlántica sean significativas, y por lo tanto influyan, aunque débilmente, en los precios en los MERCAS.

Puede comprobarse que los coeficientes de las variables dummy son mucho mayores que para el conjunto del período, mostrando que antes de la implantación plena de las dragas hidráulicas, el ajuste estacional de las capturas a los períodos de veda en Italia era mucho mayor, así como su elasticidad respecto al precio.

TABLA 4
**COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA DE CHIRLA EN
LA REGIÓN SURATLÁNTICA. PERÍODO 1991:01-1993:06**

Variable	Coefficiente	Error Stand.	Stadístico t	Prob.
C	24,41946	1,772369	13,77787	0,0000
LPCHIR	-2,972170	0,349037	-8,515354	0,0000
DUMMY1	1,840997	0,266580	6,905995	0,0000
DUMMY2	1,327946	0,315498	4,209049	0,0003
Coef. Determinación	0,86741	Media Variab. Depend. = 9,6832		
Coef. Determ. Ajustado	0,8521	Desv. Stand. Var. Depend. = 1,1100		
Estadístico D-W	1,499386	Estadístico F = 56,6977	Prob. = 0,000	

Fuente: *Elaboración propia*

B) Desde junio de 1993 hasta abril de 1996. En este período, la introducción de la draga hidráulica sitúa a la chirla suratlántica en una posición más competitiva.

17. El reducido valor comercial de la chirla capturada con el rastro tradicional se debe a su pequeño tamaño y a la presencia de arena en el interior del molusco, problema minimizado con la introducción a partir de 1991 de la draga hidráulica, arte mucho más selectivo que el anterior.

TABLA 5
**COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA DE CHIRLA EN
 LA REGIÓN SURATLÁNTICA. PERÍODO 1993:06-1996:04**

Variable Dependiente = LQCHIR Muestra: 1993:06 1996:04 Nº de Observaciones = 35				
Variable	Coefficiente	Error Stand.	Stadístico t	Prob.
C	10,77905	2,575056	4,185946	0,0002
LPCHIR	-0,459411	0,503360	-0,912688	0,3689
DUMMY1	0,791325	0,218621	3,619615	0,0011
DUMMY2	0,704120	0,232660	3,026387	0,0051
T	0,036401	0,004806	7,574186	0,0000
MA(4)	-0,875778	0,034705	-25,23515	0,0000
Coef. Determinación	0,709516	Media Var. Depend. = 10,86058		
Coef. Determin. Ajustado	0,659433	Desv. Std. Var. Depend. = 0,67725		
Estadístico D-W	1,83854	Estad. F = 14,1667 Prob. = 0,000		

Fuente: elaboración propia

Las capturas ya no son tan estacionales como en el subperíodo anterior y se reparten durante todo el año, salvo en el período de veda en Huelva, y puede determinarse que la configuración del precio en primera venta no viene determinada por las capturas de la flota, sino por el precio que la chirla alcanza en el mercado nacional controlado por la red MERCASA. Este último resultado valida, por lo tanto, la hipótesis de un precio dado por el mercado en su conjunto (véase la Tabla 5).

Analizaremos a continuación la estructura de costes e ingresos de la flota, componentes que se ven fuertemente influenciados por el sistema de remuneración "a la parte" característico de la flota pesquera artesanal. En la pesquería analizada, el control de la venta diaria es compartido por el armador y los pescadores, ya que ésta es la que determina el volumen de la retribución semanal que es percibida por los pescadores. Puede entenderse por "Monte Mayor" al producto bruto de la pesca que se distribuirá entre armador y tripulación según una determinada proporción. Del monte mayor deberán deducirse ciertas partidas de gasto que serán soportadas tanto por el armador como por la tripulación.

TABLA 6
**ESTRUCTURA DE LAS PARTIDAS DE COSTE / INGRESO
 EN UNA EMBARCACIÓN TIPO DURANTE EL AÑO 1996**

COMPONENTES DE INGRESO		
PRECIO UNITARIO BRUTO		393,75 ptas. / Kg.
PRECIO UNITARIO NETO		175,21 ptas. / Kg.
MONTE MAYOR		21.543.260 ptas. / año
COMPONENTES DE COSTE		
COMISIÓN DE LONJA	3%	646.298 ptas./año
COSTES GESTIÓN COFRADÍA	2%	430.865 ptas./año
IMPUESTO VALOR AÑADIDO	6%	1.292.596 ptas./año
COSTE DE LAS VENTAS	11%	2.369.759 ptas./año
CONSUMO DE GASOIL	7.000 ptas. / día pesca	1.680.000 ptas./año
SEG. SOC. Y OTROS COSTES LABORALES	1.250 ptas. / día pesca	300.000 ptas./año
SUMINISTROS Y REPARACIONES	3.000 ptas. / día pesca	720.000 ptas./año
COSTE DEL ESFUERZO	11.250 ptas. / día pesca	2.700.000 ptas./año
MONTE MENOR		16.473.502 ptas. / año
PARTE O QUIÑÓN		8.236.751 ptas. / año
BENEFICIO EMBARCACIÓN		8.236.751 ptas. / año

Fuente: elaboración propia

La estructura de la cuenta de resultados de una embarcación tipo para el año 1996 se resume en la Tabla 6, donde se evidencia la posibilidad de diferenciar las partidas de coste de las embarcaciones en función de su dependencia directa del volumen de desembarcos, y consecuentemente, de las ventas, y por otro lado, aquellas que se encuentran relacionadas con el número de días de pesca, por lo que, teniendo en cuenta que el esfuerzo pesquero ha sido medido en número de días, ambas partidas nos servirán para estimar el coste de las ventas y el coste por unidad de esfuerzo. Del monte mayor se deducen las principales partidas de gasto que son compartidas en un 50% por el armador y la tripulación. Es decir, la tripulación ve reducida su remuneración en función de los costes directamente imputables a las ventas y aquellos derivados del nivel de esfuerzo ejercido.

En el sistema de remuneración "a la parte", el 50% del monte menor le corresponde a los pescadores en concepto de parte o "quiñón", y teniendo en cuenta los costes sobre las ventas y sobre el esfuerzo determinados anteriormente, se propone la siguiente función de beneficios para el conjunto de la pesquería¹⁸:

$$\pi_t(h_t, E_t) = \psi [P_t h_t (1 - C_h) - C_E E_t] \quad (10)$$

siendo h_t la captura del conjunto de la flota en la temporada de pesca t -ésima y E_t el esfuerzo total ejercido por la flota. Por otra parte, ψ representa el porcentaje del monte menor que se destina a retribuir a la tripulación ($\psi=0,5$), mientras que P_t representa el precio medio bruto de las capturas en cada temporada de pesca.

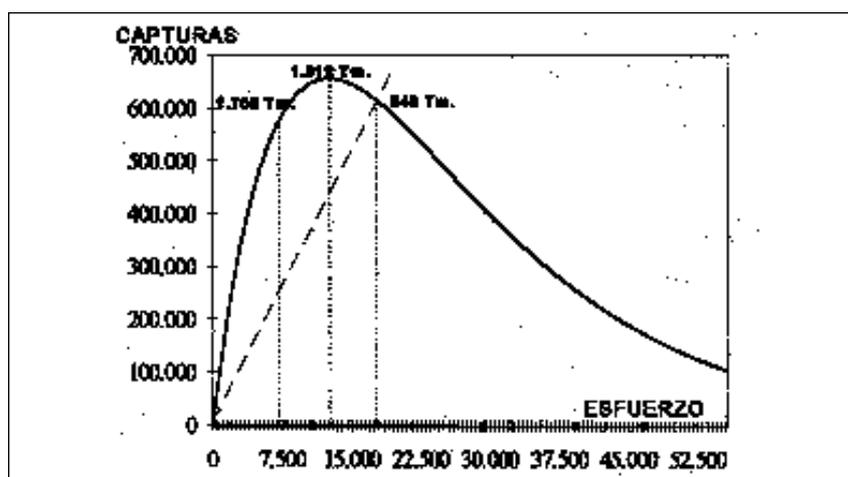
Finalmente, C_h es el coste unitario de las ventas, equivalente a la suma de la comisión de lonja, los costes derivados de la gestión de la cofradía y el IVA, y por lo tanto, igual al 11%, mientras que C_E es el coste unitario del esfuerzo, es decir, coste por día de pesca y no imputable a las ventas, resultado de sumar las componentes de coste relacionadas con el consumo diario de gasoil, los de seguridad social y otros coste laborales, y finalmente, los gastos de suministros y reparaciones. Dado que el precio neto de los desembarcos P_n puede escribirse como $\psi P_t (1 - C_h)$, entonces puede expresarse la función de beneficios dada por (10) como $\pi_t(h_t, E_t) = P_n h_t - C_E E_t$ siendo el precio neto unitario $P_n=175,21$ ptas. / Kg. y el coste por unidad de esfuerzo $C_E=5.625$ ptas./ día de pesca.

3.3. Determinación de las soluciones de equilibrio en la pesquería

En la determinación de las soluciones de control, aunque la validez empírica del análisis clásico desarrollado por Gordon (1953, 1954) y Schaefer (1954, 1957) es menor que la del análisis dinámico que desarrollaremos posteriormente, su importancia reside, tal y como comentan Varela y Surís (1995), en "la originalidad en sus planteamientos más que por la complejidad teórica". El análisis bioeconómico de la pesquería de chirla se basa inicialmente en la condición de sostenibilidad biológica del recurso, obteniendo el conjunto de combinaciones de esfuerzo y capturas compatibles con dicha condición, recogidas en la función de esfuerzo-rendimiento sostenibles, representada gráficamente en la Figura 3.

18. García del Hoyo, J. J., (1997), pág. 242.

FIGURA 3
ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PESQUERÍA DE CHIRLA
EN LA REGIÓN SURATLÁNTICA



Sobre dicha curva situamos la combinación de capturas y esfuerzo compatible con el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS)¹⁹, así como la solución de equilibrio en libre acceso o equilibrio bionómico en la que toda la renta económica generada por el recurso se disipa completamente y, por último, aquella que maximiza la renta que genera el recurso, y que al menos desde un punto de vista estrictamente económico debe ser considerada como situación óptima. En la situación de RMS, el stock se situaría en un nivel de 1.012 Tm., ejerciéndose la actividad con un nivel de esfuerzo de 12.536 días de pesca y unas capturas de 657 Tm., mientras que si no se ejerce ningún tipo de control el esfuerzo se expandiría hasta situarse en 18.723 días de pesca y las capturas se habrían reducido hasta alcanzar tan sólo las 601 Tm., situación en la que se habría disipado totalmente la renta generada en la actividad y el recurso se habría reducido peligrosamente hasta alcanzar tan sólo las 541 Tm. Por último, la explotación pesquera se ejercería maximizando el beneficio cuando el esfuerzo fuera de 7.392 días de pesca, con unas capturas de 586 Tm.

19. El Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) debe ser entendido como el objetivo de gestión desde un punto de vista estrictamente biológico, ya que en dicha situación se maximiza la tasa de crecimiento biológico del recurso, lo cual no indica necesariamente que la pesquería se ejerza en una situación óptima desde un punto de vista económico.

En el análisis anterior, la no consideración de la evidente intertemporalidad de los beneficios generados por la actividad pesquera equivale a suponer el valor nulo que para los pescadores posee el hecho de dejar de ejercer los actuales niveles de esfuerzo sobre el recurso en beneficio de las generaciones futuras. Este hecho plantea enormes controversias, al menos desde un punto de vista eminentemente social. Los equilibrios determinados en la sección anterior lo son en un entorno estático, bajo el supuesto de un ajuste instantáneo del sistema, cuando en realidad, la reducción de las capturas tan sólo mostraría sus efectos pasado un cierto período de tiempo. Por otra parte, todos los flujos monetarios deben ser valorados en su justa medida atendiendo a las preferencias temporales de la Sociedad o bien del sujeto decisor, introduciendo en el planteamiento del problema una tasa apropiada para descontar las magnitudes monetarias en la función objetivo²⁰.

El planteamiento del problema de control desde un punto de vista dinámico puede resolverse mediante la Teoría del Control Óptimo o la Programación Dinámica. Inicialmente se plantea dicho problema en el sentido de tener que periodificar la extracción del recurso de manera económicamente eficiente desde un tiempo inicial hasta un tiempo terminal. Los instrumentos de política económica tendentes a garantizar el logro del objetivo de gestión se materializan a través de las variables de control (frecuentemente las capturas o el esfuerzo), circunscritas en un determinado conjunto de control. En este caso, puede reescribirse la función de beneficios de la pesquería como función de utilidad social neta $U(R_k, h_k)$, en función del recurso y de las capturas sostenibles

$$U(R_k, h_k) = p_n h_k - \frac{C_E}{q} \ln \left(\frac{R_k}{S_k} \right) \quad (11)$$

El objetivo del gestor pesquero puede plantearse como la maximización de la suma de beneficios generada por la pesquería y descontada según un factor de descuento δ

$$\text{máx. } J = \sum_{k=1}^{\infty} U(R_k, S_k) \delta^{k-1} \quad (12)$$

En estos términos, si la variable de estado es el stock de reclutas R_k en $t=k$ y ejercemos el control a partir del stock de supervivientes S_k , entonces el

20. Clark, C. W., (1976), pág. 631.

problema de optimización dinámica se basará en determinar qué nivel de stock de supervivientes maximiza el funcional objetivo planteado en (12) sujeto a la restricción en la variable de estado materializada en la ecuación de crecimiento del recurso dada por (2). La variable de control S_k estará circunscrita a un conjunto de control dado por $0 \leq S_k \leq R_k$. La solución del problema de control planteado se basa finalmente en la condición de óptimo dada por (13), y que indica que en el óptimo estacionario la ganancia marginal inmediata provocada por incrementar las capturas actuales debe igualarse al valor de las futuras pérdidas causadas por dicho cambio.

$$-F'(S) \frac{U/R}{U/S} = \frac{1}{\delta} \quad (13)$$

Para cada valor de la tasa de descuento podremos obtener, aplicando la ecuación (13), la solución S^* que determina la política óptima de capturas, de forma que la trayectoria de aproximación al equilibrio será la que conduzca al stock lo más rápido posible hacia el equilibrio estacionario S^* , materializada en la siguiente regla de decisión

$$\begin{aligned} \text{Si } R > S^*, \text{ entonces } h^* &= R - S^* \\ \text{Si } R < S^*, \text{ entonces } h^* &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Por ejemplo, para una tasa de descuento del 10%, la biomasa óptima de supervivientes es de 1.554 Tm. (véase la Tabla 7), inferior a la que se obtiene aplicando una tasa de descuento nula. En efecto, una de las principales consecuencias de la introducción de tasas de descuento no nulas es la de proporcionar soluciones menos "severas" que en el caso anterior, ya que el objetivo de gestión no será en este caso situar al stock de supervivientes en un nivel de 1.705 Tm. (véase la Figura 3.), sino de 1.554 Tm.

Cuando dicha situación se haya alcanzado, la pesquería estaría operando en niveles más reducidos de esfuerzo que los que en la actualidad se están ejerciendo y las capturas se habrían reducido más del 50%, de manera que si se mantienen las 24 embarcaciones que operan en la actualidad, el número de días de pesca de la temporada habrá pasado de los 240 actuales (su nivel máximo) a tan sólo 115 días por temporada de pesca. Asimismo, el esfuerzo de pesca, precisamente motivado por lo anterior, habrá pasado de 17.280 días de pesca a 8.306.

TABLA 7
SOLUCIONES ÓPTIMAS PARA UNA TASA DE DESCUENTO DEL 10%

Parámetros	Valor	Resultados	Valor
α	5,9459	Recluta a ppios. de 1996	2.684.514
β	0,6062	Superv. a finales de 1996	1.346.524
q	3,992E-5	Superv. óptimo	1.554.427
C_E	5.625	Reclutas a ppios. de 1997	1.985.186
P_n	175,218	Capturas (bang-bang)	430.758
i	0,1	Esfuerzo sostenible	8.306
δ	0,9090	Capturas sostenibles	611.289

Fuente: *Elaboración propia*

Con las actuales proyecciones de parámetros de ingresos y costes, la severa reducción a que se habrían visto sometidas las ventas brutas no tendría la misma repercusión sobre la rentabilidad de la explotación, ya que tanto en la situación actual como cuando se hubiera alcanzado el óptimo estacionario, dicha rentabilidad se mantendría estable en torno al 38%, motivado fundamentalmente por la notable reducción del número de días de pesca por temporada, reduciéndose los costes por unidad de esfuerzo.

Debido al excesivo esfuerzo que en la actualidad se está ejerciendo, un primer paso para llevar a cabo una regulación efectiva de la actividad debe consistir en una reducción del número de embarcaciones censadas a la draga hidráulica. No obstante, aún reduciendo la flota, si no se ejercen controles adicionales la pesquería se colapsaría en tan sólo unos pocos años, situándose en posiciones similares a las de la década de los setenta. Por lo tanto, el gestor debe plantearse la planificación de la actividad en horizonte temporal concreto, formulando como principal objetivo situar la pesquería en la situación óptima anteriormente determinada en la Tabla 7 al final de dicho periodo. La aplicación de las actuales políticas de regulación de la actividad, junto con las propuestas a continuación se recogen analíticamente en la Tabla 8:

TABLA 8
**VARIABLES DE CONTROL DE LA ACTIVIDAD MARISQUERA DE CHIRLA
 PARA UN AJUSTE A CINCO AÑOS CON UNA TASA DE DESCUENTO DEL 10%**

Medidas de Gestión	1997	1998	1999	2000	2001
Controles sobre las Capturas					
Talla mínima (1)	26 mm.				
Cuotas individuales sobre las capturas (2)	250 Kg./ día pesca				
(1) Medida sobre el eje antero- posterior					
(2) Controlable en el parte individualizado diario de descarga creado a tal fin					
Controles sobre el esfuerzo					
Tamaño de la flota	20 barcos				
Licencias individuales de pesca	115 días	113 días	111 días	109 días	120 días
Período de Veda (3)	1 mes				
Jornada diaria de pesca (4)	11 horas				
(3) Establecido para 1997 desde el 16 de mayo al 15 de julio					
(4) Desde las 7,00 horas hasta las 18,00 horas					
Medidas Técnicas					
- Prohibición de tenencia a bordo de cribas de selección del molusco de medidas inferiores a las establecidas en la Orden de 24 de junio de 1996.					
- La draga sólo podrá arrastrarse por la proa, y será necesario anclar previamente.					
- Establecimiento de Categorías Comerciales: Grande (26-30 mm.) y Extra (> 30 mm.)					
Medidas Adicionales					
- Prohibición de Intercambios de Capturas entre embarcaciones					
- Fijación de un horario de venta: entre las 14,00 horas y las 18,00 horas					

Fuente: *Elaboración propia y Orden de 24 de junio de 1996 de la D.G.P.*

La trascendencia de estas medidas es sólo comparable con la importancia creciente que el sector de la pesca de bivalvos ha adquirido en los últimos años. En efecto, en 1996, las capturas totales de moluscos en Punta Umbría (1.314 Tm.) supusieron el 66,53% de la producción pesquera local, lo cual da una idea de la enorme presencia en el sector pesquero artesanal de esta pesquería concreta. La explotación de los bancos de chirla se ha convertido en la actividad marisquera predominante, ocupando las capturas de chirla el 99% de los desembarcos totales de moluscos en el citado puerto²¹. Sin embargo, a pesar de estar concentrada esta actividad en Punta Umbría, ello no significa que estas medidas propuestas afecten sólo a la flota con puerto base en este municipio. La concentración de la oferta en la lonja de Punta Umbría debido a las mejores posibilidades de comercialización ha atraído a la práctica mayoría de las embarcaciones marisqueras de la región suratlántica con puerto base en otros municipios costeros donde la pesca es una de las actividades económicas básicas, como Isla Cristina, Lepe y Ayamonte. Esta es la razón de que el mantenimiento de esta pesquería tenga repercusiones en toda la región marítima.

Por otra parte, el control restrictivo que los países ribereños están realizando sobre sus recursos pesqueros está provocando una reducción paulatina de la presencia de la flota española en aguas de terceros países, por lo que es previsible que a medio plazo muchas unidades semiindustriales se dediquen a la pesca en aguas de nuestro litoral, incrementando el esfuerzo pesquero ejercido en las pesquerías artesanales de nuestra región. Por ello, las medidas que a continuación se proponen para la pesquería de chirla pueden ser un ejemplo a seguir en la regulación de otras pesquerías de nuestro litoral andaluz, como las de trasmallo y cerco.

En primer lugar, debe destacarse la necesidad de renovar el censo de embarcaciones autorizadas para la pesquería, facilitando el abandono de la misma de aquellas unidades que imposibilitan en la actualidad que la flota constituya un grupo homogéneo en base a sus principales características tecnológicas (TRB, eslora, potencia, etc.). En este caso, la determinación de un tamaño de flota de 20 embarcaciones permitiría que los ajustes en la actividad fueran menos rígidos. Asimismo, el ajuste de las capturas puede realizarse aplicando una herramienta de control hasta ahora no utilizada en las pesque-

21. De las 122 embarcaciones que componen la flota pesquera de Punta Umbría, cerca del 28% se dedican casi con exclusividad a la extracción de moluscos bivalvos, con una producción que en 1996 alcanzó un valor de más de 262 millones de ptas. Ello puede dar una idea de la enorme repercusión sobre el empleo pesquero local y provincial, debiendo sumar a ello los impactos sobre el empleo inducido en sectores como el de la comercialización.

rias artesanales: el establecimiento de licencias individuales de pesca expresadas en número de días de pesca por temporada y embarcación. A esto debe unirse el establecimiento de vedas como medida para garantizar la recuperación del recurso, ya que en los últimos dos años se ha ejercido la pesca durante la totalidad del año. Para que la inactividad temporal dañara lo menos posible la rentabilidad de la flota, debe procurarse que las vedas establecidas no coincidan con las decretadas en Italia (principal competidor en los mercados nacionales).

Finalmente, aunque desde un punto de vista estrictamente analítico, lo más recomendable sería una aproximación al equilibrio lo más rápida posible, la tremenda reducción en la actividad que dichas medidas provocarían hace totalmente inviable una medida de tal naturaleza, por lo que deben sugerirse sendas de aproximación gradual, y por lo tanto, menos traumáticas, proponiendo planes de duración superior al año que basados en combinaciones de esfuerzo y capturas cercanas a la sostenibilidad del recurso (determinadas anteriormente), permitan al gestor planificar la actividad en un horizonte temporal finito. El establecimiento de taras máximas por embarcación y día y tamaños mínimos de comercialización tendrían la naturaleza de medidas de acompañamiento dentro de un plan global de gestión de la actividad pesquera en el que la participación del sector es imprescindible, dotando de mayores competencias de gestión a las cofradías y asociaciones de armadores.

4. CONCLUSIONES

Los desarrollos metodológicos aplicables a la gestión de pesquerías se han centrado casi con exclusividad en las pesquerías transnacionales, olvidando en muchos casos las peculiaridades de las actividades pesqueras sobre las que todavía los gobiernos centrales y autonómicos ostentan competencias de gestión. Este trabajo ha pretendido llamar la atención sobre este último aspecto, poniendo de manifiesto que las metodologías aplicables a la gestión de pesquerías con un extenso radio de acción también pueden ser implementadas con éxito en las pesquerías de litoral, suministrando a los administradores una valiosa herramienta para la definición de objetivos de gestión en base a criterios de sostenibilidad de la actividad pesquera, manteniendo una actitud responsable con el recurso, y al mismo tiempo incorporando el elemento económico, el cual, desgraciadamente en algunos casos puede impulsar a que los pescadores se comporten de forma irracional, desempeñando el papel de auténticos disipadores de renta. La modelización bioeconómica y las

impresionantes posibilidades que presentan los modernos desarrollos estadísticos e informáticos permiten mejorar el grado de conocimiento sobre todos estos aspectos.

La flota pesquera andaluza se enfrenta a la necesaria reconversión y modernización en sus estructuras productivas y de comercialización. El elevado número de embarcaciones que faenan en las costas andaluzas ha provocado el agotamiento de muchos de los ricos caladeros de nuestro litoral. A pesar de ello, la aportación del sector pesquero al VAB de la región sigue siendo cerca del doble que en el resto de regiones españolas. Los esfuerzos de la administración pesquera por racionalizar el ejercicio de la pesca colisionan con el carácter individualista de la pesca de litoral, y donde la pesca ilegal acelera el proceso de sobreexplotación de los caladeros. El ejercicio de esta pesca irresponsable se ve ayudado por la utilización de artes de pesca obsoletos, con una reducida o nula renovación tecnológica. La ausencia de alternativas para el empleo en los municipios costeros andaluces hace que ante las escasas redes organizadas de comercialización y ante un sector invertebrado social y económicamente tan sólo la actuación de la administración pueda solucionar paulatinamente el proceso de degeneración de la actividad pesquera en nuestras aguas.

La pesquería seleccionada como argumento central en este trabajo es un exponente de la generalizada situación de agotamiento de nuestros recursos pesqueros. Tanto ante la situación descrita a lo largo de este artículo como respecto al resto de pesquerías artesanales del litoral andaluz, la administración pesquera autonómica tiene mucho que decir al respecto, ya que el reparto de competencias en materia pesquera ha adjudicado a la Junta de Andalucía competencias de regulación exclusivamente en cuanto al marisqueo y el ejercicio de la pesca en aguas interiores. Por ello, la modelización bioeconómica aplicable a este tipo de pesquerías puede constituir un soporte válido para el diseño de políticas efectivas de regulación de la actividad pesquera del litoral andaluz.

En el caso concreto de la pesquería de Chirla en la Región Suratlántica, el notable esfuerzo pesquero ejercido en los últimos años ha provocado el progresivo agotamiento de los stocks, hasta el punto de que el recurso no puede soportar el actual ritmo de extracción ejercido por las embarcaciones de draga hidráulica. Por ello, resultará necesario acometer medidas que limiten la actividad con la intención de devolver la sostenibilidad a la actividad, tanto desde un punto de vista biológico como económico. Dichos controles pueden ser ciertamente severos, aunque la existencia de mecanismos más transparentes de configuración de los precios y las posibilidades de explotar especies que

con anterioridad apenas se comercializaban permite que los necesarios períodos de ajuste de la actividad puedan ser compatibles con el mantenimiento de los puestos de trabajo, y en términos generales, de toda la actividad pesquera desarrollada en el litoral.

En definitiva, la necesaria reducción del tamaño de la flota no debe implicar una menor presencia del sector pesquero en la economía de nuestra región. La reorientación de la pesca hacia otras especies y artes de pesca permitirá el mantenimiento de los actuales puestos de trabajo. En el caso de las pesquerías de moluscos en el litoral andaluz se están realizando serios intentos por controlar las pesquerías de berberecho y coquina. De esta forma, podrá ubicarse de forma estacional a aquellas unidades que no puedan acceder al censo de draga hidráulica. Medidas de la misma índole irán aplicándose progresivamente al resto de pesquerías andaluzas, ayudadas por el soporte institucional que el Plan de Modernización del Sector Pesquero Andaluz está suponiendo.

BIBLIOGRAFÍA

- BARANOV, T. I., (1918), "On the Question of the Biological Basis of Fisheries", *Nauch. Issledov. Iktiolo. Inst. Izv.*, I, 81-128.
- BEVERTON, R. J. H. y S. J. HOLT, (1957), "On the Dynamics of Exploited Fish Populations", *Fishery Investigations Series II*, XIX, Londres: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 533 págs.
- CLARK, C. W., (1976), "Mathematical bioeconomics". *The optimal management of renewable resources*, New York: Wiley, 386 págs.
- CUSHING, D. H., (1971), "The Dependence of Recruitment on Parent Stock in Different Groups of Fishes", *Journal of Cons. Int. Explor. Mer*, 33, 340-362.
- CUSHING, D. H., (1973), "The Natural Regulation of Fish Populations", *Sea Fish. Res.*, 399- 411.
- CHOW, G. C., (1960), "Test of Equality between sets of coefficients in two Linear Regressions", *Econometrica*, 3 (28), 591-605.
- GARCÍA DEL HOYO, J. J., (1997), "Análisis Económico de la Pesca de Cerco en la Región Suratlántica Española", *Papeles de Economía Española*, 71, 231-251.
- GELFAND, A. E. y A. F. M. SMITH, (1990), "Sampled- Based Approaches to Calculating Marginal Densities", *Journal of the American Statistician Association*, 85, 398-409.
- GEMAN, S. y D. GEMAN, (1984), "Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions and the Bayesian Restoration of Images", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machines Intelligence*, 6, 721-741.
- GORDON, H. S., (1953), «An Economic Approach to the optimum utilization of Fishery Resources», *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 10, 442-457.
- GORDON, H. S., (1954), "The Economic Theory of a Common- Property Resource: The Fishery", *Journal of Political Economy*, 62, 124-142.
- HASTINGS, W. K., (1970), "Monte Carlo Sampling Method using Markov Chains and their Applications", *Biometrika*, 57, 97-109.
- PARRISH, B. B., (1973), "Fish Stock and Recruitment", *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 164, 132-137.
- POPE, J. E., (1979), "A modified cohort analysis in wich constant natural mortality is replaced by estimates of predation levels", *Int. Counc. Explor. Sea*.
- ROYO RODRÍGUEZ, A., (1995), "Informe sobre la Viabilidad de la Draga Hidráulica", *Informes Técnicos del CICEM Aguas del Pino*, 26 págs.
- RUSSEL, E. S., (1931), "Some Theoretical Considerations on the Overfishing Problem", *Journal du Conseil International pour l'exploration de la Mer*, 6, 3-20.

- SCHAEFER, M. B., (1954), "Some Aspects of the Dynamics of Populations Important to the Management of the Commercial Marine Fisheries", *Bulletin of the Inter- American Tropical Tuna Commission*, 1, 1-56.
- SCHAEFER, M. B., (1957), "Some Considerations of Population Dynamics and Economics in Relation to the Management of the Marine Fisheries", *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 14 (5), 669-681.
- SPENCE, M., (1974), "Blue Whales and Applied Control Theory", *Technique Report n° 108*, Stanford University, Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, 35 págs.
- SURÍS REGUEIRO, J. C. y VARELA LAFUENTE, M. M., (1997), "Pesca y Economía: una visión general", *Revista Española de Economía Agraria*, 179, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 41-88.
- TANNER, M. A., (1991), *Tools for Statistical Inference. Methods for the Exploration of Posterior Distributions and Likelihood Functions*, Nueva York: Springer- Verlag, 156 págs.
- VARELA LAFUENTE, M. M. y J. C. SURÍS REGUEIRO, (1995), *Introducción a la Economía de los Recursos Naturales*, Madrid: Civitas, 133 págs.

Recibido, 3 de Septiembre de 1998; Aceptado, 12 de Noviembre de 1998.