

Análisis bioeconómico del cultivo de dorada en Canarias y en el Mediterráneo

Eucario Gasca-Leyva

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del INP, Mérida, México

Carmelo León

Dpto. de Análisis Económico Aplicado, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Juan María Hernández

Dpto. de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Gestión, Univ. de las Palmas de Gran Canaria

y José Manuel Vergara

Dpto. de Biología, Univ. de Las Palmas de Gran Canaria e Instituto Canario de Ciencias Marinas

1. Introducción

La acuicultura es una industria en continua expansión, constituyendo una alternativa al declive de los limitados recursos marinos. Esta expansión se ha visto favorecida por la adecuación de nuevas especies para el cultivo comercial, así como por las altas tasas de rentabilidad esperadas. En este trabajo se propone un modelo bioeconómico para representar las interacciones entre las decisiones de gestión y los resultados obtenidos por las empresas en la producción de dorada, la cual es una de las especies marinas con mayor representación y potencial de mercado en el Mediterráneo

* Una versión preliminar de este trabajo se publicó en el Informe Técnico Número 8 del Instituto Canario de Ciencias Marinas. Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de dos evaluadores anónimos.

Dirigir la correspondencia a: Carmelo J. León. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Edificio de Ciencias Económicas, Módulo D-3.16, Campus de Tafira, Las Palmas de Gran Canaria 35017. Tel. 928 452810; Fax. 928 451829.

Recibido: en julio de 2000. Aceptado en marzo de 2001.

(Federación Europea de Acuicultura, <http://www.feap.org>). En 1998 se contabilizaron más de 700 empresas con una producción de 76.000 Tm, siendo España uno de los mayores productores con una participación del 9% en la cuota de mercado.

A pesar de la importancia creciente de este cultivo, el análisis económico no ha abordado con precisión la modelización de las peculiaridades del crecimiento biológico de esta especie. Se pueden encontrar estudios que tratan aspectos puntuales de la tecnología y la escala de producción, o de las diversas estrategias de mercado, como por ejemplo De la Pomelie (1995), Stephanis (1995), Blakstad *et al.* (1996), Porter *et al.* (1986), Lemarie *et al.* (1992), Hidalgo y Sierra (1993), y Ginés (1997). Sin embargo, estos estudios adolecen de una integración de las decisiones de gestión en un modelo bioeconómico que tenga en cuenta los mecanismos de crecimiento biológico particulares a la especie.

El enfoque adoptado en este trabajo está basado en un modelo de crecimiento biológico, donde el crecimiento de la especie depende del peso del organismo, la temperatura del agua, y la ración alimentaria suministrada. Este crecimiento determina la biomasa final obtenida del sistema productivo, contribuyendo simultáneamente a los ingresos y a los costes de la empresa. En la literatura se pueden encontrar modelos bioeconómicos para otras especies, como el pez gato [Cacho (1990)], el salmón [Bjorndal (1990)], la gamba [Leung y Shang (1989)], la trucha arcoiris [Sparre (1977)], y la lubina [Rizzo y Spagnolo (1996)]. En la mayoría de estos trabajos se utilizan diversas técnicas de simulación de sistemas, que permiten analizar las relaciones entre los factores biológicos y económicos teniendo en cuenta la evolución del peso del organismo.

La dorada es una especie de reciente expansión comercial, por lo que el conocimiento científico es relativamente menor que para otras especies con mayor tradición en el mercado. En este trabajo se adopta la metodología de la dinámica de sistemas para afrontar la modelización de las decisiones económicas y su interacción con los aspectos biológicos y ambientales. Por otra parte, el modelo biológico utilizado sintetiza las principales relaciones del crecimiento, sin ahondar en todos los factores que inciden en el mismo, como los derivados de la calidad de la alimentación suministrada. Los modelos bioeconómicos no son directamente extrapolables entre especies, pues el crecimiento de cada organismo está determinado por factores y parámetros específicos. En el caso de la dorada, Mistien y Strand (1999) aplicaron un modelo de control óptimo basado en una función de crecimiento muy simplificada, determinado sólo por la tasa de alimentación. Este modelo no considera la interacción de los factores ambientales, por lo que no permite un análisis completo de las interacciones entre el subsistema biológico y el económico.

El modelo bioeconómico propuesto tiene especial utilidad para evaluar la rentabilidad de la inversión, la cual puede variar dependiendo de las decisiones de gestión, del tamaño de la granja, y de los parámetros ambientales. Por ejemplo, es evidente que la competitividad de la empresa depende no sólo de la tecnología y de las decisiones de gestión, sino que se ve también influenciada por los factores ambientales. Con el fin de ilustrar la potencialidad del modelo, se realiza una comparación entre los resultados relativos obtenidos en los distintos escenarios ambientales de localización de la

empresa en Canarias y en el Mediterráneo. La acuicultura se está desarrollando en Canarias de forma acompañada a la expansión surgida en el Mediterráneo. Pero mientras Canarias presenta unas ventajas relativas debido a las condiciones ambientales favorables para un mayor crecimiento biológico, se ve penalizada por los costes relativamente más altos de los insumos necesarios para el proceso productivo. Por tanto, el modelo permite evaluar las decisiones de gestión que conducirían a una rentabilidad relativa favorable para el entorno de las Islas Canarias.

2. Modelo bioeconómico

El modelo bioeconómico consta de cuatro submodelos interrelacionados: el biológico, el ambiental, el de manejo de las jaulas y el económico. La figura 1 representa las variables que definen cada submodelo, así como las interacciones entre los mismos. Puede verse que los resultados económicos están influenciados por las decisiones de gestión de la producción en las jaulas (densidad, capacidad, alimentación), así como por los parámetros que gobiernan el crecimiento del organismo desde un punto de vista biológico (calidad del agua, temperatura, y peso). Dentro de cada submodelo existen unas relaciones funcionales cuya modelización depende de los supuestos de partida realizados, así como de la información disponible acerca de los parámetros que inciden en su definición.

2.1. El submodelo biológico

El submodelo biológico debe incorporar los factores más importantes que influyen en el crecimiento de una especie en cultivo acuícola. Consideramos que la tasa de crecimiento depende de tres variables fundamentales: el peso del organismo, la temperatura del agua y la ración alimentaria [Stauffer (1973) y Brett (1979)]. Cada una de estas variables influye en el crecimiento de acuerdo a una forma funcional específica, y el resultado final es de tipo multiplicativo, esto es,

$$\frac{dw}{dt} = \Gamma f_1(w) f_2(\theta) f_3(r), \quad [1]$$

donde dw/dt es el incremento del peso con respecto al tiempo, o tasa de crecimiento temporal, $f_1(w)$ es la función del peso del individuo w , $f_2(\theta)$ la función térmica de la temperatura θ , $f_3(r)$ la función de alimentación que depende de la ración de alimento en forma normalizada r , y Γ es un parámetro de corrección.

El peso individual de los peces interviene en el crecimiento a través de su influencia en el metabolismo. La expresión que se ha seleccionado para la función de peso es de tipo logaritmo lineal,

$$f_1(w) = b \cdot w^m \quad [2]$$

donde b y m son parámetros específicos para cada especie. El parámetro m ejerce un efecto positivo en el crecimiento, de forma decreciente, esto es, $m < 1$.

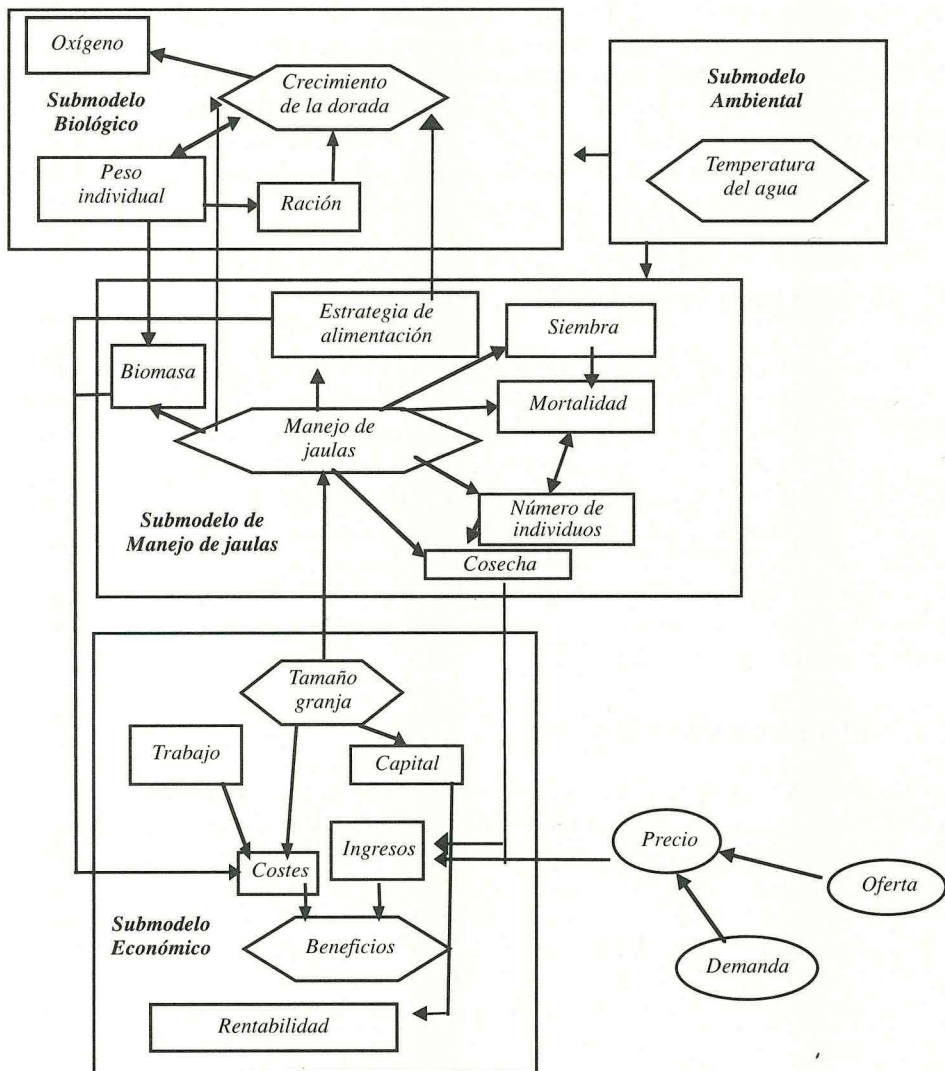


Figura 1. Modelo conceptual del cultivo de la dorada (*Sparus Aurata*) en jaulas marinas. (Elaboración propia).

Como en otros procesos fisiológicos, el crecimiento se ve afectado por la temperatura corporal, que en la mayoría de los peces es cercana a la temperatura del agua donde habitan. La temperatura del agua óptima para el crecimiento de la dorada se sitúa alrededor de 25 °C. Por encima y por debajo de esta temperatura hay una disminución progresiva del crecimiento, hasta anularse a temperatura mínima de 12 °C y máxima de 32,9 °C [Ravagnan (1984), Muller-Feuga (1990), Barnabé (1991)]. Este efecto está recogido en la siguiente función para la temperatura:

$$f_2(\theta) = D (e^{\alpha(\theta_M - \theta) - e} e^{(\theta_M - \theta)}) \quad [3]$$

donde D es un parámetro de corrección, α y β son parámetros térmicos, θ es la temperatura del agua durante el período de crecimiento y θ_M es la temperatura del agua máxima que los peces pueden soportar.

Por otra parte, la dieta, tanto en calidad como en cantidad, influye en la evolución del peso de los organismos a lo largo del ciclo de cultivo. La ración representa una medida relativa del apetito, el cual oscila entre el ayuno y la saciedad. Este apetito está primeramente influenciado por los requerimientos de energía, que a su vez dependen de los diferentes estados de desarrollo, estación y condiciones ambientales [Cho *et al.* (1982), Cacho (1990)]. A su vez, la composición bioquímica del cuerpo del pez cambia con la calidad y la cantidad de la ración, alterando el contenido en proteínas, grasas y agua, lo cual afecta relativamente al peso y al contenido de energía corporal.

Siguiendo a Muller-Feuga (1990), la ración se incorpora de forma normalizada, lo que permite establecer valores estandarizados comprendidos entre el ayuno y la saciedad. El racionamiento normalizado (r) está definido como el cociente entre la variación de la ración distribuida en una unidad de tiempo (dR/dt) y la variación de la ración máxima en esa misma unidad de tiempo (dR_M/dt). Por tanto,

$$r = \frac{dR/dt}{dR_M/dt} \quad [4]$$

que toma valores entre 0 y 1. De esta manera, podemos estudiar el racionamiento suministrado a un cultivo como un porcentaje sobre el nivel de saturación.

A su vez, el crecimiento normalizado [$Z(r)$] está definido como el cociente entre la tasa de crecimiento (dw/dt) y la tasa de crecimiento máximo (dw_M/dt),

$$Z(r) = \frac{dw/dt}{dw_M/dt} \quad [5]$$

Así, la función de ración se define como:

$$f_3(r) = \frac{Z(r)}{Z(r_c)} \quad [6]$$

donde r_c es la ración de cultivo suministrada por el productor¹.

La función de crecimiento normalizado se obtiene a partir del índice de conversión normalizado [$Y(r)$], que se define como el cociente entre la ración normalizada y el crecimiento normalizado:

¹ Esta ración coincide con la recomendada por las fábricas de pienso, y en el caso de dorada, se sitúa en el 80%, valor de base que hemos asumido para la simulación. La práctica común del cultivo en jaulas flotantes es aumentar esta cantidad por encima de la recomendada, llegando hasta el 100%, sobre todo si no existen problemas de recirculación y la calidad del agua no se ve deteriorada.

$$Y(r) = \frac{r}{Z(r)} \quad [7]$$

El modelo de crecimiento se puede utilizar para calcular el alimento necesario para alcanzar una talla dada. Para ello es necesario transformar el índice de conversión normalizado $Y(r)$ en un índice de conversión para diferentes valores de p , θ y r [$IC(p, \theta, r)$]. Esta función indica la cantidad de alimento consumido necesario para una unidad en incremento de peso. El consumo total de alimento se obtiene acumulando el alimento consumido por un pez a lo largo de todo el periodo de cultivo. La ecuación [7] lleva a la siguiente relación:

$$Y(r) = IC(p, \theta, r) \left[\frac{dp_M / dt}{dR_M / dt} \right]_{w, \theta} \quad [8]$$

Así, el índice de conversión normalizado es igual al producto entre el índice de conversión y el cociente entre el crecimiento máximo y la ración de crecimiento diario máximo para un peso dado. Se obtuvieron estimaciones del índice de conversión para diferentes pesos y niveles de temperatura, suponiendo una ración máxima (r_M). Esta suposición es acorde con las prácticas observadas en la granja de cultivo de donde se han extraído los datos. Dada una temperatura fija (θ_0), se observó que los datos se ajustaban bastante bien a una relación logaritmo-lineal:

$$IC(p, \theta, r) = Hp^\gamma \quad [9]$$

Los parámetros H y γ se estimaron estadísticamente para dos grupos de temperatura. Los índices de conversión para otras temperaturas se calibraron de acuerdo a los resultados anteriores y la influencia de la temperatura sobre el crecimiento de la dorada. Finalmente, el cociente $[(dp_M/dt)/(dR_M/dt)]_{w, \theta}$ se obtuvo a partir de la ecuación [8] usando la función de índice de conversión anterior. Consecuentemente, se pueden calcular los índices de conversión para cualquier tamaño de ración.

Por otro lado, la especificación de la función de índice de conversión normalizado $Y(r)$ debe poseer ciertas características derivadas de la fisiología del crecimiento del pez. Esto es, la función debe tener un mínimo en la ración óptima o de mínimo índice de conversión (r_o) y un punto singular en la ración de mantenimiento (r_m). Una expresión que satisface estas condiciones es

$$Y(r) = r \left[1 + \frac{c(1-r)^2}{rm(1-r_m)^2(r-r_m)} \right] \quad [10]$$

donde c es un parámetro que determina el punto óptimo de ración r_o .

2.2. El submodelo económico

Las decisiones de gestión del crecimiento del pez tienen implicaciones en los resultados de la empresa. El submodelo económico evalúa los costes e ingresos, y por

tanto los beneficios esperados, para cada uno de los diferentes escenarios y estrategias de producción planteadas, teniendo en cuenta la evolución dinámica incorporada en el submodelo biológico. La modelización dinámica del sistema representado en la figura 1 permite comprobar la sensibilidad de los beneficios a las decisiones de gestión de la empresa². Como indicadores para la evaluación de los resultados económicos, se consideran los estimadores del valor presente neto (VPN) y de la tasa interna de rendimiento (TIR), que son ampliamente aceptados en la evaluación de inversiones y proyectos. El valor presente neto viene dado por la expresión:

$$\text{VPN} = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{\text{IT}(t) - \text{CO}(t) - \text{CC}(t)}{(1+i)^t} - I \quad [11]$$

donde n es el tiempo de vida del proyecto, $\text{IT}(t)$ son los ingresos totales por ventas en el año t , esto es, el producto de la biomasa producida por el precio del mercado —que se supone una variable aleatoria con distribución uniforme en un intervalo definido—, $\text{CC}(t)$ los costes de comercialización en el año t , i es el tipo de descuento o interés, I la inversión inicial, y $\text{CO}(t)$ representa los costes de operación, que incluyen costes fijos y variables, y se definen como la suma del coste de los alevines, pienso, mano de obra, productos sanitarios, mantenimiento, seguros y otros costes.

El tiempo de vida de la inversión se ha estimado en 10 años, de acuerdo a los periodos normales de renovación observados en industria. La producción se organiza en jaulas, cada una con una capacidad máxima de 2.000 m³. El número de alevines en las jaulas en el momento de la siembra se determina de acuerdo a la densidad de cultivo (kg/m³) y a la tasa de mortalidad esperada. En la evaluación del VPN se adopta una tasa de descuento del 6%³, y se consideran dados los costes de inversión inicial —que dependen del tamaño de granja o capacidad de planta— así como los costes unitarios de comercialización.

2.3. Ajuste, calibración y datos

La especificación del modelo bioeconómico requiere definir los parámetros que interactúan en las relaciones funcionales, así como los datos de las variables de esta-

² Esta metodología ha sido ampliamente adoptada en la literatura (véase por ejemplo, Bosh and Shabman (1990), Logan *et al.* (1995) y Hatch *et al.* (1998)) y resulta apropiada para los objetivos propuestos. De este modo se obtiene una evaluación de los beneficios antes de acometer la inversión, en lugar de una trayectoria óptima de las variables de decisión o de control. La solución del sistema es por tanto, estática, en el sentido de que no se intenta resolver un problema de maximización de beneficios intertemporal, cuya solución resultaría excesivamente compleja debido al carácter estocástico de la función de temperatura, y constituiría una extensión natural de este trabajo.

³ Shang (1990) argumenta que el tipo de interés debería reflejar la rentabilidad esperada de la mejor alternativa de inversión de riesgo similar, sugiriendo utilizar i) el tipo de interés medio de los préstamos, ii) el tipo de interés medio de las cuentas y depósitos de ahorro, o iii) la rentabilidad mínima aceptable para el inversor. Se utiliza el valor del 6% porque se aproximaba al interés medio de los depósitos en el momento de la realización del estudio, además de estar en torno a los valores más utilizados en la evaluación de proyectos privados y públicos. En todo caso, el valor utilizado no afectaría significativamente, para cambios pequeños, a los resultados relativos derivados de las diversas estrategias de gestión adoptadas por la empresa.

do técnico-económicas, como el precio de mercado y los costes de inversión. Los datos se han obtenido de experiencias en cultivo de dorada realizados en la bahía de Melenara (Gran Canaria) durante dos años 1994-1996⁴. Estos datos experimentales se han completado con los resultados de otros trabajos publicados sobre dorada, que se pueden encontrar en la literatura. El cuadro 1 presenta los valores considerados para los parámetros del modelo y su origen.

CUADRO 1
Parámetros del modelo, descripción, valores y fuente

Función	Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
	Γ	Influencia de otros factores	1	c
f_1	{ m	Talla del pez	0,23	e
	θ_M	Temperatura del agua máxima	32,9 °C	Barnabé (1991)
f_2	{ α	Parámetros de la función	-0,12	Muller-Feuga (1990)
	β		-0,15	
	D	Parámetro para ajustar f_2 a dw/dt	4,93	c
	r_c	Ración normalizada de cultivo	0,8	Brett (1979)
	c	Parámetro del índice de conversión	0,06	Muller-Feuga (1990)
f_3	{ r_m	Parámetro de ración de mantenimiento normalizada	0,12	Brett <i>et al.</i> (1969); Hogendoorn <i>et al.</i> (1983)
	H	Ajuste del índice de conversión	dependen de la temperatura del agua	e
	γ	Parámetro del índice de conversión	del agua	c

e = estimación estadística; c = calibración.

El modelo se ha simulado utilizando la metodología de dinámica de sistemas, implementada en un software específico (POWERSIM 2.05). Desde el punto de vista numérico, se adoptó el método de integración de Euler con paso diario. Los resultados obtenidos en la simulación del submodelo biológico fueron contrastados con los datos reales obtenidos, usando los tests de validación recomendados para los modelos de dinámica de sistemas [Sterman (1984), Barlas (1989)]. Estos contrastes muestran que el submodelo biológico es una buena representación de los datos reales. En el Apéndice se presentan con más detalle los resultados de estos contrastes.

La definición de los parámetros ambientales y económicos se ha realizado de acuerdo a dos escenarios, el área Mediterránea y las Islas Canarias, siendo el primero el área de mayor producción comercial de dorada. Sin embargo, en el archipiélago canario, donde el cultivo de esta especie es más reciente, presenta unas particulares características medioambientales, geográficas y de mercado.

⁴ Estos datos han sido facilitados por la Asociación Canaria de Empresas de Acuicultura, a través de convenio con el Instituto Canario de Ciencias Marinas.

Los ciclos de producción en el cultivo de dorada varían significativamente de acuerdo a las especificaciones de temperatura del agua, alimentación y talla comercial deseada. Existen diferentes tamaños y denominaciones para el producto que se comercializa en Europa, variando desde los 100 g hasta más de 1.500 g. En este trabajo se ha considerado la producción de dos tallas comerciales, 400 y 700 g, las cuales tienen la denominación de selecta y super, respectivamente, y son las más consumidas en la actualidad por los países europeos, siendo la primera de ellas la más producida en el Mediterráneo [Datsolopoulos, (1996)]. Para el escenario base de Canarias, se ha supuesto el 80% de la producción total de talla selecta y el 20% de super, mientras que para el Mediterráneo se ha considerado el 100% de talla selecta, debido a los altos costes incurridos en llevar la producción hasta la talla super en este escenario.

En el cuadro 2 se resumen los principales supuestos biológicos, técnicos y económicos utilizados para estos escenarios, obtenidos a partir de fuentes primarias, datos comerciales y experimentales publicados. Tanto la temperatura del agua como el precio de mercado se modelizan de acuerdo a variables aleatorias distribuidas uniformemente durante el proceso de producción en los intervalos mínimos y máximos considerados. Los datos mensuales de la temperatura se obtuvieron de medidas realizadas en las jaulas ubicadas en la bahía de Melenara (Gran Canaria), y de referencias bibliográficas [Barnabé (1991), Sahin (1995)] para la temperatura en el área Mediterránea.

CUADRO 2
Supuestos para el análisis bioeconómico

Parámetro	Unidad de medida	Canarias	Mediterráneo
		Cantidad	
Tasas de supervivencia:	%	99	92
Temperatura del agua	°C [mín., máx.]	[17, 24]	[12, 26]
Coste del alevín	ptas./unidad	100	70
Coste del pienso	ptas./kg	100	92
Coste de comercialización	ptas./kg	250	85
Precio comercial de selecta	ptas./kg[mín., máx.]	[900, 1.000]	[900, 1.000]
Precio comercial de super	ptas./kg[mín., máx.]	[1.800, 2.000]	

Por otro lado, los costes de los insumos intermedios y de comercialización de la producción se consideran superiores en Canarias que en el Mediterráneo, debido al origen continental de los insumos y a la ubicación de los principales mercados. Los costes de comercialización están subvencionados en Canarias en un 40%, de manera que los suponemos de 250 pts./kg.

Las tasas de mortalidad dependen de las condiciones ambientales y de los episodios patológicos. En el modelo se ha supuesto una tasa de mortalidad en el periodo de engorde algo superior para el Mediterráneo que para Canarias, siguiendo la información disponible [Stephanis (1995), De la Pomelie (1995), Sahin (1995), Jordan (1996), Abouhala (1995), Blakstad *et al.* (1996), y Gines (1997)].

Con respecto a la densidad final de cultivo se han utilizado los valores publicados por Blakstad *et al.* (1996), cifrados alrededor de 15 a 16 kg/m³, que se han ajustado de acuerdo a las características hidrológicas para diferentes localizaciones⁵.

En el cuadro 3 se muestran los costes de inversión inicial de acuerdo al tamaño de granja expresado en términos de capacidad total (m³). Estos costes se han estimado a partir de los datos corrientes observados en el mercado, e incluyen los costes de las jaulas con redes, los anclajes y los barcos.

Existe una relación directa entre el tamaño de la granja en metros cúbicos de jaulas y la producción anual máxima (Tm/año). En el cuadro 4 se presentan los supuestos sobre la relación entre la producción anual máxima y el mínimo número de empleados necesarios, que ha sido calculada con base en los datos de productividad publicados por Stephanis (1995).

CUADRO 3

Costes de inversión inicial para diferentes tamaños de granja

Capacidad en jaulas (m ³)	4.000	8.000	16.000	24.000	32.000	48.000	64.000
Componentes del Sistema	Costes (ptas. × 1.000)						
Jaulas con redes	6.005	12.009	22.096	34.105	41.348	56.484	71.621
Anclajes	5.815	11.630	21.278	32.908	37.902	52.883	67.864
Barcos	3.840	3.840	26.479	26.479	26.479	26.479	49.118
Inversión inicial total	38.066	54.885	113.677	140.835	161.590	208.145	291.259

CUADRO 4

Supuestos de producción y número de empleados según la escala de granja

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad							
Tamaño de granja	(m ³ × 1.000)	4	8	16	24	32	48	64	
Producción	Tm/año	60	100	200	300	400	600	800	
Personal	Empleados/granja	4	7	10	13	15	19	25	

3. Resultados

3.1. Crecimiento, índices de conversión, costes y beneficios

Las repuestas biológicas en el crecimiento se generaron por simulación de acuerdo a la fisiología incorporada en el submodelo biológico. La figura 2 muestra la evolución del crecimiento de dorada en el Mediterráneo y en Canarias, desde el inicio del engorde hasta la cosecha (talla selecta). Se observa que el crecimiento es más lento en el Mediterráneo, debido al efecto de la temperatura del agua, que presenta aquí un

⁵ Estos valores son los más aceptados en la industria para la calidad de agua media y las características de las jaulas comúnmente utilizadas, aunque en algunas circunstancias particulares se puedan observar densidades de hasta 21 kg/m³ [Molina *et al.* (1997)].

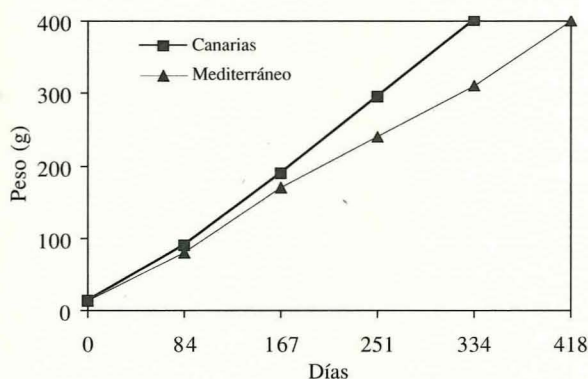


Figura 2. Crecimiento comparativo de dorada.

intervalo más amplio de variación y alejado con más frecuencia de la temperatura óptima de crecimiento para esta especie (25 °C)⁶.

El cuadro 5 muestra los índices de conversión no normalizados generados por el modelo en los escenarios del Mediterráneo y Canarias para tres valores alternativos de ración de pienso. Para el escenario de Canarias, los índices de conversión obtenidos del modelo fueron comparados con los índices observados por medio de tests paramétricos, demostrando que para raciones de 100 y 120% no existieron diferencias significativas entre los dos grupos con un 99% de confianza. Por otro lado, puede observarse que los índices de conversión resultan mayores para el escenario del Mediterráneo, lo que se debe al efecto de la temperatura del agua⁷.

CUADRO 5

Índices de conversión generados por el modelo

Ración (%)	80		100		120	
Área	Med.	Can.	Med.	Can.	Med.	Can.
Peso (g)	Índice de conversión					
200	1,18	1,16	1,40	1,39	1,74	1,71
300	1,68	1,37	2,00	1,63	2,48	2,01
400	1,83	1,52	2,23	1,82	2,73	2,24

⁶ Los resultados para el área del Mediterráneo son comparables a los publicados en la literatura para el Mediterráneo sur (Sahin (1995), cuyas temperaturas oscilan entre 12 y 28 °C, y que se correspondería con algunas zonas de la costa de Andalucía. El modelo no es capaz de reproducir correctamente el crecimiento en el Mediterráneo norte, donde las temperaturas oscilan entre 10 y 25 °C, lo que se debe a la dificultad de reflejar el receso en el crecimiento para temperaturas por debajo de los 12 °C. La oscilación de la temperatura en Canarias se sitúa entre 17 y 24 °C.

⁷ Los resultados del índice de conversión simulados para el área del Mediterráneo son similares a los publicados en la literatura [Bendag (1995), Sahin (1995), De la Pomelie (1995) y Blakstad *et al.* (1996)].

Los resultados biológicos en cuanto a los índices de conversión inciden en los resultados económicos a través de las relaciones incorporadas en el modelo. Así, el crecimiento, la alimentación y la mortalidad de los peces, bajo los efectos del ambiente y las decisiones de gestión, generan la biomasa diaria en las jaulas de cultivo, que una vez vendida en el mercado, constituirá la base de los ingresos de la empresa. El proceso biológico sujeto a dichos efectos y conectado con los costes de cada uno de los factores de producción, hacen posible el entramado de un sistema técnico-biológico-económico, capaz de generar datos económicos en un cierto horizonte temporal.

Una vez generados los resultados de producción para un período de diez años y para los diferentes tamaños de granja, recogemos en los cuadros 6 y 7 los costes y beneficios correspondientes al quinto año de operación, así como la tasa interna de rendimiento, suponiendo los escenarios base de Canarias y del Mediterráneo respectivamente. Se seleccionó el quinto año porque se corresponde con la estabilización de la producción, así como de los costes y beneficios.

En un primer análisis se observa que los costes variables totales presentan una tendencia creciente con la escala de la granja y la producción (Tm/año), siendo los costes de mano de obra los que muestran una tendencia lineal más clara en este sentido. Una tendencia similar, aunque menos acentuada, presentan los costes fijos, siendo los seguros (relacionados directamente con la capacidad de la planta) los que ex-

CUADRO 6
Costes y beneficios para el quinto año de operación en Canarias.
Producción conjunta de selecta y super

	Pesetas (× 1.000)						
Tamaño de granja (m ³ /granja)	4.000	8.000	16.000	24.000	32.000	48.000	64.000
Producción (Tm/año)	(60)	(100)	(200)	(300)	(400)	(600)	(800)
Costes variables							
Alevines	13.510	21.954	43.908	65.863	88.661	130.881	174.790
Pienso	11.905	19.345	38.690	58.036	78.125	115.328	154.019
Mano de obra	10.790	15.470	20.150	24.830	27.950	34.190	43.550
Medicamentos	180	293	585	878	1.182	1.744	2.330
Costes variables totales	36.385	57.062	103.334	149.607	195.918	282.143	374.689
Costes fijos							
Mantenimiento	2.498	4.060	8.119	12.179	14.812	24.200	28.642
Seguros	4.254	6.912	13.825	20.737	29.499	41.211	58.713
Costes fijos totales	6.752	10.972	21.944	32.916	44.311	65.411	87.355
Costes totales	43.137	68.034	125.279	182.523	240.229	347.554	462.043
Comercialización	14.292	23.224	46.448	69.672	93.790	138.451	184.900
Beneficio bruto	24.049	41.144	93.077	145.011	200.682	303.314	407.181
Depreciación	4.888	6.402	14.220	17.810	20.511	26.801	37.992
Beneficio neto¹	19.161	34.742	78.857	127.201	180.171	276.513	369.189
TIR (%)	26	32	38	46	53	59	58

¹ No se considera pago de impuestos.

perimentan un mayor aumento. Los costes fijos representan en torno al 13% de los costes totales, incluida la comercialización, mientras que los variables están determinados por los costes de los alevines y el pienso, que en conjunto suponen en torno al 50% del coste total.

Comparando los costes generados por el modelo para los diferentes tamaños de granja en el escenario del Mediterráneo (cuadro 7) con los obtenidos en el escenario de Canarias (cuadro 6), observamos que se obtienen valores muy próximos entre sí, aún cuando en el Mediterráneo se ha supuesto la producción exclusiva de la talla selecta, cuyo peso es casi la mitad de la talla super. La similitud de los costes es debido al mayor número de peces y mayor consumo de pienso que se requiere en el Mediterráneo para alcanzar la producción objetivo en los diferentes tamaños de granja.

En la figura 3 se presentan los beneficios netos generados de acuerdo a las especificaciones de los escenarios del Mediterráneo y Canarias, así como la inversión acumulada para los diferentes tamaños de granja. Los beneficios netos en ambos escenarios presentaron una tendencia lineal, mientras que para la inversión acumulada la tendencia fue logarítmica asintótica. Puede observarse que los beneficios netos son mayores en Canarias que en el Mediterráneo, aunque la tendencia creciente es similar en ambos casos.

CUADRO 7

Costes y beneficios descontados para el quinto año de operación en el Mediterráneo, para siete tamaños de granja. Producción única de talla selecta de dorada

	Pesetas (× 1.000)						
Tamaño de granja (m ³ /granja)	4.000	8.000	16.000	24.000	32.000	48.000	64.000
Producción (Tm/año)	(60)	(100)	(200)	(300)	(400)	(600)	(800)
Costes variables							
Alevines	11.900	23.800	41.300	61.950	82.600	123.900	165.200
Pienso	9.359	18.718	32.481	48.721	64.962	97.443	129.923
Mano de obra	10.790	15.470	20.150	24.830	27.950	34.190	43.550
Medicamentos	152	305	530	795	1.060	1.590	2.120
Costes variables Totales	32.201	58.293	94.461	136.296	176.572	257.123	340.793
Costes fijos							
Mantenimiento	2.119	4.238	7.355	11.032	14.709	22.064	29.418
Seguros	3.608	7.217	12.523	18.784	25.045	37.568	50.090
Costes fijos Totales	5.727	11.455	19.877	29.816	39.754	59.631	79.508
Costes totales	37.929	69.748	114.338	166.112	216.326	316.754	420.302
Comercialización	4.681	9.363	16.247	24.370	32.494	48.740	64.987
Beneficio bruto	14.763	35.636	68.534	108.196	149.418	231.862	311.186
Depreciación	4.888	6.402	14.220	17.810	20.511	26.801	37.992
Beneficio neto¹	9.875	29.234	54.314	90.386	128.907	205.061	273.194
TIR (%)	Neg.	7	10	17	22	27	26

¹ No se considera pago de impuestos.

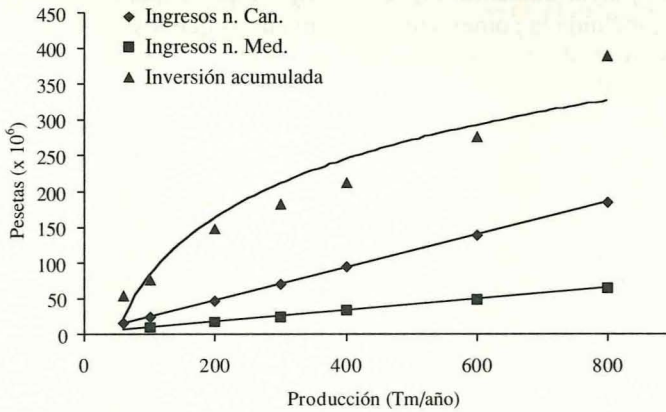


Figura 3. Beneficios netos e inversión acumulada.

3.2. Costes medios y economías de escala

En la figura 4 se muestran las tendencias del coste medio (CME) y tasa interna de rendimiento (TIR) de acuerdo a la producción (Tm/año) en las diferentes escalas de granja consideradas. Los CME y la TIR generados reflejan las características biológicas de dorada, y son consecuencia de supuestos de ambos escenarios. Por una lado, los valores menores de CME en el Mediterráneo se deben a los menores costes que ocasiona producir únicamente la talla selecta, en comparación con la producción conjunta de las tallas selecta y super en Canarias. Por otro lado, el amplio intervalo de temperatura del agua en el Mediterráneo origina un mayor índice de conversión y un crecimiento más lento que en Canarias, afectando a los rendimientos obtenidos (TIR).

En los dos escenarios, la tendencia decreciente del CME y creciente de la TIR respecto al tamaño de la granja revelan economías de escala, que se pueden explicar por las discontinuidades en los tamaños de equipamientos técnicos, como las máquinas de clasificación, los barcos de servicio, los tanques, y las jaulas. El valor de la TIR se sitúa en el punto más alto para la escala de 48.000 m³ y producción de 600 Tm/año, decreciendo posteriormente como consecuencia del incremento significativo de los costes de inversión para plantas más grandes.

Con el fin de comparar los resultados del Mediterráneo, el cuadro 8 recoge los costes medios y las tasas internas de rendimiento publicadas por diferentes autores para la producción conjunta de dorada y lubina. Los costes medios son en general mayores que los obtenidos del modelo de simulación. Esto puede deberse a los supuestos utilizados y a las distintas mortalidades y características ambientales de las áreas donde se han realizado los trabajos. Otro factor que podría influir en estas discrepancias es la consideración en estos trabajos de producción conjunta de dorada y lubina y, por lo general, el mismo índice de conversión alimenticia para ambas especies. La lubina pre-

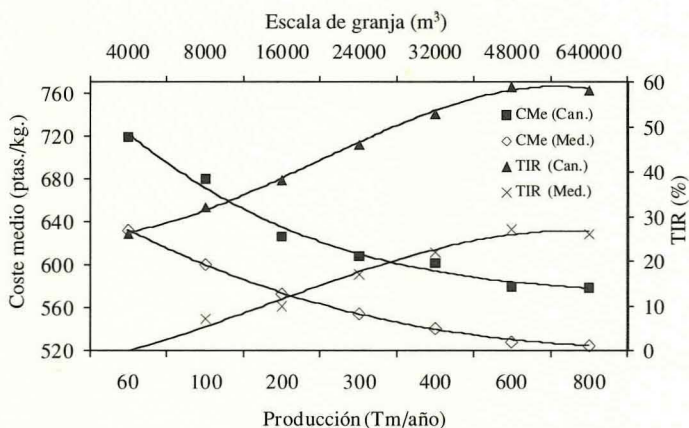


Figura 4. Coste medio (CMe) y tasa interna de rendimiento (TIR).

CUADRO 8

Coste medio, tasa interna de rendimiento (TIR) y capacidad media de planta en producción de dorada y lubina de talla selecta en diferentes países en el Mediterráneo

Autor	País	Coste medio (ptas./kg.) de planta (Tm/año)	TIR (%)	Capacidad media
Sahin (1995)	Turquía	726,9	10,1	30
De la Pomelie (1995)	Francia	933,4	—	300
Blakstad <i>et al.</i> (1996)	Mediterráneo	924,8	16	400
Stephanis (1995)	Grecia	981,1	—	50
		717,3	—	500

senta generalmente unos valores de índice de conversión superiores a la dorada [Rizzo y Spagnolo (1996)], que origina diferencias en el coste medio. Por otro lado, también habría que considerar los avances que han tenido lugar en cuanto a la calidad de piensos y alevines, así como en el abaratamiento de los insumos.

Resulta interesante observar la robustez de los resultados de economías de escala ante los cambios en los parámetros de gestión relevantes. La figura 5 muestra cómo cambia la relación entre la TIR y el volumen de producción ante variaciones en los escenarios base considerados. Los escenarios alternativos incluyen cambios en la composición de la tallas comerciales producidas, y variaciones en la densidad y en la ración suministrada. Para Canarias se consideran i) producción única de talla selecta (suponiendo subvención al coste de comercialización) (EC1); ii) producción conjunta de selecta y super (EC2) (escenario base); iii) incremento de la densidad de cultivo en producción conjunta (EC3). Para el Mediterráneo se estudian i) racionamiento al 100% (EM1) (escenario base); ii) racionamiento al 90% (EM2); iii) mortalidad alrededor del 15% a lo largo del ciclo de engorde de dorada (EM3).

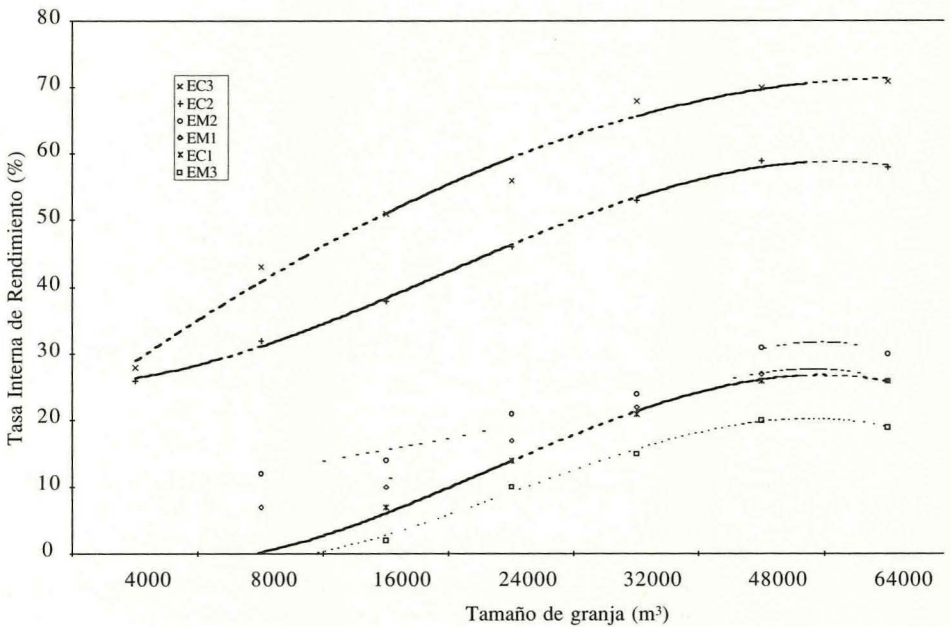


Figura 5. Tamaños de granja óptimos.

Los resultados revelan que la escala de granja más eficiente estaría en torno a los 48.000 m³ (producción media de 600 Tm/año) en el Mediterráneo, para la cual se generaron los mayores valores de TIR. Para Canarias la TIR obtuvo sus valores más altos en EC1 para las dos mayores escalas, en EC2 para la escala de 48.000 m³ y en EC3 para la escala de 64.000 m³, por lo que los mayores niveles de eficiencia se alcanzan para las escalas más grandes.

3.3. Competitividad relativa

La competitividad de la industria depende de la localización, la cual influye no sólo en el crecimiento sino también en los costes relativos de los factores de producción. El cuadro 9 presenta los resultados del tiempo en días para alcanzar las tallas comerciales e índice de conversión de alimento, generados por el modelo bioeconómico, donde los procesos biológicos en Canarias se reducen respecto al Mediterráneo.

Los elevados costes de los insumos productivos hacen que la producción única de talla selecta en Canarias no resulte viable en ausencia de subvención a los costes de comercialización. El VPN positivo surge sólo a partir de una subvención de 100 ptas./kg. Incluso con una subvención total a los costes de comercialización, los valores de la TIR resultaron menores que en el Mediterráneo, debido a los mayores costes de los factores de producción, que tienen un origen peninsular.

CUADRO 9

Resultados técnico-biológicos generados por el modelo bioeconómico.
Se asume un racionamiento del 100%

Escenario	Talla	Peso final (g)	Días de cultivo	*IC
Canarias	Selecta	400	334	1,82
	Super	700	530	2,04
Mediterráneo	Selecta	400	418	2,23
	Super	700	915	2,7

*IC = Índice de conversión de alimento.

La figura 6 muestra la evolución de la rentabilidad (TIR) ante variaciones de los costes de los insumos y de comercialización, considerando el tamaño de granja óptimo de 48.000 m³ y producción única de talla selecta. Reduciendo cada coste al nivel del Mediterráneo (-30% en alevines, -8% en pienso y -66% comercialización), la rentabilidad (TIR) mejoraría sustancialmente. Con los costes actuales en Canarias se genera una tasa TIR menor que la tasa de descuento utilizada (6%), pero con reducciones de los costes de los insumos (alevines o pienso) o de comercialización en torno a un 5%, se genera una rentabilidad superior a dicha tasa, siendo la reducción del coste de los alevines la que mayor incremento de rentabilidad ofrece seguida por la de comercialización y la del pienso.

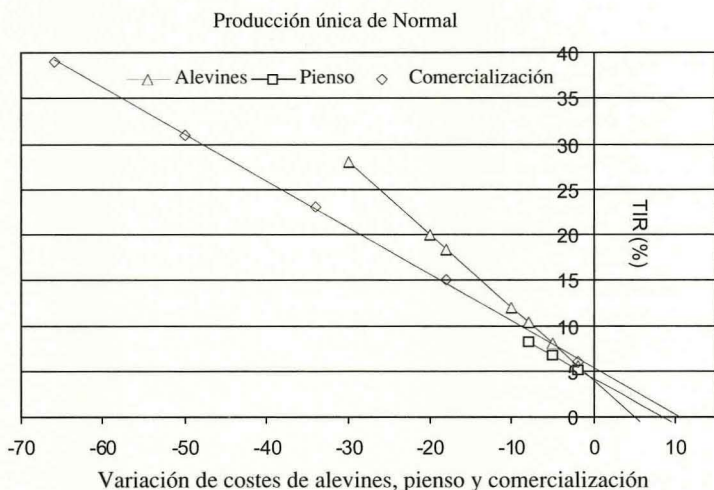


Figura 6. Sensibilidad de la tasa interna de rendimiento (TIR).
(Producción de talla selecta en Canarias)

La producción de tallas superiores a selecta en Canarias ofrece mayor competitividad frente al Mediterráneo. El modelo bioeconómico obtiene que la producción de talla super en el Mediterráneo llevaría 30 meses de engorde, mientras que este perio-

do se reduce a casi la mitad en Canarias, con un índice de conversión generado de 2,04 para la ración máxima. La figura 7 presenta los resultados de la TIR ante variaciones de los costes considerando el escenario de la producción conjunta de las tallas selecta y super para una planta de 48.000 m³.

Se puede observar el amplio intervalo en el que, con incrementos de los costes de los insumos (alevines y pienso) y comercialización, se consigue mantener valores de TIR viables comercialmente. Aún con incrementos de los costes de alevines, pienso o comercialización en más de 100%, el modelo bioeconómico generó una rentabilidad aceptable, a diferencia del escenario de producción única de talla selecta. La viabilidad económico-empresarial alcanza su límite inferior cuando, aisladamente, el incremento del coste de los alevines alcanza el 120%, el del pienso alrededor de 150% y el de comercialización más del 129%.

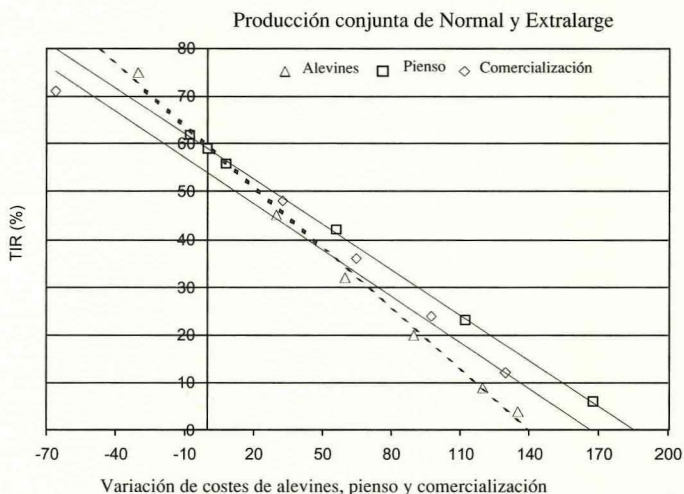


Figura 7. Sensibilidad de la tasa interna de rendimiento (TIR).
(Producción conjunta de tallas selecta y super en Canarias)

4. Conclusiones

La acuicultura es una industria en expansión en España, que presenta oportunidades de inversión con altas rentabilidades relativas. La competitividad de la empresa acuícola depende del producto ofrecido y de los parámetros técnico-económico-ambientales que influyen de forma sistémica en los resultados financieros. En este trabajo se ha utilizado la dinámica de sistemas para representar la interacción de las decisiones de producción de dorada, observando la sensibilidad de los resultados a la capacidad de planta y a los parámetros de gestión. Los escenarios de localización geográfica de la producción (Canarias o el Mediterráneo) se han definido de acuerdo a los parámetros ambientales que influyen en el crecimiento. El modelo bioeconómi-

co ha sido empíricamente contrastado con datos tanto técnicos como económicos obtenidos en el cultivo de esta especie en las aguas de Canarias.

Los resultados obtenidos muestran la existencia de economías de escala en esta industria en las dos áreas geográficas estudiadas, como se desprende del decrecimiento de los costes medios a largo plazo y de la evolución al alza de la tasa interna de rendimiento con el aumento de la capacidad de producción. De esta manera, se pudo aproximar el rango en el que se situaría el tamaño de granja eficiente desde el punto de vista de la rentabilidad financiera, teniendo en cuenta las diferentes tallas finales que se presentan en el mercado.

Las características ambientales de Canarias proporcionan oportunidades para una alta competitividad con respecto a la producción del Mediterráneo. Estas oportunidades se derivan de las condiciones naturales de la temperatura del agua, que favorece un crecimiento más rápido de la biomasa. La comparación de los resultados económicos de la producción conjunta de las tallas selecta y super en Canarias, con la producción de la talla selecta en el Mediterráneo, revela unas altas diferencias en rentabilidad. Los beneficios netos anuales resultaron siempre menores en el Mediterráneo para todos los tamaños de granja estudiados. El estimador del rendimiento generado para las diferentes escalas de granja bajo el escenario de Canarias sobrepasa en más del doble al obtenido en el Mediterráneo. A pesar de los altos costes relativos de los insumos de alimentación y alevines en Canarias, la ventaja competitiva surge al considerar una gestión que incluya la talla super, la cual no es viable en las aguas del Mediterráneo, debido a los altos costes incurridos en su producción.

Anexo

Los datos observados del crecimiento de dorada provienen de experimentos realizados en diez jaulas flotantes durante un período de 30 meses, de junio de 1994 a Diciembre de 1996. Estos datos fueron contrastados con los resultados de la simulación del modelo biológico, estableciendo las mismas condiciones de partida que los datos reales. Se llevaron a cabo tests estadísticos de contraste, siguiendo los propuestos por Sterman (1984) y Barlas (1989). El cuadro A.1 presenta el coeficiente R^2 , la raíz del error cuadrático medio (RECM) y el coeficiente de desigualdad de Theil para cada muestra. Los resultados son satisfactorios para las muestras que cuentan con un número de observaciones relativamente alto. Los resultados del coeficiente de desigualdad de Theil presentan en estos casos valores por debajo de 0,20, lo que nos permite respaldar la validez del modelo.

Con el objeto de hallar las fuentes del error cometido en el modelo con respecto a los datos reales, el error cuadrático medio se ha desagregado en tres componentes. Así, componentes bajos en el sesgo y la varianza indicarían que los errores no son sistemáticos (Sterman 1984). En el cuadro A.1 se observa que estos errores se acumulan para las muestras de más datos en la tercera componente, aunque la componente de varianza también es relativamente alta. Esto pudiera ser debido a desajustes en los parámetros relativos a la función de temperatura, tomados de trabajos relativos a otras especies, como Muller-Feuga (1990).

CUADRO A1

Comparación de los resultados simulados con las muestras observadas (M1, ..., M10)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Observaciones	11	23	10	7	10	5	17	10	12	10
R ²	0,93	0,77	0,89	0,00	0,94	0,00	0,88	0,05	0,85	0,45
Raíz del Error										
Cuadrático Medio	5,14	6,46	7,09	2,97	7,94	1,27	7,04	4,12	22,01	9,17
Coefficiente de Theil	0,09	0,16	0,11	0,25	0,11	0,10	0,19	0,29	0,16	0,18
Sesgo (U ^M)	0,10	0,00	0,05	0,02	0,10	0,32	0,05	0,00	0,00	0,02
Varianza (U ^S)	0,38	0,02	0,41	0,41	0,61	0,26	0,68	0,86	0,24	0,27
Covarianza (U ^C)	0,52	0,98	0,54	0,57	0,29	0,42	0,27	0,14	0,76	0,71

Bibliografía

- Abouhala, A. (1995). «L'élevage de la dorade et du loup dans la lagune de Nador (Maroc)». *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, **14**:91-96.
- Barnabé, G. (1991). *Acuicultura*, vol. II. Omega, España, 1.099 págs.
- Barlas, Y. (1989). «Multiple test for validation of system dynamics type of simulation models». *European Journal of Operational Research* **42**:59-87.
- Bjorndal, T. (1990). *The Economics of Salmon Aquaculture*. Blackwell, Oxford.
- Blakstad, F.; Fagerholt, A.F. y Lisac, D. (1996). «Cost of bass and bream production: comparisons between land based and cage facilities». En: *Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects*. Verona, Italy, October **16-18**:245-48.
- Bosch, D.J. y Shabman, L.A. (1990). «Simulation modeling to set priorities for research in oyster production». *American Journal of Agricultural Economics*, **72**:371-381.
- Brett, J.R. (1979). «Environmental factors and growth». En: *Fish Physiology VIII*. W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett, Eds. Academic press, London. 599-675.
- Cacho, O.J. (1990). «Protein and fat dynamics in fish. A bioenergetic model applied to aquaculture». *Ecological Modelling*, **50**:33-56.
- Cho, C.Y.; Slinger, S.L., y Bayley, H.S. (1982). «Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity». *Com. Biochem. Physiol.*, **73B**:25-41.
- Datsolopoulos, A. (1996). «Contemporary methodology of marketing at the development of aquaculture». *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, **17**:195-201.
- De la Pomelie, C. (1995). «L'élevage du bar et de la daurade en France: viabilité économique des systèmes de production». *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, **14**:79-89.
- Ginés, R. (1997). «Posibilidades de manipulación del fotoperíodo durante el engorde intensivo de dorada (*Sparus aurata*)». Memoria de Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 171 págs.
- Hatch, U.; Hanson, T.R.; Kim, M.K., y Lovell, R.T. (1998). «Economic analysis overwinter feeding regimes for channel catfish (*Ictalurus punctuatus*)». *Aquaculture Economics and Management*, **2**(3):141-150.
- Hidalgo, F. y Sierra M.A. (1993). «Modelización del crecimiento de dorada (*Sparus aurata*) en condiciones de cría intensiva». *Actas IV Congreso Nac. Acuicultura (España)*: 115-19.
- Hogendoorn, H., Jansen, J.A.J., Koops, W.J., Machiels, M.A.M., Emijkvan, P.H., Hees van P.J. (1993). Growth and production of the african catfish, *Clarias Lazera* (C&V), II. Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture, *Aquaculture*, **34**:265-285.

- Jordan, L.R. (1996). «Strategies to foster the marketing of aquaculture products developed by Spanish producers». *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, **17**:171-79.
- Lemarie, G.; Gasset, E.; Cam, D. y De la Fonchais, E. (1992). «Modelisation de la consommation en oxygene du loup (*Dicentrarchus labrax* L.) et de la daurade (*Sparus aurata* L.)». *Ichthyophysiological Acta*, **15**:55-68.
- Leung, P.S. y Shang, Y.C. (1989). «Modeling prawn production management system: A dynamic markov decision approach». *Agricultural Systems*, **29**:5-20.
- Logan, S.H.; Johnston, W.E. y Doroshov, S.I. (1995). «Economics of joint production of sturgeon (*Acipenser transmontanus*) and row caviar». *Aquaculture*, **130**:299-316.
- Mistiaen, J.A. and Strand, I. (1999). «Optimal feeding and harvest time for fish weight-dependent prices». *Marine Resource Economics*, **13**:231-246.
- Molina, D.L.; López, C.G.; Vergara, J.M., y Robaina, R.L. (1997). «A comparative study of sediments under a marine cage farm at Gran Canaria Island (Spain)». En: *Martinique 97 - Island Aquaculture and Tropical Aquaculture*. May 4-9.
- Muller-Feuga, A. (1990). «Modélisation de la croissance des poissons en élevage». *Rapports Scientifiques Et Techniques De L'IFREMER* 21.
- Porter, C.B.; Krom, M.D. y Gordin, H. (1986). «The effect of water quality on the growth of *Sparus aurata* in Marine Fish Ponds». *Aquaculture*, **59**:299-315.
- Ravagnan, G. (1984). «L'élevage du loup et de la daurade en valliculture». En: *L'Aquaculture Du Bar Et Des Sparidés*. G. Barnabé et R. Billard Eds.. INRA Publ., Paris: 435-46.
- Rizzo, G. y Spagnolo, M. (1996). «A model for optimal management of Sea Bass *Dicentrarchus labrax* aquaculture». *Marine Resource Economics*, **11**:267-86.
- Sahin, M. (1995). «Sea bass & bream in floating cages in Turkey». *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, **14**:57-63.
- Shang, Y.C. (1990). «Aquaculture economic analysis»: *An introduction. Advances in World Aquaculture*, Volumen 2. Baton Rouge, The World Aquaculture Society.
- Sparre, P. (1977). «A markovian decision process applied to optimization of production planning in fish farming». *Meddr. Danm. Fisk.-og Havunders*, **7**:111-197.
- Stauffer, G.D. (1973). «A growth model for salmonids reared in hatchery environments». Ph. D. Thesis, Univ. of Washington, Seattle.
- Stephanis, J. (1995). «Economic viability of production systems seabass/seabream in Greece (industrial scale)». *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes*, **14**:65-77.
- Sterman, J.D. (1984). «Appropriate summary statistics for evaluating the historic fit for the system dynamic models». *Dynamica* **10**(2):51-66.

RESUMEN: La acuicultura es una industria en continua expansión, representando una alternativa a los limitados recursos pesqueros. En este trabajo se desarrolla un modelo bioeconómico para la producción de dorada, la cual es una de las especies con mayor potencial de mercado. El modelo incorpora un sub-modelo biológico de crecimiento, que relaciona el crecimiento del pez con su peso, la ración alimentaria, y la temperatura. Los factores aleatorios entran a formar parte del modelo a través de la temperatura y el precio de mercado. Se utiliza la metodología de la dinámica de sistemas para representar la evolución temporal de las relaciones biológicas y económicas. Dado que la localización de la empresa determina los factores ambientales y, por tanto, influye significativamente en los resultados, el modelo se utiliza para analizar el impacto de dos escenarios alternativos: el Mediterráneo y Canarias. Como principal conclusión, se obtiene que la competitividad en Canarias depende de la producción de la talla super de 750 g, la cual no es viable en aguas del Mediterráneo debido a los altos costes incurridos. También se obtienen rendimientos de escala crecientes, así como el tamaño de planta eficiente para la empresa representativa.

PALABRAS CLAVE: *Acuicultura, bioeconomía, dorada, localización, sistemas dinámicos.*

SUMMARY: Aquaculture is an expanding industry, which represents an alternative to the limited fishing resources. This paper develops a bioeconomic model for the production of gilthead seabream, a species with large market potential. The model is based on a biological growth submodel, where fish growth is related to fish weight, ration size, and temperature. Random factors are introduced through the functions for temperature and market price. A dynamic system methodology is utilised for analysing the temporal evolution of the biological and economic relationships. Since plant localisation is determined by environmental factors, and therefore has an influence on firm returns, the model is utilised for evaluating the impact of two alternative scenarios: the Mediterranean and the Canary Islands. As a main conclusion, it is obtained that competitiveness in the Canaries depends on the production of 750 g. extralarge size, which is not profitable in the Mediterranean sea due to large costs. The results also show increasing returns to scale, and the efficient plant capacity for the representative firm.

KEY WORDS: Aquaculture, bioeconomics, dynamic systems, gilthead seabream, localisation.
