UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

TESIS DOCTORAL

ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD DE LAS EMPRESAS DE ACUICULTURA. APLICACIONES EMPÍRICAS AL CULTIVO DE LA DORADA (*SPARUS AURATA*) Y LA LUBINA (*DICENTRARCHUS LABRAX*)

Autor: D. Ignacio Llorente García

Director: Dr. D. Ladislao Luna Sotorrío

Santander, Mayo de 2013

UNIVERSITY OF CANTABRIA

FACULTY OF ECONOMICS AND BUSINESS STUDIES

DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

DOCTORAL THESIS

COMPETITIVENESS ANALYSIS OF AQUACULTURE COMPANIES. EMPIRICAL APPLICATIONS TO SEABREAM (*SPARUS AURATA*) AND SEABASS (*DICENTRARCHUS LABRAX*) CULTIVATION

Author: D. Ignacio Llorente García

Director: Dr. Ladislao Luna Sotorrío

Santander, May 2013

ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD DE LAS EMPRESAS DE ACUICULTURA. APLICACIONES EMPÍRICAS AL CULTIVO DE LA DORADA (*SPARUS AURATA*) Y LA LUBINA (*DICENTRARCHUS LABRAX*)

Memoria de tesis presentada para optar al título de Doctor en Administración de Empresas por la Universidad de Cantabria

Autor: D. Ignacio Llorente García

Director: Dr. D. Ladislao Luna Sotorrío

Programa Oficial de Postgrado en Administración de Empresas

Grupo de investigación en Gestión Económica para el Desarrollo Sostenible del Sector Primario

Departamento de Administración de Empresas

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Universidad de Cantabria

Mayo de 2013

A María

(*por el tiempo que no la he dedicado*)

A mis padres

(*por todo lo que me han dado*)

“*Nadie sabe de lo que es capaz hasta que lo intenta*”

Publilio Siro

(*85 a. C. - 43 a. C.*)

“*No man knows what he is capable of until he has tried*”

Charles John Huffam Dickens

(*7 Febrero 1812 - 9 Junio 1870*)

AGRADECIMIENTOS

A través de estas líneas quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que a lo largo de estos años han prestado su ayuda y apoyo para que esta Tesis Doctoral se llevara a cabo.

Mis primeras palabras de agradecimiento son para mi director de tesis, Dr. Ladislao Luna Sotorrío, por haber confiado en mí desde el primer momento y por su inestimable apoyo a lo largo de estos años. No olvidaré la oportunidad que su decisión ha supuesto para el inicio de mi carrera profesional.

A los integrantes del Grupo de Investigación en Gestión Económica para el Desarrollo Sostenible del Sector Primario, del cual formo parte, por los comentarios, orientaciones y sugerencias realizados en la lectura de mi trabajo de investigación, y cuyas aportaciones han mejorado notablemente el contenido de esta tesis. Debo realizar una mención especial, al Dr. José Luis Fernández Sánchez, por los consejos recibidos desde el inicio de mis investigaciones, al Dr. Ángel Cobo, por su gran ayuda con los métodos de optimización, y al Dr. José Manuel Fernández Polanco, que además de su amistad, puso a mi disposición su enorme conocimiento sobre la acuicultura, y me facilitó y apoyó de manera incondicional en mi andadura profesional en el ámbito internacional. A María y Elisa, compañeras de estudios desde mis primeros pasos en la Universidad, y que nunca llegarán a imaginar lo que su carácter alegre y optimista me ha ayudado a superar los malos momentos durante este periodo en el que hemos compartido tanto tiempo juntos. No tengo recuerdo de mis años de doctorando del que no formen parte, y por todas las experiencias y momentos que vivimos juntos quiero que sientan como suyo este trabajo que yo firmo.

A la Universidad de Cantabria, y en particular, al Departamento de Administración de Empresas por la ayuda recibida durante estos años. A todos sus integrantes, y en especial, a los miembros del área de Organización de Empresas por su buena disposición a ayudarme siempre que acudí a ellos.

A la Secretaría General de Pesca del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, por la información suministrada sobre las empresas de acuicultura. A

Puertos del Estado, por facilitar los datos de su red de boyas oceanográficas y meteorológicas.

Al Dr. Gunnar Paulsen Knapp, director y profesor de economía del *Institute of Social and Economic Research* de la *University of Alaska Anchorage* y al Dr. Madan Dey, profesor de economía y marketing acuícola en la *University of Arkansas at Pine Bluff*, quienes a través de la lectura crítica de mi trabajo contribuyeron a la mejora del mismo. A los miembros del *Centre for the Economics and Management of Aquatic Resources* (*CEMARE*) de la *Portsmouth Business School* de la *University of Portsmouth*, a quienes agradezco todo el tiempo que me dedicaron y los conocimientos que compartieron durante mi estancia de investigación en su centro. Quiero realizar una mención especial a su director, Dr. Trond Bjorndal, quien no solo me dedicó parte de su valioso tiempo, sino que me aconsejó y orientó sobre el camino a seguir para mejorar la utilidad de mi investigación. A todos ellos, por hacerme sentir como en mi propia casa, gracias.

De una forma especial, a mi familia y amigos, que siempre han sabido respetar y comprender mis ausencias y nunca me han reprochado el tiempo que no les he dedicado y que se merecían. A mi esposa, que por estar realizando su tesis doctoral ha sabido comprenderme mejor que nadie, a pesar de que por ese mismo motivo ha sido la persona a quién más tiempo he robado. Su compañía diaria me ha proporcionado los ánimos necesarios y ha conseguido que en ningún momento dudara en seguir adelante. Sin su ayuda, apoyo y compresión no habría sido posible este trabajo. A mis padres, quienes deben saber que esta Tesis Doctoral, al igual que cualquier logro pasado y futuro, ha sido posible gracias a los sacrificios y esfuerzos que durante tantos años han realizado para que pudiera convertirme en la persona que soy hoy día, algo por lo que les estaré eternamente agradecidos. A mi hermano, que siempre ha confiado en mí y comprendido mis ausencias.

A todos ellos reitero mi más sincero agradecimiento y pido disculpas por los errores y omisiones cometidos, de los cuales soy sin duda, el único responsable.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 23

1.1. Presentación de la investigación 25
1.2. Justificación del trabajo 26
1.3. Estructura de la Tesis Doctoral 28
1.4. Research overview 30
1.5. Research justification 32
1.6. Doctoral Thesis structure 34

CAPÍTULO II. CULTIVO DE DORADA Y LUBINA 37

2.1. Introducción 39
2.2. Origen y desarrollo de la acuicultura 40
2.2.1. El desarrollo de la acuicultura en el mundo 40
2.2.2. El desarrollo de la acuicultura en España 45
2.3. Evolución de la producción de pescado 49
2.3.1. La producción de pescado en el mundo 49
2.3.2. La producción de pescado en Europa 53
2.3.3. La producción de pescado en España 55
2.4. El sector de la acuicultura en España 58
2.5. El sector de la piscicultura marina en España 69
2.6. La producción acuícola de dorada 76
2.6.1. Biología y hábitat de la dorada 77
2.6.2. Proceso de cultivo de la dorada de acuicultura 80
2.6.3. La producción de dorada en el mundo 83
2.6.4. La producción de dorada en España 86
2.7. La producción acuícola de lubina 90
2.7.1. Biología y hábitat de la lubina 91
2.7.2. Proceso de cultivo de la lubina de acuicultura 92
2.7.3. La producción de lubina en el mundo 96
2.7.4. La producción de lubina en España 98
2.8. Conclusiones 101

CAPÍTULO III. FACTORES DETERMINANTES DE LA COMPETITIVIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN ACUÍCOLA 105

3.1. Introducción. 107
3.2. La competitividad empresarial 110
3.2.1. Concepto 110
3.2.2. Factores de competitividad empresarial 113
3.2.2.1. Factores macroeconómicos 113
3.2.2.2. Factores sectoriales o industriales 114
3.2.2.3. Factores internos 115
3.3. Factores de competitividad de la producción acuícola 121
3.3.1. Factores biológicos 122
3.3.2. Factores técnicos 127
3.3.3. Factores medioambientales 131
3.3.4. Factores económicos y de organización empresarial 135
3.3.5. Modelos bioeconómicos. 140
3.4. Conclusiones. 155

CAPÍTULO IV. APLICACIONES EMPÍRICAS AL ANÁLISIS DE LA COMPETITIVIDAD EN EL PROCESO DE CULTIVO DE LAS EMPRESAS DE DORADA Y LUBINA 161

4.1. Introducción 163
4.2. Modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina. Aplicación empírica a la cría de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) en España 166
4.2.1. Introducción 166
4.2.2. Marco teórico 167
4.2.3. Modelo e hipótesis 171
4.2.4. Materiales y métodos 174
4.2.4.1. Población y obtención de los datos 174
4.2.4.2. Métodos de contraste 175
4.2.4.3. Medición de las variables 177
4.2.5. Resultados 178

4.2.6. Conclusiones 186
4.3. Explanatory model of the profitability of marine fish farming companies. Empirical application to the breeding of seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) in Spain (Summary in English) 189
4.3.1. Introduction 189
4.3.2. Theoretical framework 190
4.3.3. Model and hypotheses 192
4.3.4. Material and methods 193
4.3.4.1. Population and data collection 193
4.3.4.2. Methodology 193
4.3.4.3. Measurement of the variables 194
4.3.5. Results 195
4.3.6. Conclusions 197
4.4. Economic optimisation in seabream (*Sparus aurata*) aquaculture production using a Particle Swarm Optimisation algorithm 198
4.4.1. Introduction 198
4.4.2. Material and methods 201
4.4.2.1. A bioeconomic model for seabream aquaculture 201
4.4.2.2. A Particle Swarm Optimisation algorithm 207
4.4.2.3. Simulation optimization of seabream production in Spain 210
4.4.3. Results and discussion 212
4.4.3.1. Effects of environmental conditions on the firm's competitiveness 215
4.4.4. Conclusions 217
Acknowledgements 218
4.5. Optimización económica de la producción acuícola de dorada (*Sparus aurata*) utilizando un algoritmo de optimización de enjambre de partículas (Versión en español) 219
4.5.1. Introducción 219
4.5.2. Materiales y métodos 222
4.5.2.1. Modelo bioeconómico para el cultivo de dorada 223
4.5.2.2. El algoritmo de enjambre de partículas 229

4.5.2.3. Simulación de la optimización de la producción de dorada en España 233
4.5.3. Resultados y discusión 234
4.5.3.1. Efectos de las condiciones medioambientales en la competitividad empresarial 238
4.5.4. Conclusiones 240
Agradecimientos 241
4.6. The competitive advantages arising from different environmental conditions in seabream, *Sparus aurata*, production in the Mediterranean Sea 242
4.6.1. Introduction 242
4.6.2. Materials and methods 245
4.6.2.1. The bioeconomic model 245
4.6.2.2. Particle Swarm Optimization algorithm for aquaculture production 249
4.6.2.3. Production data and algorithm parameters 252
4.6.3. Results and discussion 253
4.6.3.1. Optimal seabream production in the western Mediterranean 253
4.6.3.2. Optimal seabream production in the eastern Mediterranean 254
4.6.3.3. Influence of the average water temperature in competitiveness 254
4.6.3.4. Influence of the water temperature variability in competitiveness 259
4.6.4. Conclusions 261
Acknowledgments 263
4.7. Análisis de las ventajas competitivas generadas por las diferentes condiciones medioambientales en la producción de dorada (*Sparus aurata*) en el mar Mediterráneo (Versión en español) 264
4.7.1. Introducción 264
4.7.2. Materiales y métodos 267
4.7.2.1. El modelo bioeconómico 267
4.7.2.2. Algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO) para la producción de dorada 272

4.7.2.3. Datos de producción y parámetros del algoritmo 275
4.7.3. Resultados y discusión 276
4.7.3.1. Producción optima de dorada en el oeste del mar Mediterráneo 278
4.7.3.2. Producción optima de dorada en el este del mar Mediterráneo 278
4.7.3.3. Influencia de la temperatura media del agua en la competitividad 279
4.7.3.4. Influencia de la variabilidad de la temperatura del agua en la competitividad 282
4.7.4. Conclusiones 285
Agradecimientos 286

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN . 287

5.1. Conclusiones relativas a la evolución y estado actual del cultivo de dorada y lubina 289
5.2. Conclusiones relativas a los factores determinantes de la competitividad de los procesos de producción en acuicultura 291
5.3. Conclusiones relativas a los factores explicativos de la rentabilidad de las empresas de cultivo de dorada y lubina 292
5.4. Conclusiones relativas a la optimización económica del cultivo de dorada 293
5.5. Conclusiones relativas a la existencia de ventajas competitivas derivadas de las condiciones medioambientales en el cultivo de dorada en el mar Mediterráneo 295
5.6. Limitaciones de la investigación 297
5.7. Futuras líneas de investigación 298
5.8. Conclusions concerning the evolution and current state of seabass and seabream farming 302
5.9. Conclusions concerning determinants of competitiveness of production processes in aquaculture 304
5.10. Conclusions concerning explanatory factors of the profitability of seabream and seabass farming 305

5.11. Conclusions concerning the economic optimization of seabream.....306
5.12. Conclusions concerning the existence of competitive advantages derived from the environmental conditions when farming seabream in the Mediterranean Sea 307
5.13. Limitations of research 309
5.14. Future lines of research..... 310

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 313

APÉNDICE A 375

APÉNDICE B..... 379

APÉNDICE C..... 383

ÍNDICE DE TABLAS..... 387

ÍNDICE DE FIGURAS 393

CAPÍTULO I

Introducción

1.1. Presentación de la investigación

En la actualidad, la comunidad internacional se enfrenta a diversos retos, entre ellos, satisfacer las necesidades relacionadas con la alimentación de una creciente población mundial. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2012), en los últimos 50 años, el suministro de productos pesqueros para el consumo humano ha experimentado un crecimiento mayor que el de la población mundial, y se espera que para el próximo decenio, la producción total de la pesca y la acuicultura superará la de carne de vacuno, porcino y aves de corral.

La pesca es un recurso finito que en las últimas décadas se ha visto sometido a niveles de explotación que en muchos casos han puesto en peligro su continuidad. El desarrollo de la acuicultura a escala industrial desde comienzos de la década de los 80 ha proporcionado una fuente alternativa de suministro de productos pesqueros. El control de la reproducción y cría de peces de forma intensiva ha supuesto un avance al posibilitar una oferta continua y estable de pescado. Por todo lo anterior, la acuicultura ha sido señalada por la FAO como la actividad económica que permitirá la conservación de los recursos pesqueros y al mismo tiempo satisfacer el crecimiento de la demanda mundial de alimentos (FAO, 2010, 2011).

A pesar del apoyo de las instituciones públicas y de la fuerte inversión privada realizada, el rápido desarrollo de la acuicultura ha estado marcado por la falta de gobernanza y planificación de la actividad, lo que ha dado lugar a problemas medioambientales, sociales y económicos que han señalado a la sostenibilidad como uno de los aspectos claves para su futuro. El número de especies cultivadas a escala industrial y las cantidades producidas han aumentado significativamente en un periodo de tiempo relativamente corto. El incremento de los niveles de producción y la aparición de especies sustitutivas se ha traducido en un aumento de la competencia en los mercados. En muchos casos el crecimiento más rápido de la oferta que de la demanda ha dado lugar a situaciones de sobreoferta, que han puesto en riesgo la sostenibilidad económica de la actividad de muchas empresas. Ante la disminución de los precios de venta provocada por el incremento de la competencia, es clave la capacidad de las empresas para incrementar la eficiencia de sus procesos de cultivo, de manera que puedan seguir ofreciendo la misma calidad, haciendo uso de una menor cantidad de recursos productivos.

En los primeros años de cultivo de una especie en acuicultura los avances y mejoras en el ámbito biológico y técnico son esenciales para estandarizar el proceso de reproducción y cría, introducir mejoras técnicas e incrementar la productividad. Con el paso del tiempo, el conocimiento y la tecnología se universalizan, lo que dificulta el incremento de la eficiencia a través de mejoras en los procesos técnico-biológicos. En este punto, es necesario el desarrollo y la mejora de las técnicas de gestión de los procesos de cultivo, con el objetivo de seguir incrementando la productividad de los mismos. Sin embargo, esta tarea no resulta fácil debido a la dificultad que supone la gestión de una actividad como la acuicultura en la que influyen un gran número de factores. A la hora de tomar decisiones sobre el proceso de cultivo, los gestores deben considerar factores económicos, biológicos, técnicos y medioambientales, sobre muchos de los cuales no tienen capacidad de influencia.

Por todo lo anterior, el contexto actual de las empresas de acuicultura hace apropiado y útil el desarrollo de líneas de investigación encaminadas al análisis y mejora de la competitividad de los procesos de cultivo acuícolas desde una perspectiva de gestión empresarial.

1.2. Justificación del trabajo

El estudio de la competitividad empresarial está justificado por su influencia sobre la generación de riqueza de la actividad económica y empresarial. Desde los trabajos iniciales de Porter sobre la competitividad sectorial (Porter, 1979 y Porter, 1980), se ha señalado a la productividad como el factor clave en la gestión de recursos escasos y finitos.

La generación de riqueza en un sector industrial depende del grado de competitividad de sus empresas. Una revisión de la literatura previa permite identificar la existencia aún en la actualidad de un debate en torno a cómo debe medirse la competitividad de las empresas y cuáles son los factores que la determinan (Sirikrai, 2006).

En primer lugar, las teorías de gestión estratégica proponen medir la competitividad a través del rendimiento financiero de las empresas. Respecto a los factores que la determinan, son dos las principales teorías de gestión estratégica que explican por qué las empresas obtienen diferentes rendimientos financieros de su

actividad (Hoskisson et al., 1999). Por un lado, la organización industrial señala a factores externos o de mercado como los determinantes de la competitividad. La rentabilidad de un sector industrial en particular depende de cinco fuerzas de mercado como son; el poder de negociación de los compradores, el poder de negociación de los proveedores, la amenaza de nuevos competidores, la amenaza de productos sustitutivos y la competencia actual en el sector (Porter, 1998). Por el otro, la visión de la empresa basada en los recursos afirma que los recursos y las capacidades de la empresa son los factores que más afectan a la rentabilidad empresarial (Wernerfelt, 1984). En este caso se entiende por recursos al conjunto de activos tangibles e intangibles, así como las habilidades, que son valiosos y no son sustituibles o que no pueden ser fácilmente imitables (Barney et al., 2001).

En segundo lugar, las teorías sobre gestión de operaciones señalan a los procesos de producción como una importante fuente de ventajas competitivas. La gestión de operaciones afecta a la competitividad de las empresas a través del desarrollo e implementación de estrategias operativas, que consisten en un conjunto de decisiones para la explotación eficiente de sus recursos y el aprovechamiento de las oportunidades de mercado (Lowson, 2003). El presente trabajo aborda la competitividad de las empresas acuícolas desde la perspectiva de la gestión de operaciones, con el objetivo de identificar cuáles de los factores que inciden sobre el proceso de producción acuícola afectan en mayor medida a la competitividad del mismo.

A pesar del reconocimiento de la importancia de la competitividad en la economía actual, la mayoría de los estudios realizados son de naturaleza descriptiva, identificando una serie de factores que inciden sobre la misma y señalando un conjunto de posibles indicadores para su medición y seguimiento. Tradicionalmente, los trabajos sobre competitividad son de carácter nacional, regional o sectorial, lo que implica un elevado número de aspectos y variables a considerar, con la consiguiente dificultad que presenta la medición y el acceso a la información de las mismas. Dicha complejidad supone una limitación y es la causa de que la mayoría de las investigaciones no aborden la manera de poner en práctica las medidas que proponen para mejorar la competitividad.

El ámbito de la acuicultura no es una excepción. La mayoría de los estudios de competitividad son de carácter sectorial y se centran en la identificación de los factores que inciden sobre la rentabilidad de las empresas acuícolas, y en el planteamiento de indicadores y metodologías para su medición. Sin embargo, las aportaciones más

importantes a la mejora de la competitividad en este sector de actividad han tenido por objetivo incrementar la eficiencia de los procesos de producción, con el fin de reducir los costes operacionales e incrementar la productividad (Bjørndal, 2004). A partir de los trabajos de Bjørndal (1988) y Arnason (1992), los modelos de investigación operativa han sido claves para el desarrollo de mejoras en las prácticas de gestión. El presente trabajo de investigación aporta novedades metodológicas en el ámbito de la investigación operativa en acuicultura que contribuyen a la mejora de la competitividad.

Las aplicaciones empíricas realizadas se centran en el cultivo de la dorada (*Sparus aurata*) y la lubina (*Dicentrarchus labrax*), considerando que son las dos especies más importantes en la producción de peces en España, uno de los principales países consumidores de pescado en Europa. En los últimos años, el incremento de la oferta procedente de otros países mediterráneos como Grecia y Turquía ha aumentado la competencia en el mercado. La disminución del rendimiento económico de las empresas productoras, sugiere la existencia de un problema de competitividad que impide a las empresas españolas reducir sus costes de producción e incrementar la productividad para adaptarse a la nueva situación de competencia en los mercados. Por ello, parece apropiado y útil para las empresas de cultivo de dorada y lubina en España, el desarrollo de investigaciones encaminadas a identificar los factores determinantes de la competitividad de su proceso productivo, y que contribuyan a la mejora de su eficiencia.

1.3. Estructura de la Tesis Doctoral

Esta tesis doctoral está organizada en cinco capítulos, cuyo contenido se describe a continuación. Tras este primer capítulo, el segundo capítulo contiene una descripción del cultivo de dorada y lubina en España. Después de una breve introducción sobre la evolución y el estado actual de la producción acuícola, la información se centra en describir el sector acuícola español, su capacidad productiva y la evolución de la producción. A continuación, se aporta información más detallada sobre el proceso de cultivo de las dos especies objeto de estudio, y sobre la evolución de su producción.

El tercer capítulo tiene por objetivo identificar los principales factores que determinan la competitividad de los procesos de cultivo en la acuicultura a través de una revisión de literatura científica. Tras una breve introducción sobre el concepto de competitividad empresarial y las diferentes aproximaciones y modelos utilizados para su medición, se presentan los factores más influyentes en la producción acuícola en cada

uno de los ámbitos de conocimiento que influyen sobre la misma. Dada la variedad de especies, sistemas de cultivo y áreas geográficas involucradas en la acuicultura y la inmensa cantidad de estudios y trabajos académicos y científicos que han generado, la revisión bibliográfica se centra en el cultivo de las especies objeto de estudio en este trabajo de investigación, es decir, la dorada y la lubina.

El cuarto capítulo contiene tres aplicaciones empíricas independientes, enmarcadas en una línea de investigación sobre la competitividad de las empresas acuícolas. Los tres trabajos se presentan con una estructura de artículo científico y su lectura y compresión se puede hacer de forma independiente al resto del estudio. El primero de los trabajos propone un modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de cultivo de dorada y lubina en España. El objetivo del mismo es identificar los principales factores que inciden sobre el rendimiento económico de estas empresas. Los trabajos previos que analizaron la rentabilidad de estas empresas sólo consideraron la influencia de factores económicos y empresariales. La principal aportación de este estudio es la inclusión de factores biológicos, técnicos y medioambientales en la explicación de la rentabilidad. Los resultados muestran que en la actualidad, la creación de valor en esta actividad es fundamentalmente un problema económico que requiere la mejora de las prácticas de gestión. Este estudio está publicado en el volumen 12 (2) de la revista científica *Economía Agraria y Recursos Naturales*, indexada en el segundo cuartil (posición 25) del índice de impacto *In-Recs Economía*, así como en *Scopus*, *Econlit*, y *Latindex*, entre otros. En función de las conclusiones de este primer trabajo, se desarrolla una segunda aplicación empírica que tiene por objetivo la optimización económica del cultivo de dorada a través de la determinación de las estrategias de producción que maximicen los beneficios presentes del proceso de cultivo. Para la simulación del proceso de cultivo se utiliza un modelo bioeconómico de engorde de dorada. Este modelo considera una producción multi-lote, lo que permite superar el problema de la rotación planteado por Bjørndal (1988) y que ha supuesto una limitación en otros trabajos sobre dorada como el de Hernández et al. (2003). Para la optimización de estas estrategias se utiliza un algoritmo de enjambre de partículas no aplicado con anterioridad a la acuicultura. El trabajo resultante de esta investigación se encuentra en proceso de evaluación en la revista *Aquaculture Economics and Management*, publicación científica de referencia mundial en el ámbito de la economía de la acuicultura. Tanto el primer estudio como el segundo concluyen que las condiciones

medioambientales influyen significativamente sobre la rentabilidad de la actividad. Estos resultados son coherentes con los de Gasca-Leyva et al. (2002), quienes concluyeron que las condiciones medioambientales proporcionan una ventaja competitiva a los productores de dorada ubicados en las Islas Canarias frente a los establecidos en la costa mediterránea española. Por ello, se desarrolla un tercer trabajo que analiza la influencia de las diferentes condiciones medioambientales a lo largo del área mediterránea sobre las estrategias de cultivo de dorada y sobre el resultado económico de las mismas. El objetivo es analizar la posible existencia de ventajas competitivas derivadas de las condiciones medioambientales, y en caso afirmativo, determinar cómo están afectando a la competitividad de las empresas españolas y de sus principales competidores en el mar Mediterráneo. En esta ocasión, se utiliza la misma metodología de simulación que en el segundo estudio. Este trabajo está aceptado y pendiente de publicación en la revista *Journal of the World Aquaculture Society*, indexada en el *ISI Journal Citation Reports, Sciencie Edition*, y cuyo factor de impacto en los últimos cinco años (Ranking: 2011) es de 1,103.

El quinto y último capítulo resume las principales conclusiones obtenidas a partir de las investigaciones realizadas, y presenta las principales líneas de investigación a desarrollar en un futuro para superar las limitaciones del presente trabajo y mejorar la competitividad de los procesos de producción en la acuicultura.

1.4. Research overview

At present, the international community faces many challenges, including needs related to feeding a growing world population. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2012), in the last 50 years, the growth of the supply of fishery products for human consumption has been greater than the growth of world population, and it is expected that in the next decade, the total production of fisheries and aquaculture will overtake the beef, pork and poultry production.

Fisheries is a finite resource that in recent decades has been subjected to exploitation levels that in many cases have put at risk its sustainability. The development of industrial-scale aquaculture since the early 80's has provided an alternative source of fish products. The control of fish reproduction and breeding has been a significant progress since it allows a continuous and stable supply of fish. Given the above, aquaculture has been identified by the FAO as the economic activity that will

allow the conservation of fisheries resources while at the same time it will meet the growing global demand for food (FAO, 2010). Despite the support of public institutions and the strong private investment that has been made, the rapid development of aquaculture has been marked in many cases by a lack of governance and planning of the activity. This has caused environmental, social and economic problems that have identified sustainability as one of the keys of the future of aquaculture. The number of species cultivated on an industrial scale and the quantities produced have increased significantly in a relatively short period of time. Increased production levels and the emergence of alternative species have resulted in an increased competition at markets. In many cases the fastest growth in supply than in demand has led to oversupply situations that have put at risk the economic sustainability of the activity of many companies. Faced with declining sales prices caused by increased competition, it is essential the ability of the companies to increase the efficiency of their farming processes, so that they can continue to offer the same quality, using less amount of resources.

In the first years of cultivation of a species in aquaculture, developments and improvements in the biological and technical area are essential to standardize the reproduction and breeding process, develop technical improvements and increase productivity. After a certain length of time, knowledge and technology become universal, making it difficult to increase efficiency through improvements in technical and biological areas. At this point, it is necessary the development and improvement of the management techniques at the cultivation processes, with the aim of further increasing productivity thereof. However, this aim is not easy to achieve because of the high complexity of an animal breeding activity, in which a huge number of factors influence. When making decisions about the cultivation process, managers should consider economic, biological, technical and environmental factors, on many of which they have no possibility to influence.

Given the above, the current context of aquaculture companies makes appropriate and useful the development of research lines focused on the analysis and improvement of the competitiveness of cultivation processes from a business perspective.

1.5. Research justification

The study of business competitiveness is justified by its influence on the creation of wealth. Since the initial works of Porter on competitiveness (Porter, 1979 and Porter, 1980), productivity has been noted as the key factor in the management of scarce and finite resources. The creation of wealth in a particular industry depends on the competitiveness of their companies. A review of previous literature allows to identify that even today there is still a debate among different disciplines regarding to how the competitiveness of companies should be measured and what factors affect their competitiveness (Sirikrai, 2006).

According to Sirikrai (2006), strategic management school tends to measure competitiveness through corporate financial performance. Regarding the determinants of competitiveness, there are two main strategic management theories that explain why firms obtain different financial performances of their activity (Hoskisson et al., 1999). On the one hand, industrial organization points market factors as the determinants of competitiveness. Porter (1998) explains how the profitability of a particular industry depends on five forces such as; threat of new entrants, threat of substitute products, rivalry among competitors, bargaining power of suppliers and power of buyers. On the other hand, the resource-based view of the firm asserts that the resources and capabilities of the companies are the factors that affect profitability (Wernerfelt, 1984). In this case, the term "resources" refers to tangible and intangible assets and also skills that are valuable and cannot be replaced or that cannot be easily imitated (Barney et al., 2001).

Unlike these two theories of management strategy, the operations management discipline refers to the production process as an important source of competitive advantages (Sirikrai, 2006). Operations management affects the competitiveness of companies through the development and implementation of operational strategies, which consist of a set of decisions for the efficient exploitation of their resources and market opportunities (Lowson, 2003). This paper addresses the competitiveness of aquaculture companies from the perspective of operations management, in order to identify which of the factors that influence the aquaculture production process are affecting its competitiveness.

Despite recognition of the importance of competitiveness in current economy, most studies are descriptive in nature, identifying a number of factors affecting competitiveness and pointing to a possible set of indicators for measuring and monitoring. Traditionally, works on competitiveness have national, regional or sectorial approaches, involving a large number of issues and variables to consider, with the consequent difficulty of access to the information. This complexity is a limitation and is the main cause whereby most of the researches do not consider how to implement the measures proposed for better competitiveness.

The field of aquaculture it is not an exception. Most of the competitiveness studies develop a sectorial approach, and are focused on identifying the factors that influence the profitability of aquaculture companies, and on the definition of indicators and methodologies for its measurement. However, the most important contributions related to improving competitiveness in this sector are intended to increase the efficiency of production processes, in order to reduce operational costs and increase productivity (Bjørndal et al., 2004). From the works developed by Bjørndal (1988) and Arnason (1992), operations research models have been a key element to the improvement of the management practices. In this work, methodological developments in the field of operations research in aquaculture are carried out, contributing to improved competitiveness.

The empirical applications conducted in this work are focused on the cultivation of seabream (*Sparus aurata*) and seabass (*Dicentrarchus labrax*) in Spain. Currently, seabream and seabass are the two most important species of fish farming in Spain. In recent years, increased supply from other Mediterranean countries such as Greece and Turkey has increased competition in the market. The decline in the economic performance of the seabream and seabass companies suggests the existence of a competitiveness problem that prevents Spanish companies from reduce their production costs and increase their productivity in order to adapt themselves to the new situation of competition at markets. Therefore, it seems appropriate and useful for Spanish seabream and seabass companies the development of research with the aim of identifying the determinant factors of their competitiveness at production process, and contributing to improved efficiency.

1.6. Doctoral Thesis structure

This Doctoral Thesis is organized into five chapters whose contents are described below. After this first chapter, the second chapter contains a description of the seabass and seabream aquaculture in Spain. After a brief introduction about the evolution and current status of fish production in the world and in Spain, the information focuses on describing the Spanish aquaculture, its productive capacity and the evolution and current status of the production. Then, it is provided more detailed information on the cultivation process of seabream and seabass and the evolution of its production.

The third chapter aims to identify the main factors that determine the competitiveness of farming processes in aquaculture through a review of scientific literature. After a brief introduction to the concept of business competitiveness and the different approaches and models used for its measurement, the most influential factors in each of the areas of knowledge that influence in aquaculture production are presented. Given the variety of species, farming systems and geographical areas involved in aquaculture and the vast amount of studies and scientific papers that they have generated, the literature review focuses on the cultivation of the species studied in this research i.e., seabream and seabass.

The fourth chapter contains three independent empirical applications, framed in a research line on the competitiveness of aquaculture companies. Therefore, the three research works are presented with a structure of scientific paper, so their reading can be done independently from the rest of the study. The first study proposes a model to explain the profitability of marine fish farming companies, with an empirical application to the breeding of seabream and seabass in Spain. The objective is to identify the main factors affecting the economic performance of these companies. Previous studies that analyzed the profitability of these companies only considered accounting information. The main contribution of this study is the consideration of biological, environmental and technical issues in explaining profitability of these companies. The results show that at present, the creation of value in this activity is primarily an economic problem that requires improved management practices. This study is published in volume 12 (2) of the *Journal in Agricultural and Resource Economics,* indexed in the second quartile (position 25) in the impact index *In-Recs-Economy*, and also in *Scopus, Econlit*, and *Latindex*, among others. Based on the

findings of this first paper, it is developed a second empirical application that aims the economic optimization of seabream cultivation by determining production strategies that maximize the present operational profits of the cultivation process. For the simulation of the cultivation process, a bioeconomic model of seabream fattening is used. This model considers a multi-batch production, which overcomes the rotation problem raised by Bjørndal (1988) which has been a limitation in other studies on seabream (Hernández et al., 2003). For optimization of the production strategies, a particle swarm algorithm was used, which has not been previously applied to aquaculture. This work is under revision in the journal of *Aquaculture Economics and Management*, a scientific publication considered as a world reference in the field of aquaculture economics. Both studies conclude that environmental conditions have a significant impact on the profitability of the activity. These results are consistent with those of Gasca-Leyva et al. (2002), who concluded that environmental conditions provide competitive advantages to seabream producers located in the Canary Islands, with respect to those located in the Spanish Mediterranean coast. Therefore, it is developed a third work to analyze the influence of the different environmental conditions along the Mediterranean Sea on the seabream production strategies and the economic performance of the same. The objective is to analyze the possible existence of competitive advantages arising from environmental conditions, and if so, determine how they are affecting to the competitiveness of Spanish companies and their main competitors in the Mediterranean Sea. In this third study it is applied the same methodology as in the second study. This work is accepted (not yet published) in the *Journal of the World Aquaculture Society*, that is indexed in the *ISI Journal Citation Reports, Science Edition*, and whose impact factor in the last five years (Rank: 2011) is 1.103.

The fifth and final chapter summarizes the main conclusions from the research, and presents the main future lines of research that will help to overcome the limitations of the present study and improve the competitiveness of the production process in aquaculture.

CAPÍTULO II

El cultivo de dorada y lubina

2.1. Introducción

La producción acuícola ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos treinta años y se ha posicionado como la alternativa para satisfacer la creciente demanda mundial de productos pesqueros. El aumento del consumo de proteínas en los países subdesarrollados y en vías de desarrollo ha provocado que el crecimiento de la demanda de productos pesqueros haya sido superior al incremento de la población. El suministro de pescado a través de la pesca extractiva ha alcanzado un límite como resultado de la sobreexplotación de los caladeros que se ha situado en torno a los noventa millones de toneladas. En este contexto, ha sido el aumento del suministro de productos de origen acuícola lo que ha permitido satisfacer la creciente demanda mundial de pescado.

En un sector en el que tradicionalmente la demanda ha sido satisfecha con un recurso finito como es la pesca, la acuicultura representa una gran oportunidad de establecer un suministro continuo y ordenado de producto que, bajo una adecuada planificación, estabilice los precios en los mercados y reduzca el impacto de la actividad humana sobre el medioambiente.

En la actualidad, la distribución de la producción acuícola alrededor del mundo está cambiando. Con el paso de los años, los primeros países en desarrollar esta actividad han visto las consecuencias económicas y medioambientales de un crecimiento incontrolado de la producción. Las políticas de gobernanza desarrolladas por los países desarrollados han supuesto en la mayoría de los casos un freno al crecimiento de la producción con el objetivo de alcanzar un nivel de actividad sostenible, tanto en el terreno medioambiental como en el económico. Por el contrario, el desarrollo económico en los países en vías de desarrollo ha permitido un crecimiento significativo de sus producciones nacionales de acuicultura. Gran parte de esta producción, especialmente la correspondiente a las especies de mayor valor, se exporta a los países desarrollados donde los productos se comercializan a precios más altos.

Este primer capítulo pretende proporcionar una descripción de la importancia y del estado actual de la acuicultura tanto a nivel global como en el caso de España, prestando especial atención al cultivo de dorada y lubina. Con este objetivo, tras exponer el origen y evolución de la acuicultura a lo largo de la historia, se describe brevemente el papel que ha desempeñado hasta la fecha en la oferta de productos

pesqueros tanto a nivel mundial, como a nivel europeo y español. A continuación, se analiza la evolución y el estado actual del sector acuícola español. Finalmente, se describe el cultivo de dorada y lubina y se analiza la evolución de su producción.

2.2. Origen y desarrollo de la acuicultura

Este apartado recoge los principales hitos y acontecimientos históricos relacionados con el origen y la evolución de la acuicultura a lo largo de la historia. En un primer sub-apartado se explica el desarrollo de la acuicultura desde un punto de vista global. Un segundo apartado recoge los principales acontecimientos relacionados con la acuicultura que han ocurrido a lo largo de la historia en territorio del actual Estado español. Los objetivos de esta sección son dos; en primer lugar evidenciar que la cría de animales acuáticos en cautividad no es una actividad nueva, sino que se conoce y practica desde hace varios miles de años; y en segundo lugar, evidenciar las diferencias entre el lento avance de las técnicas extensivas durante los últimos 4.000 años y el rápido avance de las técnicas intensivas a lo largo de las pasadas cuatro décadas, en lo que comúnmente se ha denominado como *Revolución Azul*.

La acuicultura moderna todavía está en una etapa de desarrollo temprano. Mientras que la agricultura comercial se ha desarrollado durante siglos, la acuicultura moderna a escala comercial tiene poco más de 40 años de vida, y el desarrollo de nuevas tecnologías, nuevas razas y especies de peces domesticados hacen esperar que la citada *Revolución Azul* sea comparable a la *Revolución Verde* del pasado siglo (The Economist, 2003).

2.2.1. El desarrollo de la acuicultura en el mundo

Los orígenes de la acuicultura son previos al periodo histórico, y la forma en que éstos han tenido lugar se infiere a partir de restos arqueológicos. Sin embargo, la acuicultura es probablemente tan antigua como la ganadería o la agricultura (Fernández-Polanco, 2012). El desarrollo de la acuicultura ha estado condicionado por los avances científicos y tecnológicos de las sociedades, lo que explica su retraso con respecto a la ganadería o la agricultura por desarrollarse en un medio hostil para el hombre como es el agua. Bien sea por un hallazgo fortuito, o a consecuencia de un proceso de observación, el cultivo de especies acuáticas ya era conocido y empleado con distintas

finalidades en el origen de los antiguos imperios, y existen evidencias de su aparición en diferentes áreas del planeta entre las que no había comunicación.

En la actualidad, existen cuatro grandes líneas teóricas que explican los posibles orígenes de la acuicultura, las condiciones que facilitaron o forzaron su aparición y los motivos que impulsaron el interés por su desarrollo (Fernández-Polanco, 2012). Tres de estas teorías tienen su origen en aguas continentales y una de ellas está relacionada con el cultivo en aguas marinas (Rabanal, 1988). Las *teorías del meandro y la concentración* argumentan la aparición del cultivo de peces en las áreas monzónicas donde la alternancia de épocas de lluvia y sequía creaba estanques y lagunas naturales en la época de crecida de las aguas, en los que se quedaban atrapados peces cuando se retiraban las aguas. Con el paso del tiempo, y tras largos procesos de observación y de prueba y error, el hombre habría aprendido a mejorar estos estanques naturales, habría llevado a cabo la repoblación de los mismos con especímenes capturados en la actividad pesquera, e incluso habría aplicado la selección de especies. Esta teoría es coherente con la aparición del cultivo de peces en aquellas regiones con grandes variaciones estacionales en el régimen de lluvias, como pueden ser el sudeste asiático y determinados valles fluviales africanos.

La *teoría de la captura y la retención* tiene su origen en los inicios del desarrollo urbano y los primeros grandes imperios de la historia. La construcción de balsas de agua como fuentes, estanques o fosos, por motivos decorativos, defensivos o de transporte de agua, propició el cultivo de peces. Estas estructuras tenían otros usos principales, si bien la creciente demanda de alimento favoreció su uso como almacenes de conservación de pesca viva. Con el tiempo la experiencia permitió identificar cuáles eran las especies que sobrevivían en este estado de cautividad y qué tipos de alimentación favorecían no solo la supervivencia, sino el engorde de los individuos, apareciendo así la especialización y el aumento de la eficiencia en el cultivo de especies acuáticas. Este pudo ser el caso de Egipto, Grecia y con posterioridad el imperio Romano.

Finalmente, la *teoría de la trampa y el cultivo* trata de explicar el origen de la acuicultura marina. Al igual que las crecidas de los ríos en las regiones tropicales generaban estanques naturales de agua dulce, las mareas también inundaban regiones lagunares en las zonas costeras. Las poblaciones pesqueras debieron darse cuenta del potencial de estas áreas para la pesca una vez que se han retirado las aguas con la bajamar. Dado el corto periodo de tiempo entre mareas, los pescadores se vieron

obligados a construir infraestructuras y trampas en las zonas lagunares que impidieran que los peces volvieran a mar abierto. El interés de estos pobladores por este tipo de actividad radicaba en el menor esfuerzo y en la mayor seguridad que representaba la pesca en las lagunas en comparación con la pesca en mar abierto.

Siguiendo a Fernández-Polanco (2012), según las referencias históricas y arqueológicas, las primeras actividades de cultivo de peces de las que se tiene constancia fueron desarrolladas hace alrededor de 4.000 mil años por agricultores chinos, quienes comenzaron a cultivar peces en estanques. En la actualidad, existen referencias de cultivo de carpa en China, Egipto, Babilonia, Grecia, Roma y otras culturas euroasiáticas y americanas. El hecho histórico que aporta la primera referencia escrita sobre técnicas de cultivo lo constituye el texto sobre técnicas de cultivo de carpa (*Ciprinius carpio*), escrito por el funcionario chino Fan Li en el año 475 a.C. Este documento revolucionó la práctica del cultivo de peces al transmitir las técnicas que permitían la reproducción en cautividad en un momento en el que el cultivo consistía en el trasvase de individuos jóvenes desde el medio natural a los estanques para su posterior engorde. Tras este documento el cultivo de la carpa se extendió por China y otras áreas del mundo. Su contenido estuvo vigente hasta los inicios de la edad media, periodo en el que nuevas investigaciones desarrollaron el conocimiento descrito por Fan Li.

Otra gran civilización de la antigüedad en la que hay constancia de actividades acuícolas es Egipto. En esta región del planeta se diversificó el cultivo a otras especies como la tilapia (*Orechromis niloticus*) y se extendió el consumo de pescado entre la población. Las principales referencias al cultivo en esta época se encuentran en frescos y jeroglíficos, como los relieves sobre el cultivo de tilapia pertenecientes al imperio medio (2052-1786 a.C.) hallados en una de las necrópolis de Tebas. Las escasas referencias escritas deben buscarse en autores griegos, incluso en el Antiguo Testamento (Isaías 19:10) “porque todas sus redes serán rotas; y se entristecerán todos los que hacen viveros para peces”.

La extensión de estas prácticas por el área mediterránea dio origen al desarrollo y mejora del cultivo en cautividad de peces en la antigua Grecia. Aristóteles, Hipócrates y Galeno son un ejemplo de autores griegos que abordaron y dejaron escritos relacionados con los beneficios de los moluscos para la salud y la nutrición, la determinación de la mejor localización para el cultivo de ostras, la construcción de estanques de cultivo, la

selección de especies o la nutrición más apropiada para los especímenes en cautividad. Fue posteriormente en el imperio romano donde se desarrollaron los primeros intentos de explotación a gran escala con ánimo de lucro. Plinio el viejo narra en el libro IX de su *Historia Natural* el caso del ingeniero Sergio Orata, que desarrolló el primer policultivo a escala industrial y con fines comerciales en las lagunas del lago Lucrino. Pretendía satisfacer la demanda de marisco de la aristocracia romana y para ello comercializó el primer producto acuícola con denominación de origen al vender sus ostras como las más sabrosas del mundo por el lugar del cual éstas procedían. Posteriormente, y dado el éxito de Sergio Orata, otros personajes como Herrrio, Murena o Lúculo, invirtieron en el cultivo de peces y mariscos, no consiguiendo en todos los casos los beneficios y la fortuna esperados.

En occidente, el desarrollo de la acuicultura se frenó durante la Edad Media, periodo en el que esta actividad se limitaba al cultivo de truchas y carpas en monasterios y abadías, aprovechando estanques alimentados por cauces fluviales. Así, existen registros del cultivo de carpa en monasterios durante el imperio de Carlo-Magno (768-814 d.C.), con el fin de satisfacer la demanda de pescado en áreas interiores donde el acceso a este alimento era más difícil. Entre los siglos XII y XIV se consolidó la producción en el centro de Europa mediante la mejora de las técnicas de reproducción y los sistemas de cultivo. Sin embargo, diferentes registros evidencian que el cultivo no solo se limitó al centro de Europa y que también fue desarrollado en otros países como por ejemplo Reino Unido, Francia, España o los Estados Pontificios, lo que demuestra su generalización antes del renacimiento. En el aspecto técnico, los descubrimientos y mejoras comenzaron a recogerse en libros y tratados como los escritos a comienzos del siglo XV en Francia por el monje Dom Pichon sobre fecundación y cría de huevas de pescado, el publicado en 1559 por el obispo Janus Dubravius de Olmutz en el que se describe de forma general el proceso acuícola para diferentes especies como la trucha, la tenca y la carpa, o los publicados por John Taverner en 1600 y Gervaus Markham en 1613, ambos sobre la construcción y manejo de una instalación de cultivo para diferentes especies de agua dulce. El descubrimiento del continente americano por parte de los europeos reveló la existencia de prácticas acuícolas utilizadas por los indígenas en diferentes zonas del nuevo continente. Como recoge Fernández-Polanco (2012), existen evidencias de estas actividades, bien sea a través de escritos como los de Bartolomé de las Casas sobre las pequeñas instalaciones que los indígenas construían

junto a sus casas para almacenar pescado vivo, o bien a través de yacimientos arqueológicos en los grandes núcleos urbanos de México, Perú y Bolivia que muestran la existencia de instalaciones de mayor tamaño.

Desde mediados del siglo XVIII comenzaron a surgir una serie de tratados que recogían el conocimiento derivado de las primeras prácticas de investigación experimental sistematizadas. Así Sthepen Ludvig Jacobi publicó en 1763 y 1765 los procesos de fecundación artificial de huevas de trucha y de salmón. Este trabajo sentó las bases para diversos trabajos sobre reproducción publicados con posterioridad hacia 1823 en Bohemia, Italia, España, Suecia y Escocia. En 1848 Armand Quatrefages presentó el primer documento en el que se señaló a la acuicultura como una herramienta para compensar la disminución de ejemplares en la naturaleza causada por la pesca y la contaminación de las aguas, y así recuperar la naturaleza perjudicada por la acción humana. El éxito de los trabajos del profesor Jean Victor Coste, publicados en 1853 bajo el título *Instructions Practiques sur la Pisciculture*, llamó la atención del emperador Napoleón III, quien ordenó la construcción de varios parques imperiales de cultivo en la bahía de Arcachon, lugar que en la actualidad continúa siendo el principal área de producción de ostra en Francia. Fue el mismo Coste quien diseñó e impulso la construcción del primer criadero de peces en Huningue, cuyo objetivo era la repoblación de alevines en los ríos franceses. En el mismo periodo, Lord Gray, socio de una pesquería de salmón en el río Tay, en Escocia, construyó la primera *hatchery* de salmón, con el objetivo de repoblar el salmón en esa zona. Hacía finales del siglo XIX, existían experiencias de este tipo en prácticamente todos los estados europeos, y gracias a la publicación de libros y tratados, el conocimiento acumulado comenzaba a extenderse. En la segunda mitad del siglo XIX se desarrollaron con éxito las primeras experiencias de reproducción de peces al otro lado del Atlántico, tanto en agua dulce como en agua salada. En 1893, se obtuvieron con éxito en Japón las primeras perlas de cultivo, lo que aportó a la acuicultura una nueva aplicación además de la producción de alimentos y la conservación de pesquerías salvajes.

La construcción de criaderos en acuicultura marina y continental, comúnmente conocidos como *hatcheries* por su nombre en inglés, continuó su expansión a comienzos del siglo XX, principalmente como herramienta de repoblación de recursos sobreexplotados. En aquel momento la producción en Europa estaba dominada por la carpa, la trucha y los moluscos. La primera mitad del siglo XX estuvo marcada por los

conflictos mundiales, lo que no permitió realizar grandes avances en el terreno acuícola. Sin embargo, en este periodo se produjeron en Japón dos hechos clave para el posterior desarrollo de la acuicultura moderna. En primer lugar, en 1927 se inició en Japón el engorde de seriola (*Seriola lalandi*). En segundo lugar, en 1930 el investigador Motosaku Fujinaga consiguió desarrollar la cría del langostino Kuruma (*Penaeus japonicus*) en cautividad.

Tras la segunda guerra mundial, la economía global sufrió un proceso de expansión económica y se inició una tendencia creciente en la población mundial. En este contexto, y en previsión del posible agotamiento de los caladeros salvajes, la acuicultura comenzó a verse como una actividad industrial capaz de ser una fuente de alimento y proteínas a gran escala, y no solo una herramienta para la repoblación de stocks. Los avances científicos en materia de biología, reproducción, patologías, vacunación, alimentación y sistemas de cultivo atrajeron la inversión privada en previsión de la consolidación de una industria intensiva a gran escala, la cual vio ampliados todavía más aún sus mercados con la mejora de los sistemas de comunicación, transporte y de conservación de alimentos. Durante la segunda mitad del siglo XX, continuó la creciente explotación de las pesquerías salvajes, hasta que a finales de siglo el 47 por ciento de estos recursos estaban sobreexplotados (FAO, 2002). Los avances en las técnicas de cultivo, el creciente número de especies cultivadas y la precaria situación de los stocks naturales, propiciaron que la comunidad internacional señalara a la acuicultura como la única actividad capaz de satisfacer la demanda de productos pesqueros, al mismo tiempo que permitía mantener una explotación sostenible de los recursos naturales pesqueros.

2.2.2. El desarrollo de la acuicultura en España

El cultivo de peces y mariscos no es una actividad nueva en la península Ibérica. La gran extensión de terreno costero que tiene España, así como los numerosos y extensos ríos que atraviesan su territorio, aportaron las condiciones para que se desarrollara el cultivo de especies acuáticas ya en las primeras comunidades que habitaron la península (lagunas costeras, lagunas interiores, lagos, esteros etc.). Investigadores de la universidad de Cádiz localizaron en el año 2010 los restos de un vivero de ostras en Iulia Traducta (actual Algeciras) que funcionó al menos hasta el siglo V d.C. Previo a este reciente descubrimiento, la descripción más detallada sobre la

historia de la acuicultura en España fue realizada en el libro titulado *Análisis del desarrollo de los cultivos: medio, agua y especies*, primer tomo de la serie *Acuicultura: Biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial* publicada por la Fundación Alfonso Martín Escudero (FAME) en el año 2000. A continuación se mencionan los principales hitos y acontecimientos que sentaron las bases para el desarrollo industrial de la acuicultura en España en las últimas décadas del siglo XX.

Las primeras referencias escritas sobre la piscicultura en España datan del VIII Concilio de Toledo, en el año 654, en el cual se promulga el Código llamado Fuero Juzgo por el rey visigodo Recesvinto, en el cual se hace referencia a medidas de conservación y fomento de la riqueza piscícola. El primer registro sobre una instalación de cultivo de peces corresponde a la construcción en el año 1129 de un criadero de truchas en el río Sar promovido por el arzobispo de Santiago de Compostela, D. Diego Gelmírez. Los primeros avances científicos se obtienen de la mano de Mariano de la Paz Graells, quien gracias a los permisos dados por la Reina Isabel II, desarrolló una serie de trabajos experimentales en los terrenos reales del Escorial, la Casa de Campo y los Jardines de Aranjuez. Estos estudios desembocaron en la publicación en 1864 de una monografía titulada *Manual práctico de piscicultura*, y en el establecimiento en 1866 de un laboratorio ictiogénico en la Granja de San Ildefonso, el primero de su género, posteriormente cerrado durante la revolución de 1868.

Los inicios de la piscicultura desde una perspectiva empresarial en España están asociados a las especies de agua dulce. En 1882 se promulgó el primer Real Decreto sobre el desarrollo de la industria piscícola tras varias experiencias con fines comerciales en el cultivo de trucha en el Monasterio de Piedra (Aragón) y en el lago Enol (Asturias). Años más tarde el cultivo intensivo de trucha se generalizó y la piscifactoría de Riezu (Navarra), instalada en 1961, fue la primera de un gran número de instalaciones de producción que se implantaron en esa época a lo largo de la península.

En cuanto a los cultivos comerciales de peces en agua salada, tienen su origen en las antiguas zonas salineras de Andalucía y Murcia, en las que los productores fomentaban el paso de alevines de peces y crustáceos a las ensenadas, esteros y salinas, donde posteriormente los dejaban crecer hasta que alcanzaban un tamaño susceptible de comercialización. La primera referencia al fomento de estas actividades procede de una experiencia realizada en 1888 en la ría de Boo, en Cantabria. En el ámbito científico, en el año 1886, Augusto González Linares fundó el primer laboratorio marino en España,

bajo la denominación de *Estación Marítima de Zoología y Botánica Experimentales*. Este laboratorio, situado en Santander, fue la primera estación experimental del Instituto Español de Oceanografía. En 1926 se inauguró en Santoña (Cantabria) una escuela de pesca, pionera en España. En la misma línea de actuaciones científicas, en 1932 iniciaron su actividad los cursos de verano de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, a los que se incorporó la Estación biológica de Santander (Polanco, 1997). Posteriormente, el desarrollo de la piscicultura marina fue propiciado por la aparición de la inversión privada en la década de los años 40, momento en el que se inician actividades empresariales en áreas intermareales, esteros, lagunas etc. (Polanco, 1991).

Tabla 1. Evolución de la situación acuícola en España hasta la creación de las Autonomías (1981-1982). Fuente: FAME.

País Vasco	Estabulación de mariscos y angulas
Cantabria	1885 - Ostricultura 1885 - Piscicultura 1934 - Miticultura 1972 - *Hatchery* industrial
Asturias	Parques ostrícolas (Ría del Eo)
Galicia	Época Romana: Ostricultura y cetáceas 1878 - Ostricultura 1928 - Miticultura 1945 - Instalación de bateas 1972 - *Hatcheries* industriales
Andalucía	Salineros: Entrada de alevines y estabulación 1943 - Piscicultura 1978 - 1982: *Hatcheries* industriales
Murcia	Estabulación de peces 1980 - 1982: Planta de producción de langostinos y ostras
Comunidad Valenciana	1931 - Fondeo batea mejillón Engorde de angulas: anguilas
Cataluña	1900 - Miticultura 1940 - Miticultura (bateas) 1970 - Venericultura y Ostricultura
Baleares	Cultivo de moluscos Engorde de seriola
Canarias	1982 - Creación *hatchery* semiindustrial de peces

Respecto a los cultivos de crustáceos, en 1962 se desarrollaron los primeros estudios experimentales sobre langostinos (*Penaeus kerathurus*), si bien hay que esperar hasta los años 70 para que se creen empresas dedicadas a la producción de alevines a partir de puestas inducidas, tanto para crustáceos como para peces, siendo fundamentalmente tres las empresas dedicadas a esta actividad: Fisterre-Mar y Marcultura, en Galicia y Tina Menor en Cantabria.

Las condiciones naturales del litoral español, especialmente en la costa norte y en la costa atlántica de Galicia, facilitaron el cultivo de moluscos desde la época romana. Estas actividades se reactivaron como consecuencia de los experimentos realizados por Coste en Francia. En diversas zonas costeras se preparaban terrenos intermareales con el fin de aprovecharlos fundamentalmente como parques ostrícolas, como se llevó a cabo por ejemplo en Hondarribia (País Vasco) en 1863, en las bahías de Santander, San Vicente de la Barquera y Santoña a partir de 1885 o en la zona Mediterránea, concretamente en Baleares, desde mediados del siglo XIX. No obstante, es en Galicia en donde se desarrolló de una manera más intensa el cultivo de moluscos, iniciándose en 1878 los cultivos en la ría de Ortigueira (La Coruña).

El molusco que ha adquirido mayor relevancia en la acuicultura española es el mejillón. Los primeros cultivos se desarrollaron en el puerto de Barcelona a partir de 1909 a través de un sistema de cultivo suspendido en cuerdas, que con el tiempo se convertirá en las actuales bateas. La producción de mejillón en Galicia, principal zona productora en la actualidad, se inició en 1928 mientras que en Valencia no comenzó hasta 1931. Por otro lado, en Cantabria se instaló una batea en 1934, sin embargo, dados los malos resultados, se abandonó la miticultura en esta región. El gran desarrollo de la miticultura se produjo a partir de 1945, cuando se comenzó a utilizar en las rías gallegas los sistemas de bateas instalados en Barcelona. Los resultados de producción fueron tan grandes que situaron a España como principal productor de mejillón de acuicultura a nivel mundial.

Con motivo de la incorporación de España a la Comunidad Europea, se inició en 1985 un control estadístico sobre la actividad acuícola. En aquel momento, la producción en España se obtenía a través de sistemas intensivos, semi-intensivos y extensivos. Las especies que se cultivaban eran; en el caso de los peces, rodaballo, salmón, seriola, dorada, lubina, lisa, lenguado, anguila, y atún; en el caso de los moluscos, mejillón, ostra plana, ostra japonesa, vieira, almejas (diversas especies) y

escupiña; y en el caso de los crustáceos, langostino y camarón. Respecto a la fase de reproducción y cría de alevines en las *hatcheries*, en aquel momento se producían; rodaballo, dorada y lubina entre los peces; las ostras japonesa y plana y las almejas japonesa, fina y babosa entre los moluscos; y el langostino en el caso de los crustáceos (Vázquez et al., 1995).

A partir de este momento, habiéndose alcanzado la viabilidad biológica y técnica a escala industrial de la mayoría de las especies mencionadas, comenzó un proceso marcado por la aparición de un sector empresarial que decidió invertir en el desarrollo de infraestructuras para el cultivo intensivo, y que tuvo como consecuencia el incremento prácticamente exponencial de las cantidades producidas en los 20 años siguientes.

2.3. Evolución de la producción de pescado

El crecimiento de la población mundial en la segunda mitad del siglo XX y comienzos del XXI ha generado un fuerte incremento de la demanda de alimentos, entre los que se encuentran los productos pesqueros. Según el último informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) sobre el estado mundial de la pesca y la acuicultura (FAO, 2012), la pesca de captura y la acuicultura suministraron al mundo unos 148 millones de toneladas de pescado en 2010, de los cuales aproximadamente 128 millones de toneladas se destinaron al consumo humano. El crecimiento sostenido de la producción de pescado ha provocado un aumento del 3,2 por ciento anual del suministro mundial de pescado en el período 1961 - 2009, superando el incremento del 1,7 por ciento anual de la población mundial durante el mismo periodo. El suministro mundial de peces comestibles per cápita aumentó desde un promedio de 9,9 kg en la década de 1960 hasta 18,4 kg en 2009.

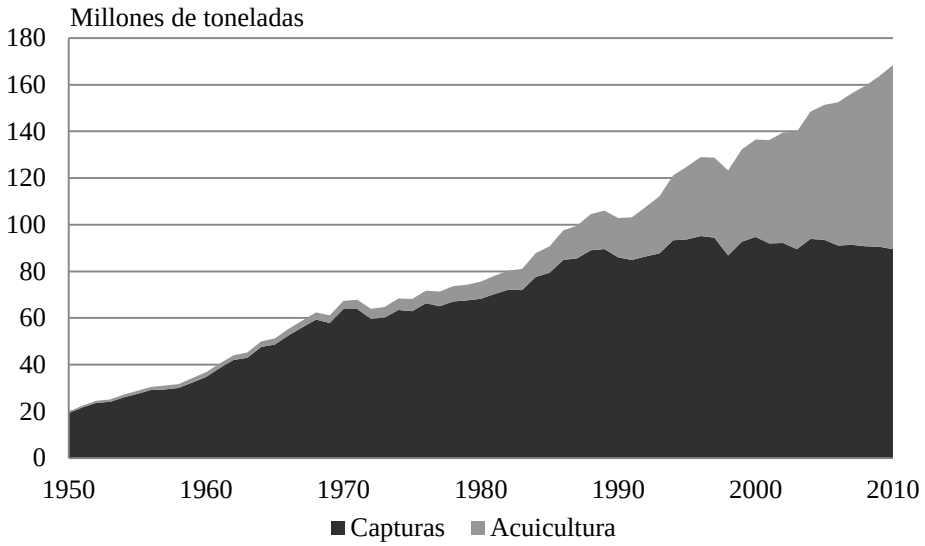
2.3.1. La producción de pescado en el mundo

El continuo crecimiento de la demanda de productos pesqueros incrementó la producción de la pesca extractiva desde los 20 millones de toneladas en los años cincuenta, hasta los 80 millones de toneladas a mediados de la década de los años ochenta (Figura 1). La presión sobre los caladeros alcanzó tal nivel, que los organismos internacionales y los diferentes estados comenzaron a tomar medidas de gobernanza para evitar su desaparición y conseguir un nivel de explotación sostenible (FAO, 2007 y

FAO, 2009). Ante el estancamiento de las capturas, tanto los organismos públicos como la inversión privada incrementaron los recursos destinados al desarrollo de las técnicas intensivas de reproducción y engorde de especies acuáticas en cautividad, con el objetivo de alcanzar un suministro continuo y estable de alimento.

En la actualidad, la acuicultura se puede definir como la cría y producción de especies acuáticas en cautividad, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y algas, que complementa a la pesca extractiva en su labor de satisfacer la demanda mundial de productos pesqueros y por ende la demanda de alimentos (Luna, 2008). La acuicultura y su explotación económica han registrado un notable crecimiento en los últimos cincuenta años (Figura 1). En el año 1970, se cultivaban en el mundo 3,5 millones toneladas de pescado, que suponían algo más del cinco por ciento de la producción mundial de pescado. En el año 2010, la cifra superó los 78 millones de toneladas, lo que representa un 47 por ciento de la producción mundial de pescado.

Figura 1. Evolución de la producción mundial de la pesca y la acuicultura. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ[1].



La mayor parte de este gran crecimiento no se produjo hasta principios de los años noventa. Entre 1970 y 1990, la producción mundial anual de cultivo creció en algo más de 13 millones de toneladas (Tabla 2). Posteriormente, la rápida evolución de las tecnologías de producción intensiva y el incremento de las políticas de regulación y control de la pesca, propiciaron la apuesta definitiva de los inversores privados por el cultivo de peces en cautividad, lo que provocó que en los últimos 20 años se produjese

[1] Toda la información de la base de datos FishstatJ procede de la última actualización en Marzo de 2012.

un aumento de la producción mundial anual de acuicultura de más de 65 millones de toneladas.

Tabla 2. Producción mundial de pescado. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

Producción	1970	1990	2000	2005	2010
Pesca (miles t)	63.863	86.008	94.770	93.540	89.504
Acuicultura (miles de t)	3.526	16.840	41.725	57.834	78.943
Total (miles de t)	67.389	102.848	136.495	151.374	168.447
Acuicultura (%)	5,23	16,37	30,56	38,20	46,87

En términos de porcentaje de cultivo sobre la producción total, el crecimiento experimentado entre el año 2005 y el año 2010 es casi el mismo que el producido entre el año 1970 y el año 1990. Este hecho da una idea de la evolución e importancia que el cultivo de pescado ha adquirido en los primeros años del siglo XXI, más si cabe aun cuando observamos que mientras que entre 1970 y 1990, las capturas mundiales de pescado aumentaron un 35 por ciento, entre los años 2005 y 2010 se produjo un descenso del cuatro por ciento. De los 79 millones de toneladas producidas en 2010, 60 millones se destinaron al consumo humano. El resto tienen como principal destino la fabricación de aceites, grasas y piensos.

Tabla 3. Producción acuícola por regiones. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

Producción[1]		1970	1990	2000	2010
África	toneladas	10.271	81.015	399.676	1.288.320
	%	0,40	0,60	1,20	2,20
Américas	toneladas	173.491	548.479	1.423.433	2.576.428
	%	6,80	4,20	4,40	4,30
Asia	toneladas	1.799.101	10.801.356	28.422.189	53.301.157
	%	70,10	82,60	87,70	89,00
Europa	toneladas	575.598	1.601.524	2.050.958	2.523.179
	%	22,40	12,20	6,30	4,20
Oceanía	toneladas	8.421	42.005	121.482	183.516
	%	0,30	0,30	0,40	0,30

[1] No se contabilizan las plantas acuáticas ni los productos no alimentarios

Atendiendo a la distribución geográfica de la producción acuícola (Tabla 3), los datos más recientes indican que en el año 2010, Asia produjo el 89 por ciento de la producción mundial. La siguiente región en importancia es Europa, que obtuvo el 4,20

por ciento del total producido. El hecho más relevante en la evolución de la distribución de la producción es el aumento de la importancia de regiones como América Latina o África del Norte, que desde 1990 hasta el año 2010 han duplicado y triplicado su producción respectivamente, en detrimento de áreas más desarrolladas como Europa o América del Norte, cuya importancia en la acuicultura mundial ha descendido a más de la mitad en el mismo periodo.

Tabla 4. Principales productores acuícolas a nivel mundial y en Europa en 2010. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

País	Mundo		País	Europa	
	toneladas[1]	porcentaje		toneladas[1]	porcentaje
China	36.734.215	61,35	Noruega	1.008.010	39,95
India	4.648.851	7,76	España	252.351	10,00
Vietnam	2.671.800	4,46	Francia	224.400	8,89
Indonesia	2.304.828	3,85	Reino Unido	201.091	7,97
Bangladesh	1.308.515	2,19	Italia	153.486	6,08
Tailandia	1.286.122	2,15	Rusia	120.384	4,77
Noruega	1.008.010	1,68	Grecia	113.486	4,50
Egipto	919.585	1,54	Países Bajos	66.945	2,65
Myanmar	850.697	1,42	Islas Feroe	47.575	1,89
Filipinas	744.695	1,24	Irlanda	46.187	1,83
Otros	7.395.281	12,35	Otros	289.264	11,46
Total	59.872.600	100	Total	2.523.179	100

[1] No se contabilizan las plantas acuáticas ni los productos no alimentarios

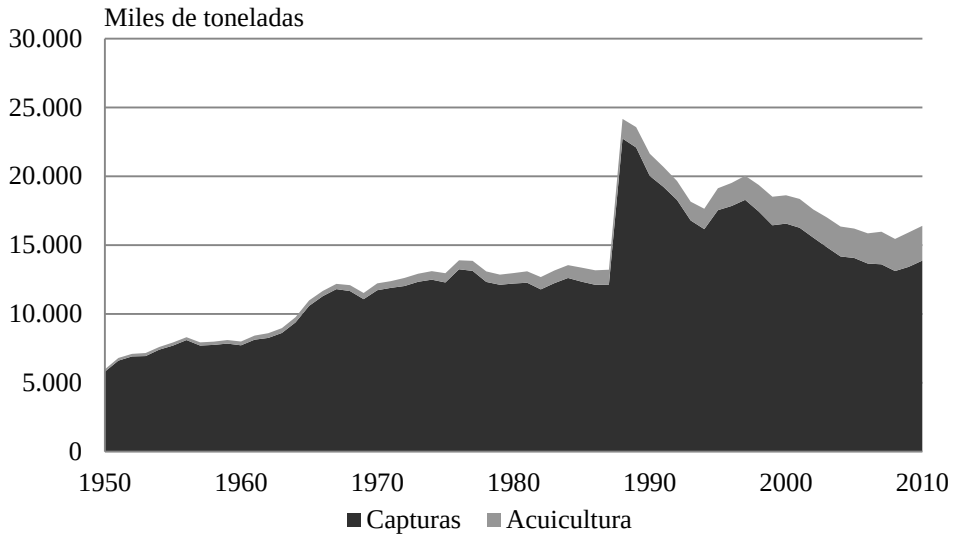
Los principales países productores a nivel mundial (Tabla 4) se localizan en Asia. Entre los diez principales productores, solo dos de ellos no pertenecen a este continente. Destaca por su importancia la producción en China, que engloba más del 60 por ciento de la producción mundial. Los cinco siguientes países en importancia, India, Vietnam, Indonesia, Bangladesh, y Tailandia se sitúan en el área del sudeste de Asia y agrupan algo más del 20 por ciento de la producción mundial. Estos países presentan unas condiciones idóneas para la acuicultura, con numerosos y extensos ríos, largas áreas costeras y climas monzónicos. Estos factores han favorecido desde hace siglos el desarrollo de prácticas acuícolas extensivas y a pequeña escala. En estas regiones el cultivo de animales acuáticos es una actividad arraigada en la sociedad que se lleva utilizando como fuente de autoabastecimiento para la alimentación durante siglos.

Precisamente el conocimiento acumulado y las condiciones climáticas han favorecido aún más el desarrollo de la acuicultura comercial.

2.3.2. La producción de pescado en Europa

Al prestar especial atención al caso europeo, se observa que la importancia de los países Europeos en la producción pesquera mundial ha sufrido una tendencia decreciente desde 1970, tanto en el componente extractivo como en el productivo. Así, desde 1970 hasta el año 2010, el peso de la producción total se ha reducido un 46 por ciento, siendo aún mayor el declive de la importancia de la acuicultura, que ha sufrido una reducción del 81 por ciento en el mismo período. Las políticas de control de la pesca y el avance de las economías emergentes han contribuido a esta situación. En los últimos 20 años, en Europa se han desarrollado políticas y legislaciones que regulan la actividad pesquera y acuícola con el objetivo de conseguir la sostenibilidad de los recursos naturales y del medioambiente. Sin embargo, existen otros países, en especial economías emergentes y países subdesarrollados, que no implementan dichas políticas de manera que los niveles de producción siguen creciendo. En muchos casos, la falta de regulación lleva consigo menores costes de producción, lo que supone una desventaja competitiva para los productores de los países desarrollados.

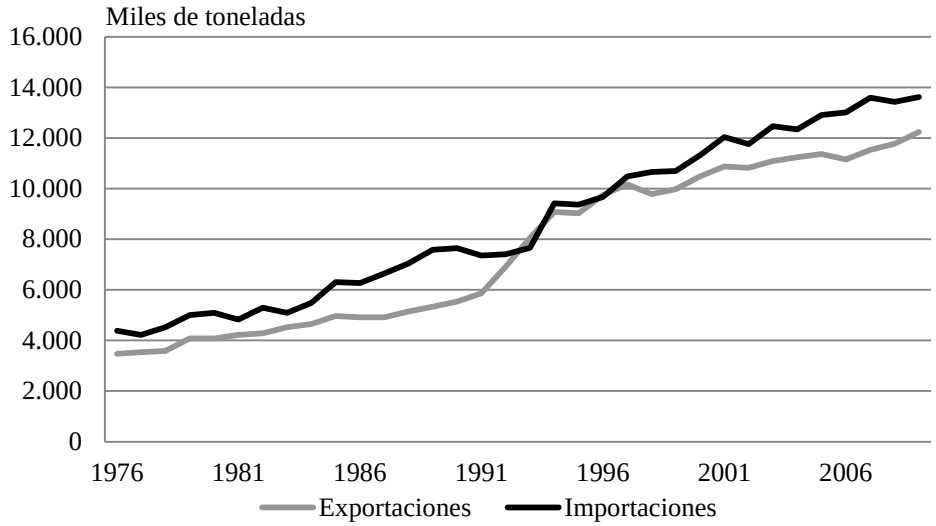
Figura 2. Evolución de la producción europea de la pesca y la acuicultura. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



A pesar de que su importancia en el conjunto de la producción global es cada vez menor, la producción pesquera europea ha seguido en los últimos veinte años la misma tendencia que la producción mundial, es decir, una progresiva reducción del número de

capturas y un fuerte crecimiento de la acuicultura. En el caso de esta última, Noruega es el primer productor con algo más de un millón de toneladas producidas en 2010. Sin embargo, si sólo consideramos la Unión Europea de los 27 países (UE-27), España es el principal productor (20 por ciento), por encima de Francia (17 por ciento), Reino Unido (16 por ciento) e Italia (12 por ciento). Según el último informe sobre estadísticas de la Agricultura, pesca y silvicultura en la UE-27 (European Commission, 2012), el nivel de producción de la acuicultura se mantuvo relativamente estable entre 1,2 millones y 1,4 millones de toneladas entre 1995 y 2010 (Figura 2). En este mismo periodo, la importancia relativa de los mayores productores ha variado. Mientras que en Francia e Italia la producción ha disminuido un 25 por ciento y un 30 por ciento respectivamente, en Reino Unido y Grecia la tendencia ha sido creciente, con unos aumentos del 115 por ciento y 270 por ciento respectivamente. Los aumentos de la producción del salmón en Escocia y de la dorada en Grecia han permitido a estos países situarse entre los principales productores europeos de acuicultura.

Figura 3. Evolución de las exportaciones e importaciones de productos pesqueros en Europa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



La reducción de la producción pesquera total en Europa no ha supuesto una disminución del consumo de productos pesqueros. Como se observa en la Figura 3, la disminución de la producción desde finales de los años noventa provocó un aumento en el déficit de la balanza comercial europea de productos pesqueros. La tendencia negativa de la producción interna provocó un mayor crecimiento proporcional de las importaciones que de las exportaciones de estos productos con el fin de satisfacer la

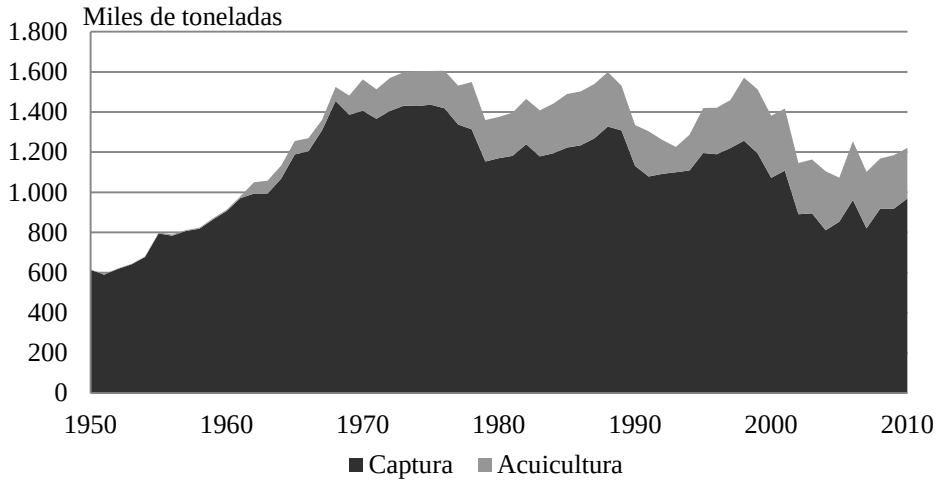
demanda interna. Es necesario destacar la existencia de una gran actividad re-exportadora, asociada en muchos casos a la transformación de alimentos.

En función de la evolución de las cifras, la producción pesquera en Europa está perdiendo importancia en el contexto internacional principalmente por dos motivos. Por un lado, la reducción de las capturas propiciada por las políticas de regulación pesquera y de control de los stocks. Por el otro, el fuerte incremento de la producción acuícola en otras áreas del mundo, principalmente, las zonas emergentes de Asía, del norte de África y de América Latina. Por lo tanto, la producción pesquera en España no es ajena a la tendencia presente en el mundo y en Europa, más aún en este último caso si consideramos que el sector español se rige por la legislación y normativa de la Unión Europea en materia de pesca y acuicultura.

2.3.3. La producción de pescado en España

El gran número de kilómetros de costa que tiene el territorio español hace de la pesca una actividad relevante no solo desde el punto de vista económico, sino desde otros ámbitos como el social, el cultural o el de la alimentación. Desde el inicio de la aplicación de los sistemas de regulación de la pesca, el sector pesquero en España ha sufrido significativas transformaciones estructurales, especialmente relacionadas con el número de buques que componen la flota. Estos cambios se observan en la evolución de las cifras de producción pesquera (Figura 4). Desde finales de los años sesenta, la pesca registra una tendencia decreciente, que se agravó a finales de la década de los noventa, y que parece haberse estabilizado a partir de 2005 entorno a las 750.000 toneladas de capturas. La producción acuícola ha mantenido una tendencia creciente desde los años cincuenta hasta fechas recientes. Sin embargo, fue durante los años setenta, ochenta y noventa cuando se produjo un crecimiento significativo de la producción gracias a los avances en las tecnologías de reproducción y cultivo. Hay que destacar en este periodo la caída de la producción registrada a finales de los años ochenta y principios de los noventa como consecuencia de una marea negra en Galicia que afectó a la producción de mejillón, principal especie de la acuicultura española. Durante la última década, la producción ha fluctuado en torno a las 250.000 toneladas.

Figura 4. Evolución de la producción española de la pesca y la acuicultura. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



La importancia de la producción pesquera española en la UE-27 se ha mantenido estable en torno al 15 por ciento del total desde 1995 (Tabla 5), mientras que la acuicultura española ha fluctuado en este periodo, con un pico de producción en el año 2000, y un nuevo repunte en los últimos años. Los dos componentes de la producción total, pesca extractiva y producción acuícola, siguen la misma tendencia en el caso español que la acontecida en el mundo y en Europa. Esto implica que las toneladas de pesca extractiva obtenidas en España han decrecido paulatinamente desde 1970, mientras que la producción acuícola ha aumentado. Desde 1995 hasta la actualidad, la importancia de la acuicultura en la producción de pescado en España ha aumentado casi un 60 por ciento hasta alcanzar en el año 2010 el 26 por ciento de la producción total.

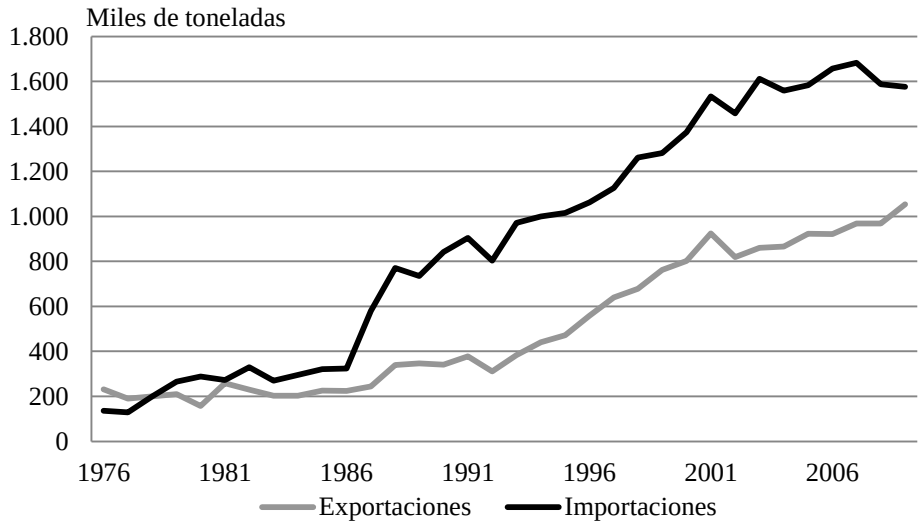
A pesar del avance de la acuicultura en los últimos 40 años, gran parte del crecimiento de esta actividad en la producción pesquera total procede de la disminución de las capturas. En la última década, el crecimiento de la producción acuícola se ha detenido tanto en la UE-27 como en España. Desde el año 2000 hasta el 2010 la producción de acuicultura en España se ha reducido en un 18 por ciento, cifra considerablemente mayor que la reducción del 10 por ciento acontecida en la producción conjunta de los socios comunitarios. En este mismo periodo, la producción pesquera española ha disminuido, al igual que la europea, más de un 25 por ciento. Por lo tanto, la evolución de la producción pesquera en los últimos años en la Unión Europea y en España, indican la existencia de una tendencia contraria a la seguida por la producción mundial, tanto en términos de producción total, como en términos de cada uno de los dos componentes, pesca extractiva y acuicultura.

Tabla 5. Importancia de la producción pesquera total, de la pesca y de la acuicultura española en la UE-27. Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos Eurostat.

	Producción	1995	2000	2005	2010
Pesca	España	1.168.911	1.066.687	767.944	738.870
	EU-27	8.070.242	6.789.271	5.641.307	4.943.780
	%	14,48	15,71	13,61	14,95
Acuicultura	España	223.965	309.035	219.367	253.784
	EU-27	1.183.643	1.398.507	1.260.590	1.259.677
	%	18,92	22,10	17,40	20,15
Producción	España	1.392.876	1.375.722	987.311	992.654
	EU-27	9.253.885	8.187.779	6.901.897	6.203.459
	%	15,05	16,80	14,30	16,00

La evolución decreciente de la producción pesquera en España contribuyó al incremento del déficit en la balanza comercial de productos pesqueros (Figura 5). A mediados de la década de los 80 se produjo un fuerte incremento de las importaciones, el cual ha continuado hasta el año 2007, momento en el que la crisis económica global ha afectado al comercio de estos productos. Durante estos años, las exportaciones de productos pesqueros también crecieron, si bien en menor medida que las importaciones, lo que provocó que el déficit comercial en la balanza comercial de estos productos fuera cada vez mayor. Los datos de comercio muestran cómo en la actualidad, la producción española de productos pesqueros no satisface la demanda nacional.

Figura 5. Evolución de las exportaciones e importaciones de productos pesqueros en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



2.4. El sector de la acuicultura en España

En la actualidad, la disminución de la pesca extractiva en España obliga a los mercados a abastecerse de producto a través de dos vías principalmente, las importaciones y el desarrollo de un sector industrial dedicado al cultivo de especies acuáticas. Como consecuencia de la evolución y los ritmos de decrecimiento de la acuicultura y la pesca extractiva, la oferta nacional apenas alcanza a cubrir un tercio de la demanda, que es satisfecha a través de las importaciones (Fernandez-Polanco et al., 2012). La segunda de las vías, la acuicultura, es más deseable en tanto en cuanto contribuye a fortalecer la estructura económica y social del país y contribuye a la activación de la economía nacional. En los últimos años, las administraciones públicas en España han apostado por esta estrategia y han apoyado fuertemente a la industria acuícola por distintas vías como la financiación de la investigación, la promoción de los productos o las subvenciones a la explotación. El desarrollo del cultivo de productos pesqueros en España ha significado la reactivación de la actividad económica en zonas donde la disminución de la pesca estaba afectando negativamente a la economía y al mismo tiempo, ha surgido como una nueva alternativa de explotación económica en otras áreas no relacionadas anteriormente con la pesca, principalmente en el caso de la acuicultura continental.

España presenta múltiples factores que a *priori* favorecen el desarrollo de la acuicultura. En el ámbito medioambiental tiene unas condiciones muy favorables al disponer casi de 8.000 km de costa con una orografía y una climatología muy diversas, lo que favorece la diversificación y el cultivo de diferentes especies. Al mismo tiempo, la tradición pesquera existente en el país pone a disposición de la industria acuícola un conjunto de industrias relacionadas con un amplia experiencia, como es el caso de las industrias conservera, de congelados, de transformación, de transporte de productos refrigerados, así como una amplia y consolidada red de comercialización de pescado fresco (Guisado, 2007). El sector español de la transformación de productos de la pesca ha fluctuado en torno a las 600 empresas en el periodo 2005-2010 (Fernandez-Polanco et al., 2012). Se trata de un sector muy atomizado, en el que las plantillas de las empresas rondan los 20 empleados, y que a finales de 2010 empleaba a 28.000 personas. Sin embargo, es una actividad económica que genera un gran valor añadido y que en los últimos tiempos ha comenzado a exportar sus productos a nuevos mercados en los que se comercializan a precios más altos que en España. Desde el punto de vista

de la demanda, a pesar de que el consumo de pescado ha disminuido en los últimos años como consecuencia de la crisis económica, España es uno de los principales consumidores de pescado en término per cápita a nivel mundial con 44,7 kg por persona y año en 2009 (Fishstat Plus, 2011) y mantiene el primer lugar en la Unión Europea en volumen de demanda.

Tradicionalmente, tres han sido las principales limitaciones para el desarrollo de la acuicultura en España. Por un lado, a pesar de la gran disponibilidad de enclaves costeros y de masas de agua continentales, la instalación de plantas de producción está totalmente sujeta a concesiones administrativas. La consideración del impacto medioambiental y la existencia de conflictos con otras actividades que se desarrollan en el mismo medio, como el turismo o la pesca deportiva, han complicado aún más en los últimos años la obtención de concesiones para la instalación de actividades de cultivo. Por otro lado, las empresas del sector suelen caracterizarse por un reducido tamaño y una estructura familiar, lo que limita aún más sus posibilidades de éxito al no alcanzar en muchos casos la escala de producción necesaria para obtener un coste medio de producción competitivo. Finalmente, estas empresas tienen mayores dificultades en el acceso a financiación. En primer lugar, en general su reducido tamaño les impide acudir a fuentes de financiación alternativas a las entidades financieras. En segundo lugar, el hecho de ejercer su actividad en una concesión administrativa limita su capacidad para avalar posibles préstamos. Además, el cultivo de animales en un medio tan adverso como el agua incrementa el riesgo de enfermedades y de mortandad, lo que aumenta la incertidumbre sobre las rentas futuras de la actividad, complicando así aún más el acceso a financiación ajena. La falta de financiación limita en muchos casos la realización de inversiones y las políticas comerciales de la empresa, situándolas en desventaja competitiva frente a otros productores de mayor tamaño que no padecen tantas limitaciones a la hora de obtener financiación.

A pesar de estas limitaciones, el apoyo institucional y el déficit de productos pesqueros han impulsado la investigación y las mejoras en el sector. Los avances en genética, técnicas de reproducción, tratamiento de patologías, sistemas de cultivo, nutrición y gestión de la actividad han propiciado un incremento de la capacidad de producción. El aumento de las cantidades producidas ha coincido con la aparición en los mercados de productos importados de terceros países, así como de nuevos productos sustitutivos. Este incremento de la oferta no ha sido asumido en todos los casos por la

demanda, generando situaciones de sobreoferta que han dado lugar a guerras de precios. Esta situación ha afectado negativamente a la rentabilidad de muchas empresas del sector, que ven cómo su producto se comercializa muchas veces a un precio que incluso llega a estar por debajo de su coste de producción. Diversas experiencias de este tipo en cultivos como la trucha, el salmón o la dorada han puesto en evidencia la necesidad de prestar mayor atención a los aspectos económicos, de organización empresarial y de mercado. La principal respuesta del sector a estas crisis de mercado ha sido la concentración empresarial (Llorente y Luna, 2012). En los últimos años se ha reducido el número de empresas si bien estás tienen un mayor tamaño que les permite la obtención de economías de escala y ser así más eficientes y competitivas frente a competidores de terceros países. Sin embargo, a día de hoy el sector acuícola español todavía presenta ciertas desventajas en términos competitivos frente a productores de otros países, y por lo tanto, las estrategias futuras deben encaminarse a incrementar la eficiencia y la competitividad de las empresas del sector.

No obstante las dificultades que el sector ha atravesado durante la pasada década, la generación de valor añadido de esta actividad ha aumentado en los últimos años, así como su aportación al valor añadido del conjunto de la economía. Como se observa en la Tabla 6, entre los años 2009 y 2011 el Valor Añadido Bruto (VAB) de la economía española creció un 0,90 por ciento. En ese mismo periodo, el VAB generado por la agricultura, la ganadería y la pesca disminuyó un seis por ciento. Sin embargo, el VAB generado por la acuicultura creció un 60 por ciento en tan solo dos años. Esta evolución positiva se ha traducido en un incremento de la aportación acuícola al valor conjunto generado por la economía del país que alcanzó en 2011 el 0,02 por ciento del total.

A pesar del contexto económico negativo en el que se encuentra la economía española en la actualidad, no solo se ha incrementado el VAB que genera la acuicultura, sino que se ha incrementado el número de empleos y la productividad de los mismos. En el año 2009, el VAB generado por ocupado de la acuicultura representaba tan solo un 69 por ciento del valor medio alcanzado por la actividad primaria y un 39 por ciento del generado como media por los ocupados en el conjunto de la economía española. Sin embargo, en tan solo dos años, el VAB por ocupado de la acuicultura supera ligeramente al valor medio alcanzando por los ocupados en el sector primario, y ya supone un 55 por ciento del dato obtenido para el total de la economía nacional. El incremento del valor de la producción acuícola tiene su origen en diversos factores,

entre otros, el cultivo de especies de mayor valor, como por ejemplo el atún, o las estrategias de valorización de los productos acuícolas, entre las que se encuentran la diferenciación de productos a través de marcas de calidad o certificaciones de carácter medioambiental, y la comercialización de productos semielaborados, como el pescado fileteado.

Tabla 6. Comparación de las principales macro-magnitudes, nacionales, agrarias y acuícolas en el periodo 2009-2011. Fuente: Encuesta Económica de Acuicultura. MAGRAMA.

Total Nacional	Año 2009	Año 2010	Año 2011 (P)
VAB pb (millones de euros) (2) (A)	1.053.914	1.062.591	1.063.355
Ocupados Total (miles de personas) (3)	18.888	18.456	18.105
VAB por ocupado (euros) (4)	55.798	57.573	58.734
Remuneración asalariados (millones de euros) (2)	516.799	508.878	508.620
A. Agricultura, ganadería y pesca			
VAB pb (millones de euros) (2) (A)	25.955	26.062	24.383
Ocupados Total (miles de personas) (3)	786	793	760
VAB por ocupado (euros) (4)	33.017	32.865	32.074
Remuneración asalariados (millones de euros) (2)	6.071	6.604	4.700
A.1.2. Acuicultura			
VAB pb sector acuicultura (millones de euros) (1)	134,27	163,13	215,34
Empleos equivalentes asalariados (miles personas) (1)	6,17	6,38	6,64
VAB sector acuicultura por empleo equivalente (euros) (1)	21.762	25.569	32.437
Remuneración asalariados (millones de euros) (1)	84,06	89,92	98,58

(1) Encuesta Económica de Acuicultura, (2) INE- Contabilidad Nacional, (3) INE- EPA, (4) Elaboración propia con datos INE, pb: precios básicos, (A) Estimación avance. (P) Provisional.

En el año 2008, la renta acuícola ascendió a casi 61 millones de euros, de los cuales un 88 por ciento proceden de la acuicultura marina. Los datos provisionales sobre los resultados económicos de la actividad acuícola en el año 2011 revelan una renta de la acuicultura que supera los 173 millones de euros, y un reparto entre acuicultura marina y continental equivalente al de 2008. A lo largo de estos años el volumen de negocio de la acuicultura se ha incrementado, si bien se ha mantenido el peso que tanto la acuicultura marina como la continental tienen sobre el total de renta generada. Sin embargo, el incremento de la renta acuícola no procede en su totalidad de un aumento en el volumen de ventas del sector. Mientras que en el periodo 2008-2011 el volumen

de ventas creció un 16 por ciento, la renta acuícola se incrementó un 185 por ciento. Esta mejora en la renta acuícola procede en gran parte de una mejora en la gestión y la eficiencia de los procesos de producción. En el año 2008 los consumos intermedios representaban casi el 80 por ciento de los ingresos por ventas, mientras que en el año 2011 esa cifra se reduce hasta el 62 por ciento. Esta reducción de costes procede en su mayor parte del coste correspondiente a los alevines y huevas adquiridos para su cría y engorde. Los últimos datos muestran cómo el sector está haciendo esfuerzos por mejorar su competitividad y sus resultados económicos a través de una mejora de la eficiencia económica en los procesos de producción.

Tabla 7. Macromagnitudes y cuenta de resultados por tipos de acuicultura. Año 2011. Unidades: Miles de euros. Fuente. Encuesta Económica de Acuicultura. MAGRAMA.

	Marina	Continental	Sector
Ingresos por Acuicultura	502.254	67.310	569.565
Valor Añadido Bruto a precios Básicos	190.410	24.933	215.343
Valor Añadido Neto a precios Básicos	151.182	20.782	171.964
Renta de la Acuicultura	152.692	20.770	173.463
Ingresos Explotación netos	526.832	71.258	598.090
Resultado de Explotación	93.039	12.995	106.034
Resultado Antes de Impuestos	82.444	12.789	95.233

La formación de los recursos humanos es un aspecto clave en un sector multidisciplinar como la acuicultura. No solo es necesario personal cualificado que intervenga en las distintas actividades y operaciones que requiere el cultivo de peces, sino que también es necesario personal especializado en la gestión y en la comercialización, el cual debe de tener cierto conocimiento general sobre la actividad que están gestionando. El sector acuícola empleó en 2011 algo más de 27 mil personas, de las que casi un 30 por ciento eran mujeres (Tabla 8). Tan solo un tres por ciento de los ocupados en acuicultura se dedican a la actividad continental. Desde 2007, el número de personas empleadas en el sector parece haberse estabilizado. Un análisis más detallado muestra cómo la tendencia en el número de personas empleadas en la acuicultura continental es negativa. Al mismo tiempo, en la acuicultura marina se ha reducido el número de mujeres empeladas, mientras que se ha incrementado el número de hombres. Es necesario prestar atención a la evolución de las Unidades de Trabajo Anuales (UTA). Aunque el número de personas empleadas se ha mantenido, el número

de UTAs se ha reducido, lo que es indicador de una disminución de la mano de obra empleada y un incremento de la temporalidad en el sector, tanto en el caso de la acuicultura marina, como en el de la continental. Esta situación puede ser generada por varios motivos como por ejemplo, un incremento de la tecnología aplicada a la actividad, el uso de personal más cualificado, o el avance de los cultivos intensivos frente a los extensivos o semi-extensivos.

Tabla 8. Empleo en acuicultura. Número de unidades de trabajo anual (UTA) y personas por tipo de acuicultura y sexo. Años 2007-2011. Fuente: Encuesta económica de acuicultura. MAGRAMA.

Acuicultura	Sexo		2007	2008	2009	2010	2011
Marina	Varones	Nº Trabajadores	16.616	17.458	19.994	19.201	19.040
		UTAs	5.018	4.457	4.283	4.456	4.408
	Mujeres	Nº Trabajadores	9.854	7.787	8.025	7.875	7.201
		UTAs	1.771	1.327	1.196	1.221	1.517
	Total	Nº Trabajadores	26.469	25.244	28.019	27.076	26.241
		UTAs	6.789	5.784	5.478	5.678	5.925
Continental	Varones	Nº Trabajadores	958	887	698	651	759
		UTAs	687	665	567	539	563
	Mujeres	Nº Trabajadores	215	191	165	180	180
		UTAs	175	159	125	160	150
	Total	Nº Trabajadores	1.174	1.078	863	831	939
		UTAs	862	824	692	699	714
Total	Varones	Nº Trabajadores	17.574	18.344	20.692	19.852	19.799
		UTAs	5.705	5.123	4.850	4.995	4.971
	Mujeres	Nº Trabajadores	10.069	7.978	8.190	8.056	7.381
		UTAs	1.946	1.485	1.321	1.381	1.668
	Total	Nº Trabajadores	27.643	26.322	28.882	27.907	27.180
		UTAs	7.650	6.608	6.170	6.377	6.639

UTA: Unidad de trabajo anual. El trabajo efectuado por una persona dedicada a tiempo completo durante un año a la actividad agraria.

Las personas empleadas en el sector acuícola en España desarrollan su actividad laboral en un conjunto de instalaciones de cultivo muy diversas. Principalmente se distinguen dos grandes grupos de instalaciones, los cultivos marinos, que se desarrollan en el mar o en zonas directamente comunicadas con este, en agua salada o salobre, y los cultivos continentales, que se desarrollan en ríos, lagos, embalses y otras masas de agua

dulce. Las instalaciones de producción en el caso de la acuicultura marina se clasifican según se localicen en tierra firme, en enclaves naturales o en el mar. Los establecimientos en tierra firme son instalaciones que utilizan la tecnología para reproducir las condiciones marinas idóneas para el cultivo de los peces. Estas instalaciones se dedican principalmente a la piscicultura de la dorada, la lubina y el rodaballo. Otro tipo de instalaciones de producción se localizan en enclaves naturales y áreas protegidas como las marismas. En estos enclaves la actividad acuícola tiene una larga tradición, en muchos casos asociada a otras actividades como las salinas. La presencia del hombre modificó en parte estas áreas naturales, creando lagos artificiales de agua salada denominados esteros en los que se extraía la sal presente en el agua marina. Ante el creciente desuso de estas instalaciones para la producción de sal, se iniciaron diversas actividades de cultivo extensivo y semi-extensivo de especies como la dorada, la lubina o el camarón. En la actualidad, la mayor parte de la acuicultura marina se desarrolla en el mar, bien sea mediante sistemas de cultivo horizontal, vertical o en jaulas. Los sistemas horizontales se realizan en el lecho marino y se emplea para la producción de moluscos. Los sistemas de cultivo verticales o en cuerda son aquellos en los que los moluscos se unen a unas cuerdas que cuelgan de algún tipo de sistema de flotación. En el caso de España los más extendidos son las bateas dedicadas al cultivo del mejillón. Finalmente, el cultivo en mar abierto se lleva a cabo mediante artefactos flotantes o sumergibles denominados jaulas, en los que se siembra y alimenta a los peces. En España, la acuicultura en jaulas se dedica a la producción de dorada y de lubina. En la actualidad, existe gran diversidad de jaulas, variando en función del tamaño, los sistemas de anclaje al fondo y de si son flotantes o sumergibles.

En el caso de la acuicultura marina es necesario diferenciar aquellos establecimientos de producción situados en las zonas intermareales, es decir, la parte del litoral situada entre los niveles de máximas y mínimas mareas. Como se observa en la Tabla 9, el principal sistema de producción en estas zonas son los cultivos horizontales. Estas áreas se destinan principalmente al cultivo de moluscos como las almejas o los berberechos. Los parques de cultivo de moluscos son divididos en parcelas a las que los productores tienen acceso en los periodos de bajamar. Respecto a la acuicultura continental, todas las instalaciones están localizadas en tierra firme, con la particularidad de que algunas de ellas están en enclaves naturales protegidos.

Tabla 9. Número de establecimientos con producción, por origen del agua y tipo de establecimiento. Fuente: Encuesta de establecimientos de acuicultura. MAGRAMA.

Origen del Agua	Tipo de Establecimiento	2009	2010	2011
De mar	En tierra firme	40	38	37
	En enclaves naturales	30	25	22
	De cultivo horizontal	61	59	54
	De cultivo vertical	3.654	3.685	3.659
	De cultivo en jaulas	72	61	47
	Total	3.857	3.868	3.819
De zona intermareal salobre	En tierra firme	1	1	1
	En enclaves naturales	8	6	10
	De cultivo horizontal	1.113	1.110	1.107
	De cultivo vertical	0	0	0
	De cultivo en jaulas	0	0	0
	Total	1.122	1.117	1.118
Total Marina		4.979	4.985	4.937
De zona continental	En tierra firme	151	147	140
	En enclaves naturales	42	35	43
	De cultivo horizontal	0	0	0
	De cultivo vertical	0	0	0
	De cultivo en jaulas	1	1	0
Total Continental		194	183	183
Total	En tierra firme	192	186	178
	En enclaves naturales	80	66	75
	De cultivo horizontal	1.174	1.169	1.161
	De cultivo vertical	3.654	3.685	3.659
	De cultivo en jaulas	73	62	47
Total Acuicultura		5.173	5.168	5.120

En los últimos años, la estructura productiva del sector acuícola español se ha mantenido estable. El total de instalaciones de producción apenas ha disminuido un uno por ciento en el periodo 2009-2011. La acuicultura marina representa el 96 por ciento de los establecimientos activos. Dentro de ésta, una parte importante de la actividad se desarrolla en las zonas intermareales. Concretamente, la producción de moluscos en estas zonas ocupó en 2011 el 22 por ciento de los establecimientos de producción. Por otro lado, los sistemas de cultivo vertical representan el 71 por ciento de las

instalaciones en los tres años analizados. La importancia del cultivo de mejillón en la acuicultura española explica el peso de las bateas. A pesar de la creciente importancia de la piscicultura marina en el conjunto de la producción acuícola española, los datos muestran una significativa reducción de las instalaciones destinadas a su cultivo. Como se observa en la Tabla 9, entre el año 2009 y el año 2011 la cifra de establecimientos de cultivo en jaulas se redujo un 35 por ciento. A pesar de que esta información parece indicar una disminución de la actividad en los últimos años, el verdadero motivo del descenso del número de instalaciones es la reestructuración que está sufriendo el sector de la piscicultura marina en los últimos años. Tras los problemas de competitividad de la pasada década, una de las respuestas ha sido la concentración empresarial. Se está produciendo una transición desde un tejido empresarial con empresas pequeñas, en posesión de pocas instalaciones de cultivo y de reducida escala, hacia un menor número de empresas más grandes, con varias instalaciones de cultivo que tienen una mayor capacidad de producción.

La estructura productiva de la acuicultura española tiene su reflejo en las cifras de producción de las diferentes especies cultivadas en España (Tabla 10). En el año 2011, la acuicultura marina en España produjo moluscos (231.335 t), peces (41.876 t) y crustáceos (140 t), así como una cantidad anecdótica de algas (2 t). El cultivo de moluscos se realiza en todo el litoral español salvo en el País Vasco, en Murcia y en las Islas Canarias. En la actualidad, existe producción de mejillón (*Mvtilus galloprovincialis*), así como de varias especies de almeja (*Ruditapes decussatus*, *Ruditapes philippinarum*) y ostra (*Crassostrea gigas*, *Ostrea edulis*). Desde los inicios del cultivo intensivo del mejillón en las rías gallegas en los años sesenta, esta especie ha sido no solo el molusco más cultivado, sino también la especie acuícola más importante en términos de cantidad producida en España. En la actualidad, el mejillón representa aproximadamente el 78 por ciento de la producción acuícola, pero solo un 25 por ciento del valor de la misma. En el caso de la piscicultura marina, las principales especies cultivadas desde los años ochenta han sido la dorada, la lubina y el rodaballo y en la actualidad alcanzan una producción de 16.033 t, 14.876 t y 6.223 t respectivamente, cantidad que representa casi el 90 por ciento del conjunto de la producción piscícola en agua salada. En el caso de la dorada, las principales áreas de producción en orden de importancia son Valencia, Murcia, Canarias, Andalucía y Cataluña. En el caso de la lubina, la producción se desarrolla en las mismas zonas, sin embargo,

Tabla 10. Producción de las principales especies de acuicultura marina y continental y las zonas en que se desarrolla. Año 2011. Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos JACUMAR.

Tipo Acuicultura	Grupo Especies	Nombre científico	Nombre Común	Producción (t)	Zona producción
Marina	Peces	*Anguilla anguilla*	Anguila europea	444,99	Andalucía y Valencia
		Argyrosomus regius	Corvina	2220,2	Andalucía, Murcia y Valencia
		Sparus aurata	Dorada	16.032,8	Andalucía, Canarias, Cataluña, Murcia y Valencia
		Dicentrarchus labrax	Lubina	14.876,05	Andalucía, Canarias, Cataluña, Galicia, Murcia, y Valencia
		Thunnus thvnnus	Atún rojo Atlántico	1.465,96	Andalucía y Murcia
		Solea solea	Lenguado común	128,19	Galicia
		Solea senegalesis	Lenguado senegalés	77,93	Andalucía, Canarias y Cantabria
		Psetta maxima	Rodaballo	6.223,3	Cantabria, Galicia y País Vasco
		Pagellus bogaraveo	Besugo	245,04	Galicia
	Moluscos	*Ruditapes decussatus*	Almeja fina	200,4	Andalucía, Cantabria, Cataluña y Galicia
		Crassostrea gigas	Ostión japonés	498,48	Andalucía, Asturias, Cantabria, Cataluña, Galicia Valencia
		Ostrea edulis	Ostra europea	749,75	Galicia y Valencia
		Mvtilus galloprovincialis	Mejillón	227.589,85	Baleares, Cataluña, Galicia y Valenciana
		Ruditapes philippinarum	Almeja japonesa	1.354,95	Andalucía, Cantabria, Cataluña y Galicia
	Crustáceos	*Penaeus japonicus*	Langostino japonés	36,01	Andalucía
		Palaemonetes varians	Camarón	103,36	Andalucía
Continental	Peces	*Oncorhvnchus mvkiss*	Trucha Arco Iris	16.619,16	Aragón, Asturias, Castilla la Mancha y Castilla y León Cataluña, Galicia, Navarra, País Vasco, La rioja y Valencia
		Acipenser naccarii	Esturión	107,73	Aragón y Cataluña

su distribución geográfica difiere respecto la de la dorada, siendo Andalucía, Canarias, Murcia, Valencia y Cataluña las principales áreas de producción por orden de importancia. En cuanto al rodaballo, dadas sus características fisiológicas, su producción se realiza en aguas más frías como las del océano Atlántico y el Mar Cantábrico. Un 97 por ciento de la producción está localizada en la comunidad de Galicia, y existen producciones más pequeñas en Cantabria y el País Vasco. El cultivo del atún rojo del atlántico (*Thunnus thvnnus*) en Andalucía y Murcia representa todavía una cantidad pequeña de la producción. Sin embargo, se trata de una actividad con un elevado potencial, gracias al alto valor de mercado que alcanza esta especie. Mientras que su producción en 2011 representó el cuatro por ciento de la cantidad total de peces producidos en España, su valor alcanzó el 11 por ciento del total. La fuerte demanda de este producto en mercados como el japonés, junto con la sobreexplotación de los bancos salvajes de esta especie, provoca que el cultivo del mismo sea una actividad muy lucrativa. El cultivo de crustáceos en agua salada se limita a la comunidad de Andalucía. De las cinco especies cultivadas, solo dos de ellas alcanzan un mínimo volumen de producción para su comercialización, como son el langostino japonés y el camarón. Finalmente, la acuicultura continental se desarrolla a lo largo de todo el territorio nacional, especialmente en Castilla y León, Cataluña y Galicia. En la actualidad existe producción de un total de cinco especies de agua dulce; anguila europea, carpa común, tenca, trucha arcoíris y esturión, si bien solo las dos últimas alcanzan producciones significativas. La principal especie cultivada en agua dulce es la trucha arcoíris, que en 2011 representó el 99 por ciento de la producción continental.

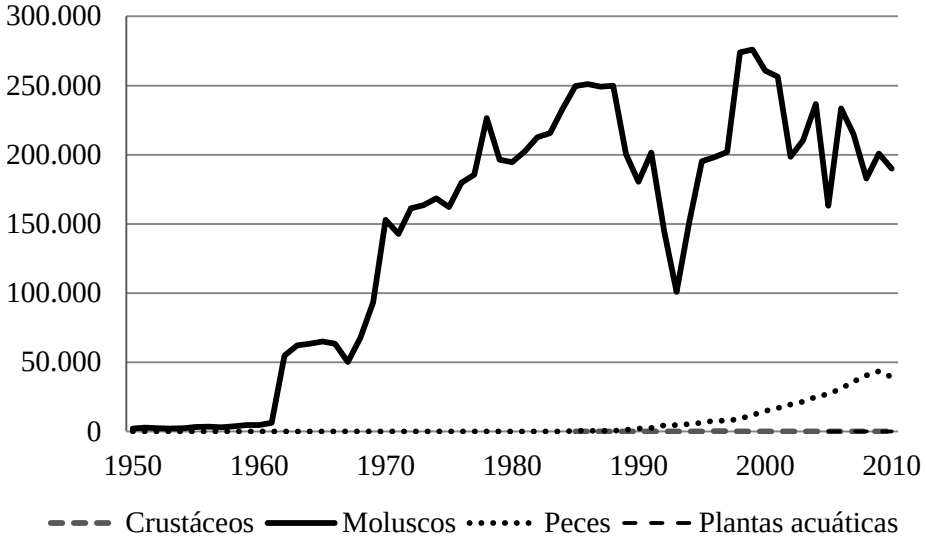
En síntesis, la principal actividad de la acuicultura española es la acuicultura marina. En términos de cantidades, los moluscos representan aproximadamente el 80 por ciento de la producción, mientras que la piscicultura marina y continental producen el 14 por ciento y el seis por ciento respectivamente. Sin embargo, el valor en términos absolutos alcanzado por las diferentes producciones señala a la piscicultura marina como la principal fuente de creación de valor en la industria acuícola nacional. En esta ocasión, los moluscos solo representan aproximadamente un 30 por ciento del valor generado, mientras que los peces de agua salada generan el 60 por ciento del valor total. Los datos sugieren que si bien el cultivo de moluscos genera la mayor cantidad de instalaciones y puestos de trabajo, no es la actividad que realiza una mayor aportación a la renta acuícola. Gracias a un mayor valor de mercado, la producción de peces de agua

salada genera mayores ingresos que la producción de moluscos (257 millones de euros frente a los 129 millones de euros de valor en primera venta en 2011) con un menor número de instalaciones (menos de 300, frente a más de 4.500 en 2011) y menor cantidad de personal empleado (3.016 trabajadores frente a 23.850 trabajadores en 2011), lo que la convierte en una actividad más rentable.

2.5. El sector de la piscicultura marina en España

El cultivo de peces es la actividad acuícola que más ha crecido en las últimas décadas en España. Según la FAO, las primeras producciones de peces marinos en España se registraron en 1984. En términos de cantidades, en el año 1990 la producción de peces todavía representaba el uno por ciento de la producción total, en el año 2000 dicha cifra alcanzó el cinco por ciento y según los últimos datos disponibles, en el año 2010 el cultivo de peces supuso el 17 por ciento de la producción acuícola. El incremento de la producción se debe principalmente al inicio de la actividad intensiva en jaulas marinas y tanques en instalaciones en tierra firme, que permiten alcanzar tasas de productividad muy superiores a las de los sistemas extensivos y semi-intensivos como los esteros.

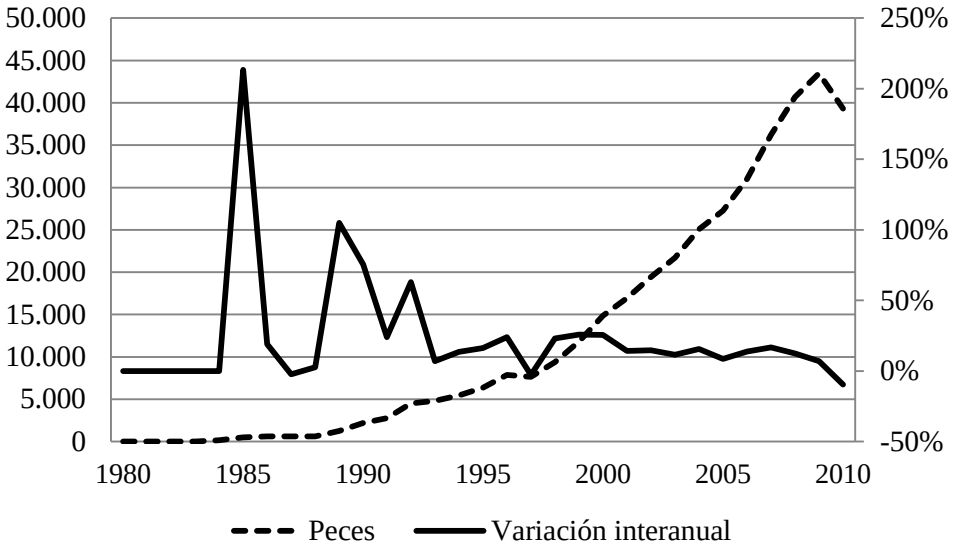
Figura 6. Evolución de la producción de acuicultura marina en España por grupo de especies en el periodo 1950-2010. Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



Las cifras de producción difieren según la fuente consultada. Mientras que la FAO afirma que la producción de pescados marinos de crianza en el año 2010 en España fue

de 41.552 t, la Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos de España (APROMAR), cifra esta cantidad en 43.888 t (APROMAR, 2011). Los últimos datos de APROMAR para 2011 registran un descenso de la producción hasta las 42.675 t. Para obtener esta producción se empleó directamente a 1.862 personas, en 110 instalaciones distribuidas a lo largo del territorio español (APROMAR, 2012). Este último informe muestra una significativa reducción del número de instalaciones desde las 144 instalaciones activas en 2007. Esta disminución en el número de instalaciones no responde en su totalidad al cese de actividad o a la reducción de la misma, sino en parte a una reestructuración del sector como ya se ha mencionado anteriormente. Como muestra la Figura 7, la tendencia de la producción de peces marinos ha sido positiva desde 1985 hasta el año 2010, en el cuál se registró el primer descenso de la producción.

Figura 7. Evolución de la producción de peces marinos y su variación interanual en el periodo 1980-2010 en España. Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

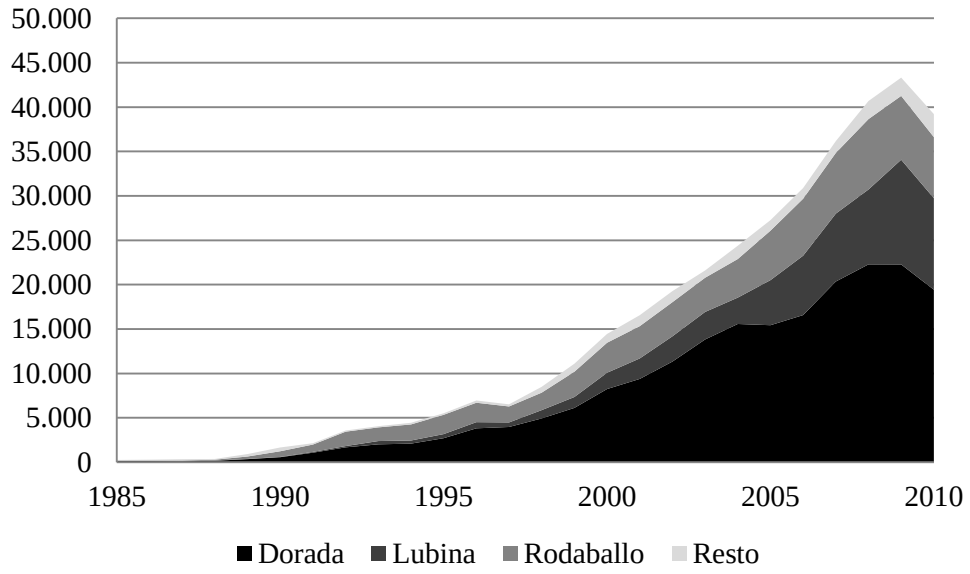


Las especies de peces marinos que son cultivadas actualmente en España a escala comercial son; dorada (*Sparus aurata*), rodaballo (*Psetta maxima*), lubina (*Dicentrarchus labrax*), besugo (*Pagellus bogaraveo*), corvina (*Argyrosomus regius*), lenguado senegalés (*Solea senegalesis*), anguila europea (*Anguilla anguilla*), lenguado común (*Solea solea*) y atún rojo del atlántico (*Thunnus thvnnus*).

De las especies marinas de peces mencionadas anteriormente la más importante tanto en volumen de producción como en el valor de la misma en el año 2010 fue la dorada (Figura 8; Tabla 11). Como se describirá a continuación, el gran desarrollo del

cultivo de esta especie en el litoral mediterráneo en los últimos veinte años ha sido especialmente intenso en España, al igual que en Grecia y Turquía. La lubina y el rodaballo son respectivamente, tanto en términos de producción como del valor de la misma, las dos siguientes especies en importancia con una clara diferencia sobre las demás. En el año 2010 la dorada supuso casi el 47 por ciento del valor de la producción de las principales especies cultivadas en España. Esta, junto con la lubina y el rodaballo generaron el 93 por ciento del valor total.

Figura 8. Evolución de la producción de peces marinos por especies en el periodo 1985-2010 en España. Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



A pesar del predominio de estas tres especies, el sector piscícola está haciendo grandes esfuerzos en investigación e inversión para sacar a delante otras especies de mayor valor. Como se observa en la Tabla 11, especies como el atún rojo, el besugo o el lenguado alcanzan más del doble del valor de primera venta de la dorada. A parte del incremento de la escala de producción, la diversificación al cultivo de especies de más valor y con menor competencia en los mercados es otra de las estrategias que el sector está desarrollando con el objetivo de incrementar su competitividad y su rendimiento económico.

A lo largo de estos últimos años la distribución geográfica de la producción también ha sufrido cambios. Tradicionalmente, las comunidades del litoral mediterráneo, junto con las Islas Canarias y Galicia, han sido las principales áreas de producción de peces. Según los últimos datos, la Comunidad Valenciana produjo en 2011 algo más del 25 por ciento de los peces marinos en España, seguida por la Región

de Murcia (22 por ciento de la producción), Andalucía (16 por ciento de la producción), Canarias (16 por ciento de la producción), Galicia (15 por ciento de la producción), y más alejada Cataluña (4 por ciento de la producción).

Tabla 11. Producción de las principales especies de piscicultura marina en España. Cantidad, valor y valor por kg de la producción. Año 2010. Fuente. Elaboración propia a partir de datos FAO y JACUMAR.

Especie	Cantidad (t)		Valor (miles $)		Valor $/kg
Dorada	19.432	46,77%	118.715	40,61%	6,11
Lubina	10.307	24,80%	88.743	30,36%	8,61
Rodaballo	6.882	16,56%	63.277	21,65%	9,19
Corvina	1.839	4,43%	8.887	3,04%	4,83
Anguila Europea [a]	360	0,87%	4.176	1,43%	11,59
Atún rojo del Atlántico	360	0,87%	6.649	2,27%	18,47
Besugo	214	0,52%	2.472	0,85%	11,54
Lenguado común	97	0,23%	1.390	0,48%	14,38
Lenguado senegalés	69	0,16%	977	0,33%	14,27
Total	41.552	100%	292.315	100%	7,03

[a] Los datos de la anguila europea producida en agua salada proceden de JACUMAR. El valor de la producción en euros ha sido convertido en dólares según el tipo de cambio registrado a 31 de Diciembre de 2010. 1 € = 1,339 US$.

El proceso de cultivo de peces se desarrolla en tres tipos de instalaciones, que se corresponden con las principales fases que se pueden diferenciar en el proceso de cría. En primer lugar, la reproducción y obtención de alevines se realiza en las instalaciones de reproducción, también conocidas como *hatcheries*, en las que un conjunto de individuos reproductores desovan, se cultivan las larvas y se crían los alevines. Estos son trasferidos posteriormente a la instalación de pre-engorde en la que los alevines son alimentados hasta obtener los juveniles. Finalmente, los juveniles se incorporan a la instalación de engorde dónde son alimentados hasta alcanzar la talla comercial. En el sector productor de dorada y lubina, existen empresas dedicadas en exclusividad a la reproducción o al engorde, y existen empresas que tienen integrada en su estructura el proceso completo de producción a través de diferentes instalaciones. En general, las empresas de mayor escala integran todas las fases del proceso de producción, con el

objetivo de incrementar el control sobre todo el proceso, aumentar la eficiencia del mismo, y reducir su dependencia de los proveedores de alevines.

Tabla 12. Producción marina de engorde comercial de peces en España. Cantidad, valor y valor por kg de la producción por comunidades autónomas en el periodo 2008-2011. Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos JACUMAR.

Comunidad	2007	2008	2009	2010	2011
Comunidad Valenciana	8.362	7.850	7.243	9.222	10.841
Región de Murcia	7.474	9.584	10.848	10.886	9.115
Andalucía	7.040	6.090	6.918	7.021	6.774
Canarias	8.124	6.913	8.401	5.884	6.678
Galicia	5.941	7.144	7.701	7.095	6.420
Cataluña	2.528	2.415	2.480	2.228	1.827
Cantabria	138	148	194	213	197
País Vasco	183	0	0	0	24
Principado de Asturias	44	118	0	0	0
Baleares	162	0	0	0	0
Total	39.995	40.263	43.785	42.549	41.876

Según el último informe de APROMAR (2012), en España estuvieron activas en el año 2011 un total de 110 instalaciones de cultivo de peces. La evolución del tejido productivo (Tabla 13) muestra una tendencia decreciente en el número de instalaciones en la segunda mitad de la pasada década. Entre el año 2005 y el año 2011, más de un 20 por ciento de las unidades de producción cesaron su actividad.

El análisis de las unidades de producción en función de la fase del proceso productivo que desarrollan contribuye a explicar las causas de la reducción del número de instalaciones. En el año 2011 permanecieron activas 15 instalaciones de reproducción, localizadas principalmente en Galicia y en Andalucía (Tabla 14). En los últimos cinco años esta cifra se ha mantenido estable, lo que indica que la demanda de larvas para el cultivo de peces se mantiene estable a lo largo del tiempo. Si el sector registrara una caída significativa de la producción, la demanda de individuos para el engorde se reduciría y por lo tanto, el número de instalaciones de reproducción se

debería haber reducido. El único signo de descenso de la actividad se ha producido en Galicia, donde en el año 2010, una de las *hatcheries* de peces cesó su actividad.

Tabla 13. Evolución del número de unidades de producción piscícola marina activas en España en el periodo 2005-2011. Fuente: APROMAR.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Granjas Activas	140	140	144	135	124	120	110

Tabla 14. Número de instalaciones de reproducción (hatcheries) en España por comunidades autónomas en el periodo 2007-2011. Fuente: APROMAR.

Comunidad	2007	2008	2009	2010	2011
Andalucía	6	6	6	5	5
Baleares	1	1	1	1	1
C. Valenciana	1	1	1	1	1
Canarias	1	1	1	1	1
Cantabria	1	1	1	1	1
Cataluña	1	1	1	1	1
Galicia	5	5	5	5	5
Murcia	1	1	1	1	1
Total	16	16	16	15	15

Los datos sobre instalaciones de pre-engorde muestran la existencia en 2011 de 17 instalaciones activas dedicadas a esta fase del proceso de cultivo (Tabla 15). Estas unidades de producción están localizadas principalmente en Andalucía, donde se encuentran seis unidades, y Galicia y la Comunidad Valenciana, donde el número de instalaciones de pre-engorde asciende a tres en cada una de ellas. A pesar de que en los años 2008 y 2009 se redujo la cifra de estas instalaciones por el cese de actividad de dos unidades en Andalucía y Cataluña, en los últimos años ha aumentado de nuevo el número de instalaciones gracias al incremento de las mismas en Cataluña, la Comunidad Valencia y Galicia, lo que ha permitido compensar su progresiva disminución en Andalucía.

Tabla 15. Instalaciones de pre-engorde por comunidades autónomas. APROMAR.

Comunidad	2007	2008	2009	2010	2011
Andalucía	9	8	8	6	6
Baleares	1	1	1	2	1
C. Valenciana	2	2	2	3	3
Canarias	1	1	1	1	1
Cantabria	1	1	1	1	1
Cataluña	1	0	0	1	1
Galicia	0	0	0	3	3
Murcia	1	1	1	1	1
Total	16	14	14	18	17

Tabla 16. Instalaciones de engorde por comunidades autónomas. Fuente: APROMAR.

Comunidad	2007	2008	2009	2010	2011
Andalucía	32	27	27	22	20
Asturias	1	0	0	0	0
Baleares	0	0	0	0	0
C. Valenciana	16	16	11	10	10
Canarias	28	28	22	22	15
Cantabria	1	1	1	1	1
Cataluña	5	5	5	4	5
Galicia	21	18	18	17	17
Murcia	7	9	9	10	9
País Vasco	1	1	1	1	1
Total	112	105	94	87	78

El análisis de la evolución del número de unidades de producción destinadas a las fases de reproducción y pre-engorde indica que la actividad de cultivo de peces no ha disminuido en los últimos años, a pesar de la reducción en el número de unidades de

producción. Si el número de instalaciones que suministran los individuos a la fase de engorde se mantiene estable en el tiempo, quiere decir que la demanda de alevines no ha disminuido. Estos datos, junto con la evolución del número de instalaciones de engorde, parecen validar el argumento de los diferentes agentes del sector, según el cual se está produciendo una reconversión del tejido empresarial. La comparación de los datos de las tablas 14, 15 y 16 permite afirmar que la reducción del número de unidades de producción procede de la fase de engorde.

En términos de distribución geográfica, la comunidad autónoma donde se localiza un mayor número de unidades de engorde es Andalucía, seguida por las Islas Canarias, Galicia y la Comunidad Valenciana. La única comunidad autónoma donde ha crecido el número de unidades de producción es la Región de Murcia. La distribución geográfica de las instalaciones coincide con las principales áreas de producción de dorada y lubina en el mar Mediterráneo y las Islas Canarias y con la del besugo, el lenguado y el rodaballo en Galicia.

La actividad de engorde puede desarrollarse en tanques o estanques en tierra firme o en jaulas en el mar. En el año 2011, el 53 por ciento de la actividad de engorde se realizaba en jaulas en mar abierto. Andalucía y Galicia son los lugares donde mayor porcentaje de la actividad se realiza en tierra firme con el 85 por ciento y 94 por ciento de las instalaciones en tierra firme respectivamente. En el lado contrario, la Comunidad Valenciana y Canarias tienen todas sus instalaciones en el mar salvo una en cada caso, mientras que en Cataluña y en Murcia no hay producción en tierra firme.

2.6. La producción acuícola de dorada

El cultivo de la dorada ha sufrido en las últimas dos décadas un crecimiento prácticamente exponencial que ha incrementado la importancia de esta especie dentro de la actividad acuícola de muchos países. Su rápida adaptación al cultivo ha sido un éxito del cual las empresas han sabido sacar rendimiento económico mediante su comercialización.

Como se observará posteriormente, la producción acuícola no tardó en superar a las capturas de dorada, si bien el mercado de esta especie se encuentra en fase de madurez y actualmente en un punto de saturación (Colloca y Cerasi, 2005-2009a). La utilización de jaulas en el agua como sistema para la producción posibilitó un

incremento de la oferta que derivó en bajadas generalizadas del precio del producto. De este modo, un negocio de altos márgenes con volúmenes de producción bajos, se transformó en una actividad con un margen muy ajustado y una sobreoferta de producto. La caída de los precios comenzó a principios de los 90, sin embargo, no fue hasta el año 2000 cuando se alcanzaron precios que redujeron significativamente la rentabilidad de los productores de la cuenca mediterránea.

Las empresas productoras en España son especialmente sensibles a las caídas en el precio de la dorada, generadas en gran parte por el producto procedente de Grecia, principal productor mundial de esta especie, donde las empresas soportan unos costes inferiores a los de España, y por lo tanto, comercializan el producto a un menor precio.

El futuro del sector pasa tanto por las mejoras de la eficiencia en el proceso de producción, como por la mejora de otras áreas de la actividad empresarial como la comercialización o la obtención de financiación ajena. Las empresas españolas deben de, por un lado, buscar nuevos destinos de comercialización y por otro, desarrollar procesos productivos que permitan a través de una mayor eficiencia reducir costes y hacer más competitivo su producto.

2.6.1. Biología y hábitat de la dorada

La dorada, o por su nombre científico *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758) es un pez perteneciente a la Familia *Sparidae* y de la orden de los Perciformes. Según la FAO, la especie *Sparus aurata* es conocida como "Dorada" en Castellano, "*Gilthead seabream*" es su denominación en lengua inglesa y "*Dorade royale*" es el nombre que recibe en Francés. La Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR), amplía esta información, asegurando que la dorada se denomina; "*Orata*" (Italia), "*Dourada*" (Portugal), "*Goldbrassen*" (Alemania), "*Dourada*" (Galicia), "*Orada*" (Cataluña) y "*Txelba Urraburua*" (País Vasco). Su hábitat natural se concentra en el Mar Mediterráneo, en el Mar Adriático y en el Mar Negro, así como en la costa este Atlántica, desde Senegal hasta aguas del Mar del Norte.

Respecto a sus rasgos más característicos, la dorada tiene un cuerpo oval, más bien profundo y comprimido. El perfil de la cabeza está regularmente curvado y tiene los ojos pequeños y la boca baja, muy levemente oblicua con unos labios gruesos. En el interior de la boca se encuentran de cuatro a seis dientes anteriores de tipo canino en

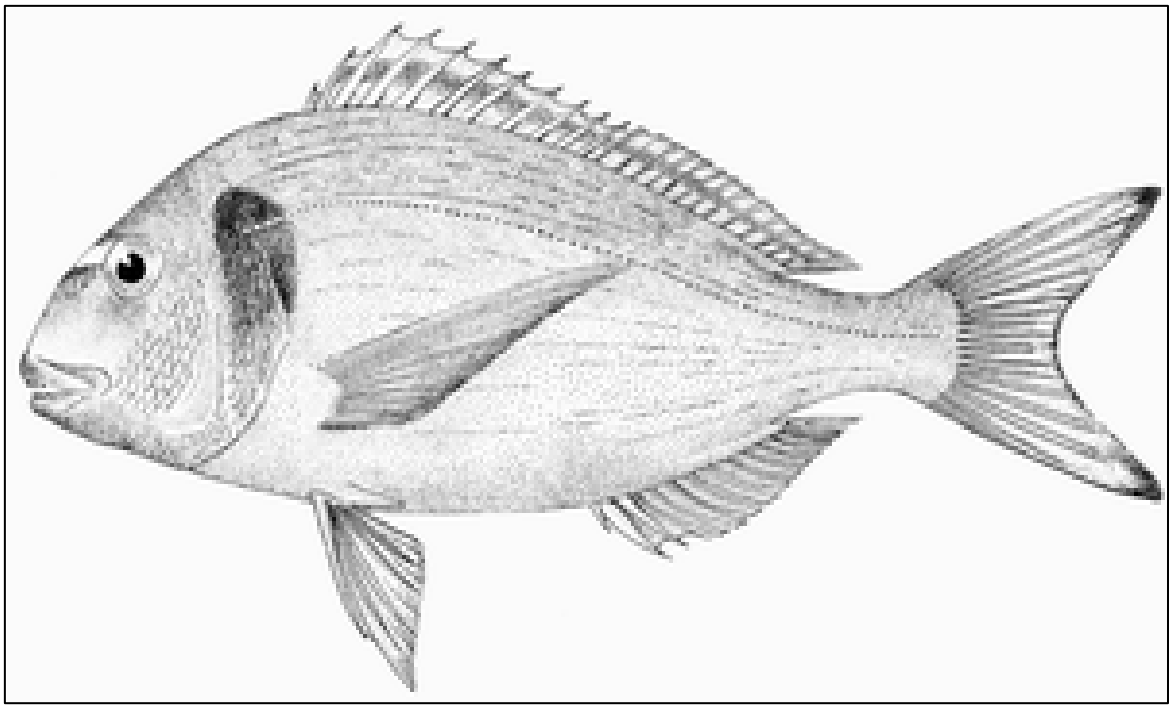
cada mandíbula, seguidos posteriormente por dientes romos, los cuales se convierten progresivamente en molares. La dorada es de color gris plateado, con una gran mancha negra en el origen de la línea lateral. Tiene una banda frontal dorada entre los ojos, bordeada por dos áreas oscuras. Además cuenta con una banda oscura sobre la aleta dorsal (Stickney, 2000).

Debido a sus hábitos eurihalinos y euritérmicos, la especie se encuentra en ambientes marinos y salobres, tales como lagunas costeras y estuarios, en particular durante las etapas iniciales de su ciclo de vida (Girin, 1982). Se trata de una especie litoral, euriterma (5-32 ºC de temperatura) y eurihalina (4-70‰ de salinidad) que se puede encontrar hasta profundidades de 90 m (Calderer, 2001). La temperatura óptima de cultivo se sitúa entre los 23 ºC y los 25 ºC (Calderer, 2001 y Gasca-Leyva et al., 2002). Los alevines nacen en mar abierto durante los meses de octubre a diciembre. En los meses de primavera migran hacia aguas costeras, donde pueden encontrar abundantes recursos tróficos y temperaturas más suaves y frecuentemente penetran en las desembocaduras de ríos y lagunas litorales, donde encuentran mejores condiciones para su alimentación (Suau y López, 1976 y Arias y Drake, 1990). Tras el verano, los individuos maduros migran hacia mar abierto para la reproducción. Los adultos vuelven a las zonas menos profundas después del desove y posteriormente se unen los alevines, que permanecen en la zona costera hasta que alcanzan la madurez sexual (Stickney, 2000). Los individuos permanecen en fondos marinos comprendidos entre 25 m y 50 m en busca de condiciones más estables y temperaturas menos extremas (Ben-Tuvia, 1979). Los individuos jóvenes permanecen en áreas poco profundas (hasta 30 m), mientras que los adultos alcanzan aguas más profundas.

La dorada es una especie carnívora, depredadora de especies del fondo marino, que generalmente se alimenta de gambas y mariscos que se encuentran sobre o en los sedimentos del fondo de arena. Encuentra moluscos y crustáceos cavando con su cabeza en la arena, que posteriormente aplasta fácilmente con sus fuertes dientes molares (Stickney, 2000). La velocidad de crecimiento de la dorada depende de la localización en la que se encuentre. Se considera que crece más rápido en áreas semi-cerradas como los esteros y las lagunas (Arias, 1980; Barbaro et al., 1986 y Castelló-Orvay y Calderer, 1993), que en zonas abiertas (Heldt, 1948). La dorada alcanzaba tamaños comerciales de 250-300 g en un periodo de 18-24 meses durante los primeros años de la intensificación de su cultivo. La selección genética, las mejoras en alimentación y los

nuevos sistemas de cultivo han reducido el tiempo de cría a 12-14 meses, y se obtiene un pez más grande, entre 400 g y 500 g de peso promedio. A pesar de que en libertad puede alcanzar un tamaño de 70 cm y un peso de 5 kg (Calderer, 2001), se cultiva a tamaños de hasta 1,5 kg y en la mayoría de las ocasiones se comercializa en el intervalo de peso de 250 g a 800 g (Stickney, 2000).

Figura 9. Espécimen adulto de dorada. Fuente: FAO



La dorada es una especie hermafrodita. En noviembre tiene lugar la freza, que puede tener distinta duración, ya que el desove de cada hembra se produce escalonadamente durante varias semanas (Zohar y Gordin, 1979; Zohar et al., 1984 y Arias y Drake, 1990). A partir de abril el único estado presente es el de reposo, permaneciendo así hasta el mes de septiembre. La primera freza tiene lugar tras dos años, cuando el animal alcanza un tamaño de 250-300 g de peso total (Calderer, 2001). Seguidamente, se inicia la transformación en hembra no afectando a la totalidad de los individuos, pudiendo presentarse el cambio tras varios desoves (Calderer, 2001). La presencia de hembras inhibe el proceso de transformación de los machos, por lo que conviene que los machos no estén en presencia de hembras (Zohar et al., 1984).

2.6.2. Proceso de cultivo de la dorada de acuicultura

El cultivo de la dorada se realiza en esteros y lagunas salobres desde la época de los antiguos imperios egipcio, griego y romano en sistemas completamente extensivos. En Grecia esta especie era muy apreciada y era consagrada a la diosa Afrodita, dado que era considerada la especie más atractiva y sabrosa (Calderer, 2001). Del periodo romano existen diferentes registros sobre las primeras experiencias empresariales en torno al cultivo de dorada. Plinio el viejo relata en el libro IX de su Historia Natural la historia del ingeniero Sergio Orata, que fue el primero en instalar viveros para su cultivo. Tanto es así que se afirma que su nombre procede de su afición a la cría de doradas (*Sparus aurata*) (Fernández-Polanco, 2012). Hoy en día, este tipo de sistemas extensivos han sido desplazados por técnicas intensivas, con el objetivo de alcanzar los niveles de productividad de otras especies acuícolas como el salmón o la tilapia.

Durante la década de los años ochenta se desarrollaron eficientemente sistemas intensivos de cultivo de la dorada. En 1981-1982, se consiguió en Italia la reproducción artificial de la dorada, si bien hasta finales de la década no se consiguió a gran escala. La idoneidad de la dorada para el cultivo a gran escala deriva de un proceso de producción que si bien parece sencillo a simple vista (Figura 10; Figura 11), no está exento de una gran complejidad por la multitud de variables que lo afectan.

El ciclo de producción de la dorada se divide en cuatro grandes fases diferenciadas; reproducción y cultivo larvario, cría de alevines o *nursery*, pre-engorde y engorde. Las dos primeras fases se desarrollan en instalaciones conocidas como *hatcheries*. En estas instalaciones se mantiene una serie de individuos de gran edad llamados reproductores que al comienzo de la época de desove se trasladan de sus tanques habituales a los de desove. Estos individuos pueden tener su origen tanto en la actividad de cultivo como en la naturaleza. La cría de larvas se desarrolla mediante dos posibles sistemas, el de gran escala y el de pequeña escala. El primero controla los parámetros ambientales y está concebido para producir un gran número de juveniles. El segundo reproduce un ecosistema natural, produce larvas de mayor calidad, pero tiene una productividad mucho menor. En el caso de querer producir larvas fuera del periodo natural de desove, se pueden reproducir artificialmente las condiciones ambientales del periodo de desove para condicionar a los reproductores. Después de 3-4 días de alimentación endógena, comienza a alimentarse a las larvas con presa viva. Tras 45 días

Figura 10. Ciclo de producción extensivo de la dorada (*Sparus aurata*). Fuente: Programa de información de especies acuáticas. FAO.

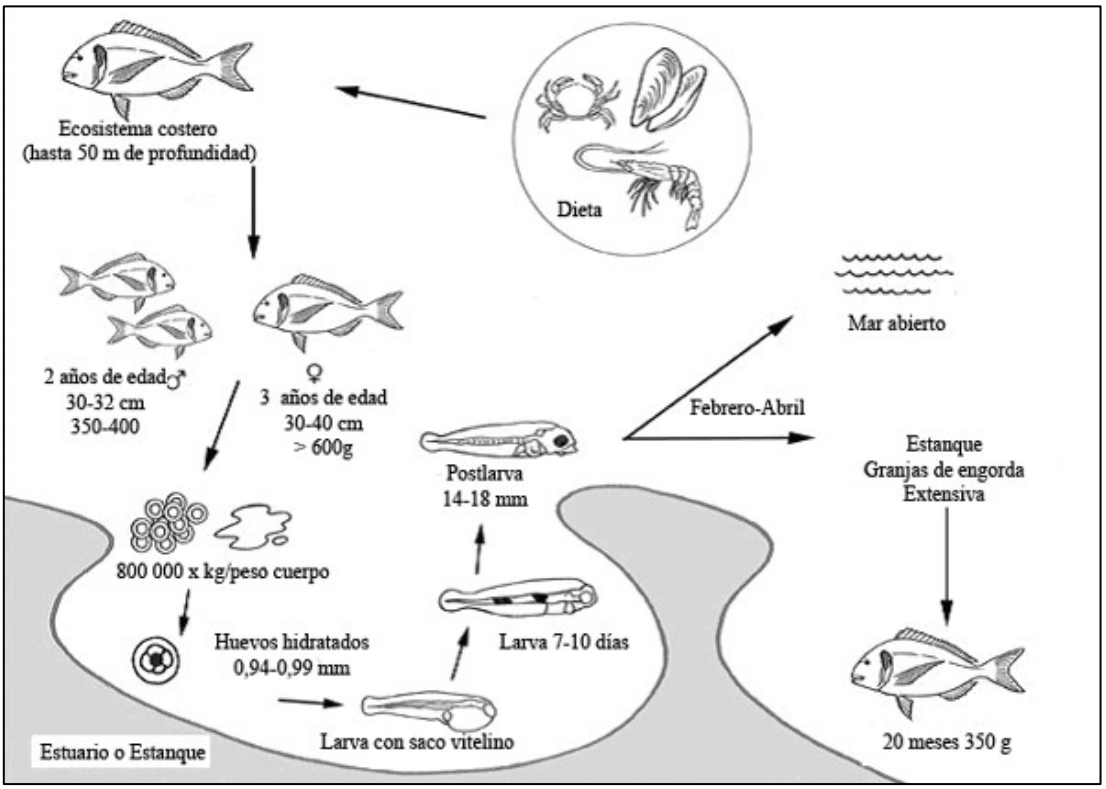
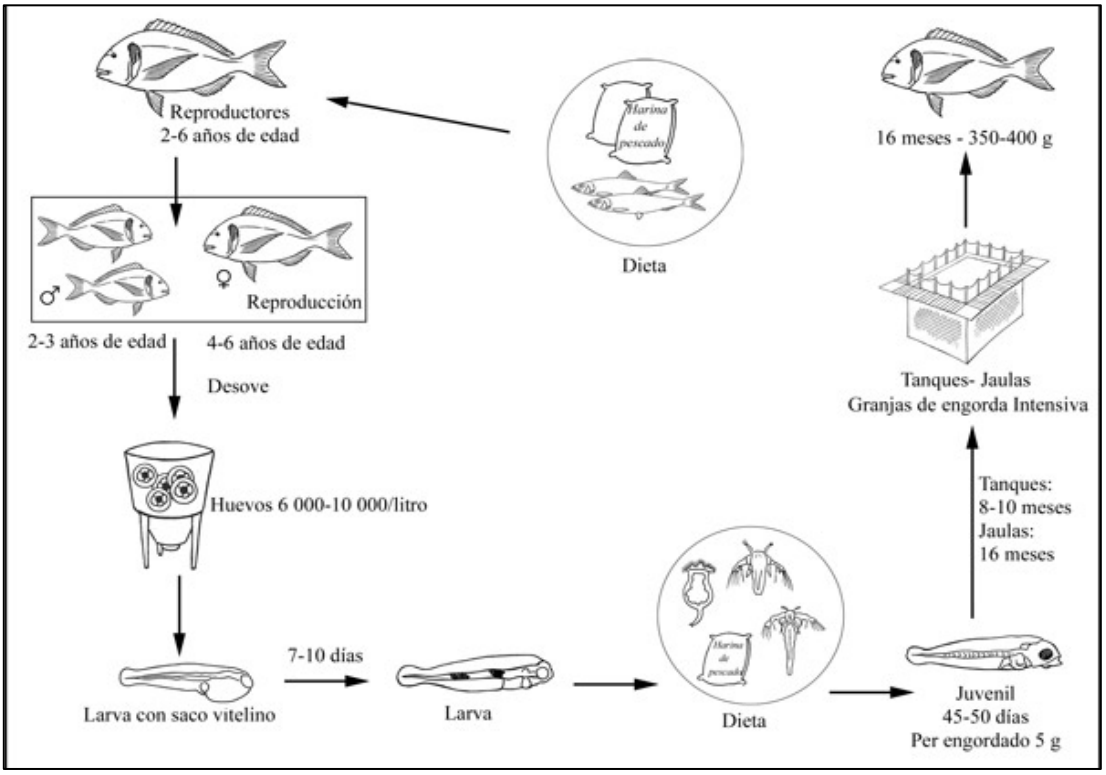


Figura 11. Ciclo de producción intensivo de la dorada (*Sparus aurata*). Fuente: Programa de información de especies acuáticas. FAO.



se inicia un cambio gradual en la alimentación sustituyendo la presa viva por pienso seco. A los 70-80 días de vida, los alevines alcanzan un peso aproximado de 0,1 g - 0,2 g y son transferidos de los tanques de cultivo larvario a la zona de *nursery*, donde los alevines crecen hasta alcanzar un peso de 0,5 g - 2 g en un momento que varía entre los 100 y 150 días desde su nacimiento. En el engorde del individuo pueden diferenciarse dos etapas, una primera de pre-engorde, en la que los juveniles son alimentados hasta los 15 g o 20 g y posteriormente el engorde hasta alcanzar la talla comercial deseada. Como norma general, las actividades de pre-engorde se realizan en instalaciones terrestres.

En la actualidad, en la fase de engorde de la dorada se diferencian tres sistemas principales de cultivo, diferenciando entre sistemas extensivos y semi-intensivos en estanques y lagunas costeras, y sistemas intensivos en instalaciones con base en tierra y en jaulas marinas. Los sistemas extensivos se basan en la captura de peces durante su migración natural a lagunas y esteros utilizando diversas trampas y sistemas para impedir su salida. En el pasado, estos sistemas dependían totalmente de una fuente natural de juveniles, lo que producía incertidumbre al ser un recurso limitado e impredecible. En la actualidad, aquellas unidades de producción que mantienen activos estos sistemas han recurrido al suministro de alevines procedente de *hatcheries* con el objetivo asegurar el suministro y reducir riesgos. Los sistemas semi-intensivos implican un mayor control del ambiente de cultivo por parte del hombre. La actuación humana puede ser baja, como es el caso de la siembra sistemática de alevines procedentes de las *hatcheries*, o un mayor control del proceso a través por ejemplo de la alimentación artificial y el suministro de suplemento adicional de oxígeno en el agua.

Los sistemas de cultivo intensivos pueden realizarse en instalaciones con base en tierra con tanques rectangulares. Esta fase también puede realizarse en jaulas marinas, tanto en sitios protegidos y semi-expuestos mediante el uso de jaulas flotantes, como en localizaciones totalmente expuestas a las condiciones meteorológicas del mar a través de la instalación de jaulas semi-sumergibles o sumergibles. Muchos de estos sistemas intensivos obtienen el suministro de alevines mediante su compra a productores especializados. Sin embargo, las instalaciones de gran tamaño han desarrollado sus propias instalaciones de cría de alevines. La principal ventaja del engorde en jaulas respecto al engorde en tanques es la eliminación de los costes de energía necesarios para reproducir las condiciones ambientales adecuadas en los tanques. Sin embargo, también

tiene ciertas desventajas, principalmente la siembra de densidades más bajas y la imposibilidad del control de la temperatura del agua, que se traducen en periodos más largos de cultivo.

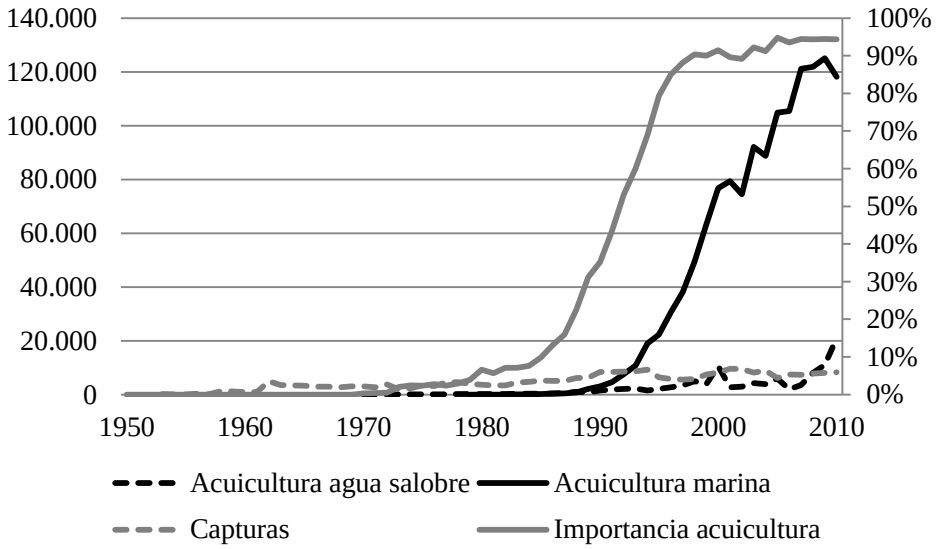
2.6.3. La producción de dorada en el mundo

Una vez expuesta y resumida la principal información sobre las características biológicas y del cultivo de la dorada, se analiza la evolución de su producción a nivel mundial. El término producción se refiere a la agregación de la pesca y la acuicultura. Es por ello que en las tablas utilizadas para exponer la información se desagrega entre la pesca extractiva y el cultivo, obteniendo a su vez la importancia del cultivo en la producción total.

Hasta los años 70 el total de la producción de dorada procedía de la pesca extractiva. Desde esta década hasta mediados de los noventa las capturas siguieron una tendencia creciente, y a partir de ahí han fluctuado entre las 6.000 t y las 8.000 t. Fue a lo largo de los años setenta cuando se inició el cultivo comercial de la dorada en aguas salobres. Esta actividad tuvo un lento crecimiento y no llegó a superar las 10.000 t de producción hasta el año 2009. Recientemente, la puesta en marcha de políticas de marketing que asocian la dorada de estero y otros sistemas semi-intensivos con un producto de mayor calidad ha provocado el incremento de su producción hasta tal punto que entre el año 2009 y 2010 la cantidad cultivada se duplicó hasta superar las 20.000 toneladas. A principios de los años 80 se inició la producción de dorada en aguas marinas y desde esa fecha, ha seguido una tendencia creciente de carácter exponencial. La Figura 12 muestra claramente el crecimiento de la producción de dorada en aguas marinas, en la que se pueden diferenciar cuatro etapas. En primer lugar, durante la década de los años 80, el nivel de producción fue bajo a causa de la necesidad de normalizar y mejorar los procesos y tecnologías de cría. Una vez conseguido este objetivo, durante la década de los noventa la producción creció desde las 10.000 t hasta cerca de las 80.000 t. Durante la pasada década, la producción siguió creciendo si bien se experimentaron varios periodos de disminución de la producción. Finalmente, en el año 2010 se registró por primera vez una reducción en la cantidad cultivada de dorada. La evolución de la importancia de la producción acuícola sobre el total producido permite identificar tres etapas diferentes. En primer lugar, la acuicultura fue incrementando su peso en la producción lentamente hasta finales de los años 80,

momento en el que no representaba más del 15 por ciento de la producción. La década de los noventa supuso una revolución en los mercados de la dorada, como consecuencia del aumento de la oferta de producto acuícola. El crecimiento de la actividad marina y la estabilidad de las capturas provocaron que en tan solo diez años, la acuicultura marina representara más del 90 por ciento de la producción total. Finalmente durante la década pasada, la importancia de la acuicultura marina se estabilizó y ha fluctuado durante estos años entre el 90 por ciento y el 95 por ciento del total de la dorada producida.

Figura 12. Evolución de la producción mundial de dorada (*Sparus aurata*). Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



La pesca de la dorada ha crecido en el periodo 1970-2010 un 175 por ciento. Tras una reducción de las capturas entre el año 2002 y el año 2005, la cantidad pescada ha vuelto a crecer hasta algo más de las 8.000 t en el año 2010 (Tabla 17). El gran crecimiento de la producción de la dorada cultivada provocó que el peso de esta actividad sobre la producción total pasara del 35 por ciento en el año 1990, a un 91 para el año 2000. Estas cantidades confirman la importancia de lo acontecido durante esta década para la actividad del cultivo. Durante los primeros años del siglo XXI, el crecimiento de la importancia de la dorada de cultivo en la producción total ha disminuido y solo ha aumentado 3 puntos porcentuales en los diez primeros años. Este último dato no debe asociarse a un estancamiento de la producción, ya que la acuicultura generó 52.000 toneladas más en el año 2010 que en el año 2000. En definitiva, la aparición de sistemas intensivos para el cultivo de la dorada ha permitido el crecimiento de la actividad de forma exponencial durante los años noventa. En los

primeros años del siglo XXI, la actividad ha seguido creciendo, si bien es cierto que a un menor ritmo que la anterior década.

Tabla 17. Producción mundial de dorada (*Sparus aurata*). Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

	1970	1990	2000	2005	2010
Pesca	3.034	8.434	8.147	6.103	8.333
Acuicultura	10	4.570	87.288	110.755	139.187
Total	3.044	13.004	95.435	116.858	147.520
Importancia acuicultura (%)	0,33	35	91	95	94

Los principales países productores de dorada, tanto procedente de la pesca extractiva como de la acuicultura, pertenecen al área mediterránea (Tabla 18). En términos de capturas, los países que tradicionalmente han realizado más desembarcos de esta especie son Egipto, Francia, España, Turquía e Italia. En los últimos años, la pesca de la dorada en Italia ha descendido. Sin embargo, el resto de países han mantenido sus niveles de capturas. Los cinco principales países engloban el 75 por ciento de las capturas de dorada. Al igual que la pesca, las principales producciones de dorada se obtienen en países mediterráneos. A pesar de que los primeros pasos en la producción intensiva a escala comercial se desarrollaron en España e Italia, en pocos años Grecia y Turquía se convirtieron en los principales países productores. En el año 2010, casi cuatro de cada diez toneladas de dorada cultivada se produjeron en Grecia. El segundo país productor en términos de cantidades es Turquía, que en la actualidad produce un 20 por ciento de la dorada de cultivo. Tras estos dos países que casi representan el 60 por ciento de la producción, España con un 15 por ciento, Egipto con un 11 por ciento e Italia con un cuatro por ciento son los países más importantes en la actualidad en el cultivo de dorada. En los últimos años, Egipto ha incrementado su producción y ha superado a Italia. Italia es el país que a día de hoy mantiene una mayor producción de dorada en aguas salobres gracias al impulso que se le dio a este tipo de cultivo a mediados de la década pasada. Otros países como España han tomado el ejemplo de Italia y han retomado los cultivos extensivos y semi-extensivos con la idea de obtener un producto diferenciado y de mayor calidad que el procedente del cultivo intensivo de dorada.

Tabla 18. Principales países productores de dorada (*Sparus aurata*) en el año 2010. Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

	Pesca extractiva			Acuicultura	
País	Producción	Importancia	País	Producción	Importancia
Egipto	2.072	25 %	Grecia	54.250	39 %
Francia	1.219	15 %	Turquía	28.157	20 %
Turquía	1.164	14 %	España	20.358	15 %
España	1.022	12 %	Egipto	15.065	11%
Mauritania	711	9 %	Italia	6.260	4 %

2.6.4. La producción de dorada en España

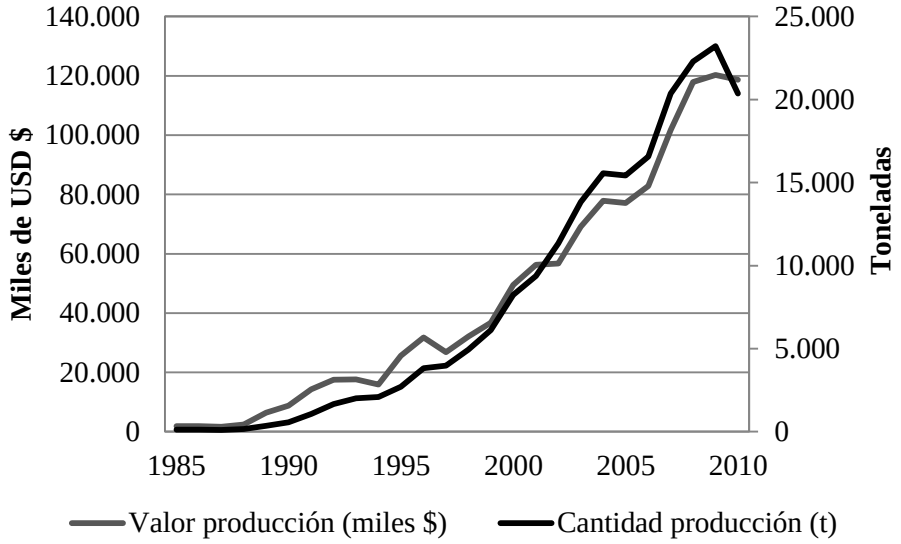
A pesar de que los primeros registros de producción de dorada en las estadísticas pesqueras y acuícolas de la FAO datan de 1985, el cultivo extensivo de esta especie era una actividad común desde hace siglos en zonas del sur y el sudeste español. La segunda mitad de la década de los 80 supuso el inicio del cultivo intensivo de esta especie en Italia y en España. Al igual que en el resto de países productores, los años 90 significaron en España la explosión de la actividad de cultivo de dorada, incrementándose la cifra de producción desde las 565 t en 1990 hasta las 8.242 t en el año 2000 (Tabla 19; Figura 13), es decir, un crecimiento medio anual del 31 por ciento. A principios de la pasada década las empresas españolas se vieron afectadas por la crisis del sector generada por los incrementos de producción, especialmente en Grecia, que provocaron un derrumbe de los precios en el mercado por debajo incluso de los costes de producción. A pesar de la difícil situación atravesada en el periodo de crisis, y de la fuerte competencia que suponen otros países productores con menores costes operativos, la industria española del cultivo de la dorada parece haberse sobrepuesto en parte a estas dificultades. Entre los años 2000 y 2010, la producción se duplicó desde algo más de 8.000 t hasta superar las 20.000 t (Tabla 19). Desde los años 70, la pesca extractiva de la dorada se ha mantenido en torno a las 1.000 t. En cambio, la producción acuícola de dorada ha pasado de representar un 48 por ciento en el año 1990 a suponer el 95 por ciento en el año 2010.

Tabla 19. Producción española de dorada (*Sparus aurata*). Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

	1970	1990	2000	2005	2010
Pesca	700	611	1.229	744	1.022
Acuicultura	0	565	8.242	15.433	20.358
Total	700	1.176	9.471	16.177	21.380
%	0	48	87	95	95

La producción de dorada en España (Tabla 20) está distribuida a lo largo del litoral mediterráneo, del litoral atlántico andaluz y de las Islas Canarias. Hasta el año 2003, Andalucía encabezó la producción acuícola de dorada con el 35 por ciento del total nacional, seguida por la Comunidad Valenciana con un 31 por ciento y Canarias con un 14 por ciento. En el año 2005 la Comunidad Valenciana pasó a ser el principal productor con un 29 por ciento seguido de Andalucía y Canarias. Para el año 2011, la Comunidad Valenciana se había afianzado en el primer lugar con un 41 por ciento de la producción acuícola, y el fuerte incremento de la producción en Murcia la situó como la segunda autonomía en importancia por delante de las Islas Canarias y de Andalucía.

Figura 13. Evolución de la producción acuícola de dorada (*Sparus aurata*) en España en términos de cantidad y de valor. Unidades: Toneladas y miles de USD. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



A pesar de que la evolución de la producción en España haya seguido una tendencia creciente, los datos aportados por APROMAR en sus informes anuales sobre la situación de la acuicultura marina en España muestran la complicada situación que han atravesado las empresas del sector en los últimos años. Desde principios de la pasada década el precio de la dorada ha sufrido una fuerte variabilidad y tras la crisis de precios ocurrida entre los años 2000 y 2002, desde el año 2006 los precios siguieron nuevamente una tendencia decreciente hasta alcanzar en 2008 un precio medio de primera venta de 3,66 €/kg (Tabla 20). Esta situación generó enormes problemas de rentabilidad para muchas empresas del sector, dado que los costes de producción pueden estimarse en una horquilla entre los 3,80 y los 4,30 €/kg (APROMAR, 2012). Según los precios de primera venta aportados por APROMAR, y considerando su estimación del coste de producción, entre los años 2007 y 2010 numerosas empresas se han visto obligadas a comercializar su producto a un precio incluso inferior al coste de producción del mismo, en función de la eficiencia de cada productor. La reducción de la producción de dorada desde el año 2008 según los datos que aporta APROMAR, tanto en España como a nivel global (especialmente en sus principales orígenes, Grecia y Turquía) ha generado un cambio de tendencia en los precios y un aumento de los mismos hasta los 5 €/kg registrado como media en el año 2011.

Tabla 20. Evolución de la producción española de dorada (*Sparus aurata*) por comunidades autónomas y del precio medio de primera venta. Unidades: Toneladas y €/kg. Fuente: Elaboración propia a partir de los informes anuales de APROMAR.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Andalucía	4.117	4.085	4.042	2.430	3.280	2.360	1.818
Baleares	150	150	0	0	0	0	0
Canarias	2.871	5.645	5.700	4.810	3.460	3.010	3.259
Cataluña	1.573	1.320	1.934	1.650	1.240	1.560	1.471
Murcia	2.286	2.325	2.970	5.480	6.510	5.840	3.469
C. Valenciana	4.580	6.695	7.674	9.560	9.200	7.590	6.913
Total	15.577	20.220	22.320	23.930	23.690	20.360	16.930
Precio €/kg	4,36	4,41	4,30	3,66	3,75	4,20	5,00

A lo largo de la pasada década, según la información proporcionada por la FAO, el consumo de dorada en España casi se triplicó al pasar de las 10.719 t en el año 2000, a un total de 27.148 t en el año 2009. El sector productor español ha tratado de satisfacer esta demanda y no perder cuota de mercado frente a las importaciones desde otros países. En la primera mitad de la pasada década, el peso de las importaciones en el consumo de dorada se fue reduciendo desde el 13 por ciento registrado en el año 2000, hasta el dos por ciento registrado en 2006. Sin embargo, para conseguir mantener e incluso mejorar su cuota de mercado, las empresas españolas tuvieron que afrontar una guerra de precios en la que fueron perdiendo progresivamente competitividad y rentabilidad, hasta el punto en que en los años 2005, 2006 y 2007, alrededor de la mitad de las empresas obtuvieron rendimientos económicos negativos y muchas tuvieron que detener su actividad. A partir de este momento, el crecimiento de la producción de dorada en España no ha sido capaz de satisfacer el crecimiento del consumo y las importaciones comenzaron a crecer. En tan solo cuatro años, las importaciones han pasado de representar el dos por ciento del consumo en España en 2006, a representar un 27 por ciento en 2009.

La situación actual parece ser el resultado de una estrategia agresiva por parte de los principales competidores en el extranjero que ha generado el debilitamiento de la industria española. En una primera etapa, y a través de la competencia en precios, se llevó a muchas empresas españolas a la quiebra o al borde de la misma. La estructura del tejido empresarial en aquel momento implicaba un coste de producción mayor que el de estos competidores, y la dificultad de abordar la diferenciación del producto en un mercado como el español abocó a los empresarios a participar en una guerra de precios en la que no eran suficientemente competitivos. En la segunda mitad de la pasada década, el sector comenzó una reconversión basada en la concentración empresarial y el aumento de la escala productiva, siguió incrementando la producción, y comenzó a exportar parte de la misma. Sin embargo, su capacidad de atender la demanda nacional se vio reducida como consecuencia del cese de actividad de empresas durante el periodo 2005/2007. Tras minorar la capacidad productiva del sector español a través de la guerra de precios, en la actualidad, los productores de terceros países, principalmente Grecia, han incrementado las cantidades que comercializan en España, y además, la reducción de la oferta ha incrementado el precio del producto a niveles superiores incluso a la situación previa a las crisis de principios de la década. A pesar del incremento de los

precios, según los datos de APROMAR, el sector de producción de dorada ha vuelto a entrar en una dinámica de reducción de la producción. Esta situación pone en evidencia la necesidad de mejoras en la eficiencia y productividad de los procesos de producción de cultivo de dorada, de manera que las empresas españolas puedan afrontar llegado el momento las agresivas estrategias comerciales de sus competidores, y obtener así una sostenibilidad económica en su actividad empresarial.

2.7. La producción acuícola de lubina

La lubina, al igual que ocurrió con la dorada, ha experimentado una gran evolución en el sector económico del cultivo de productos pesqueros gracias al desarrollo de técnicas intensivas que han permitido su producción a gran escala. Esta especie litoral pelágica reúne características que la hacen idónea para el cultivo. Si bien su desarrollo comenzó algo más tarde que el de la dorada, su evolución ha sido similar, y como veremos a continuación, en la década de los noventa no solo la producción superó a las capturas, sino que se multiplicó en diez años algo más de doce veces. Este dato pretende llamar la atención sobre la importancia y relevancia actual de una especie sin gran tradición en el cultivo.

El desarrollo de la industria en la última década ha sido fuerte y rápido, ofertando un producto al mercado fresco, sin apenas transformación y valorado en países con gran hábito de consumo de pescado. La aparición del producto de cultivo sirvió para generalizar el consumo de lubina, limitado previamente por el elevado precio de los individuos procedentes de la captura. Actualmente, en el mercado se pueden distinguir dos tipos de producto por la significativa diferencia en el precio de los mismos; la lubina de cultivo y la de pesca extractiva (Colloca y Cerasi, 2005-2009b).

La lubina representa la segunda especie de pescado marino en importancia en España, tanto en términos de cantidad como de valor. Al igual que la dorada, en la pasada década los productores de lubina se han visto obligados a competir en precios con el producto procedente de otros países mediterráneos, lo que ha comprometido la rentabilidad de las empresas productoras y ha minorado su competitividad.

2.7.1. Biología y hábitat de la lubina

La lubina, por su nombre científico *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758), es un pez marino perteneciente a la Familia *Moronidae*, de la orden de los Peceiformes. Según la FAO, la *Dicentrarchus labrax* es conocida como "Lubina" en español, "*European seabass*" en inglés y "*Bar européen*" en Francés. La Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR), aporta más denominaciones que se concretan en; "*Spigola*" (Italia), "*Robaliza*" (Portugal), "*Seebarsh*" (Alemania), "*Robaliza*" (Galicia), "*Llobarro*" (Cataluña), "*Lupina Arrunta*" (País Vasco). La lubina habita en aguas del Océano Atlántico desde el norte de Noruega, aguas británicas hacia el sur hasta las costas de Marruecos, las Islas Canarias y Senegal. También en el litoral mediterráneo y aguas del Mar Negro.

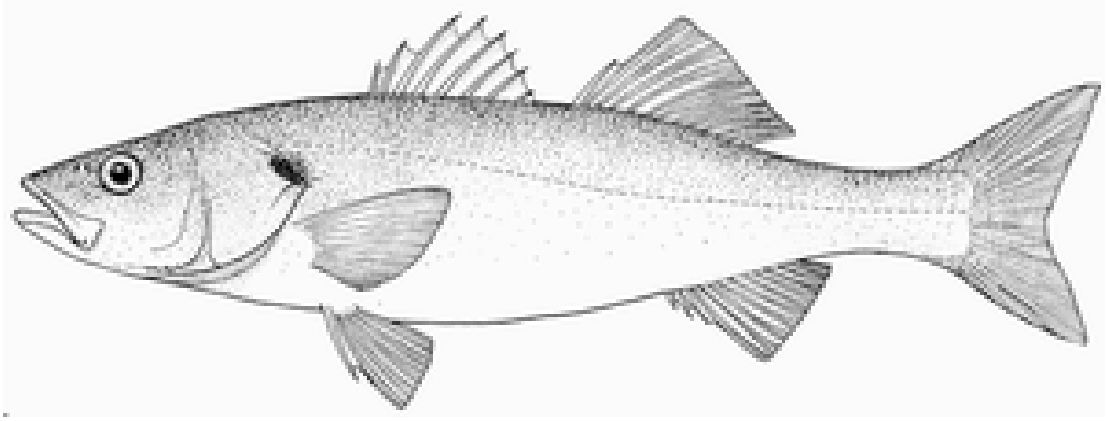
La lubina se caracteriza por tener un cuerpo alargado y esbelto. Su boca es grande, con la mandíbula inferior prominente. Tiene dos aletas dorsales triangular y trapezoidal. La aleta caudal es ahorquillada. Su color es gris plateado en el dorso y más claro en los flancos, siendo blanco en el vientre. Los individuos jóvenes pueden tener manchas negras en el dorso y los laterales (Stickney, 2000).

En todas estas regiones marinas, la lubina es una especie que vive sobre todo tipo de fondos en aguas litorales, desde profundidades de 100 metros en los individuos más adultos, hasta aguas superficiales. Su naturaleza eurihalina les permite crecer en ambientes de agua dulce sin reproducirse. Al igual que la dorada, dos de los rasgos que la hacen tan idónea para el cultivo es el ser eurihalina, sobrevive en ambientes con gran variedad en la salinidad, y euritérmica, acepta amplios rangos de temperatura. Es generalmente aceptado que la lubina tolera rangos de temperatura desde los 5 ºC hasta los 28 ºC y de salinidad entre los 5 g y los 55 g por litro de solución (Dülguer et al., 2012) y que la temperatura óptima varía entre los 22 ºC y los 26 ºC (Claridge y Potter, 1983 y Person-Le Ruyet et al., 2004). El desove de la lubina se lleva a cabo entre noviembre y marzo en la cuenca del Mediterráneo y se retrasa en las zonas del Atlántico Norte. Los adultos desovan en estuarios y zonas de aguas interiores donde la salinidad del agua es similar a la del agua de mar (Stickney, 2000).

La lubina adulta es considerada como una especie carnívora, que utiliza su boca ancha para atrapar pequeños peces y una gran variedad de invertebrados, como camarones, cangrejos, calamares y otros cefalópodos (Bini, 1973). Es un pez de

crecimiento más lento que la dorada, ya que requiere hasta dos años para alcanzar un tamaño comercial de 250 g - 350 g en la región mediterránea (Coves et al., 1991). Las mejoras en ámbitos como la alimentación, las prácticas de gestión, y la calidad de los juveniles, han contribuido a una reducción en el tiempo necesario para alcanzar tamaños comerciales. En la actualidad, mediante el cultivo en jaulas marinas, la lubina puede alcanzar tamaños de mercado en aproximadamente 16 meses en la región del Mediterráneo. Los tamaños comerciales más comunes para la lubina de cultivo varían entre los 300 g y los 1.000 g, mientras que los individuos más grandes, entre 2-3 kg, por lo general provienen de la pesca (Stickney, 2000).

Figura 14. Espécimen adulto de lubina. Fuente: FAO.



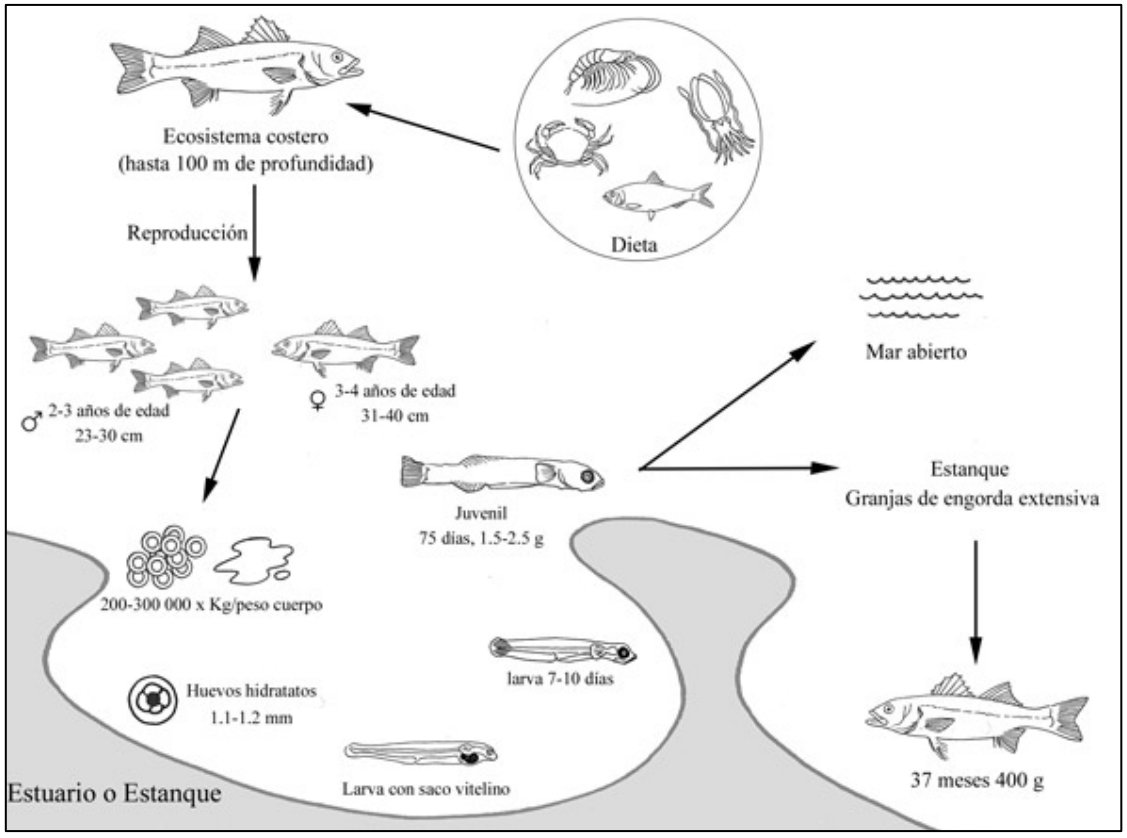
La lubina es una especie dioica. Los peces se desarrollan como machos o hembras, y a menos que se induzca artificialmente, no cambian de sexo durante su vida. Los machos pueden producir esperma en un año, pero las hembras no alcanzan la madurez sexual hasta los tres años (Stickney, 2000).

2.7.2. Proceso de cultivo de la lubina de acuicultura

El cultivo de la lubina, al igual que el de la dorada, era una actividad marginal y poco desarrollada hasta la llegada de los sistemas intensivos. Tradicionalmente los sistemas extensivos se localizaban en lagunas costeras y depósitos naturales inundados por agua marina. El cultivo de la lubina comenzó en las salinas, donde la sal era producida en los meses de altas temperaturas, verano y principio del otoño, y la lubina era cultivada en las estaciones más frías, invierno y principio de la primavera (Stickney, 2000).

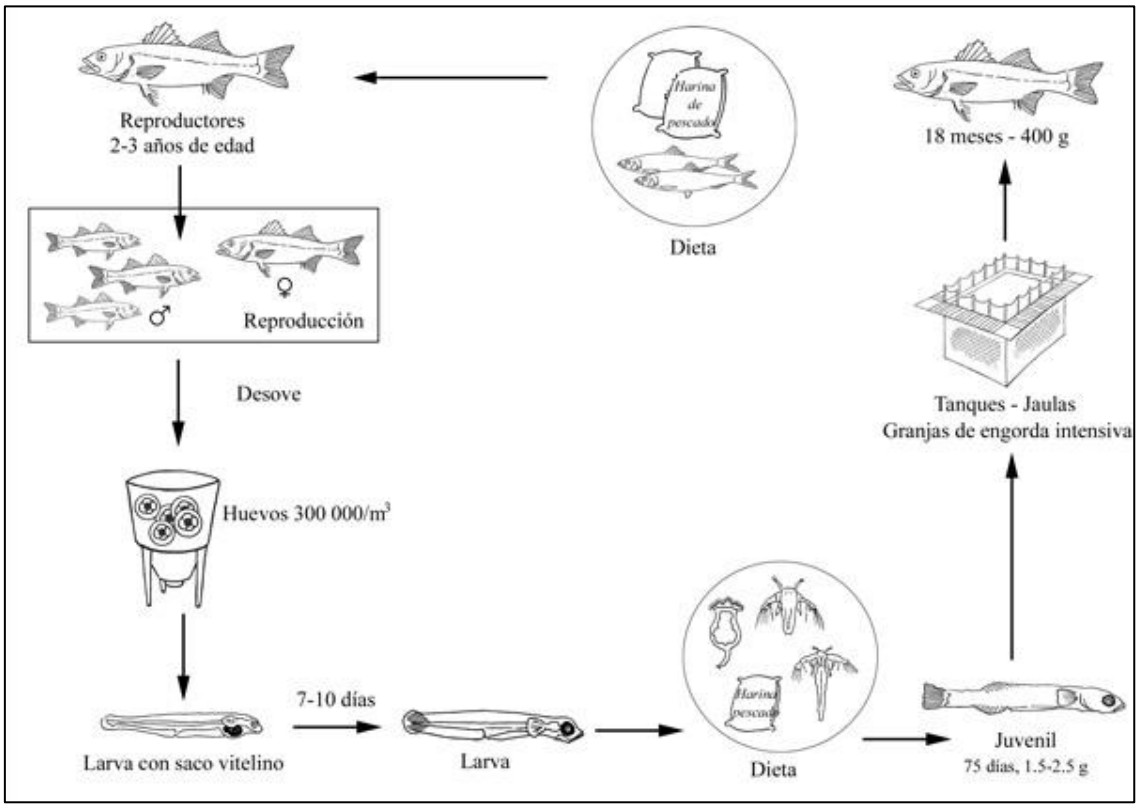
Hacia finales de la década de los sesenta, Francia e Italia comenzaron a desarrollar técnicas para la reproducción intensiva de alevines de lubina (Stickney, 2000). Si bien los procesos no tardaron en conseguirse, si se tuvo que esperar a su estandarización en un proceso intensivo de gran capacidad que permitiera una actividad económica continua y rentable. La aparición de los sistemas intensivos propició el inicio de la actividad a gran escala en los ochenta, y la explosión de la actividad durante la década de los noventa.

Figura 15. Ciclo de producción extensivo de la lubina (*Dicentrarchus labrax*). Fuente: Programa de información de especies acuáticas. FAO



Los sistemas de cultivo de la lubina son muy similares a los de la dorada (Figura 15; Figura 16) debido a las similitudes en los ciclos de vida y de reproducción de las dos especies, así como sus hábitos eurihalinos y euritérmicos. El proceso de cultivo de la lubina puede ser extensivo, semi-intensivo e intensivo. Este último posee la misma estructura que el de la dorada, es decir, reproducción y cultivo larvario, cría de alevines o *nursery*, pre-engorde y engorde. Los rasgos principales de cada uno de los sistemas y de cada una de las fases se exponen a continuación.

Figura 16. Ciclo de producción intensivo de la lubina (*Dicentrarchus labrax*). Fuente: Programa de información de especies acuáticas. FAO.



La reproducción se lleva a cabo en la *hatchery*, siendo cada vez más habitual la existencia de esta fase junto a las de engorde, en lugar de su adquisición al exterior. En estas unidades de cría, grupos de reproductores de diferentes edades son mantenidos juntos durante largo tiempo. La edad óptima para las hembras es entre los cinco y los ocho años y para los machos es menor, entre los dos y los cuatro años. La gestión de estos criaderos incluye la maduración natural, la inducción a la ovulación por manipulación del fotoperiodo o tratamiento hormonal, la fertilización y la incubación de las semillas en un tanque con sistema de circulación abierta de agua. La alimentación se hace a base de piensos comerciales especiales y de pescado fresco. La puesta natural de la lubina tiene lugar entre los 10 ºC y los 14 ºC, pero modificando la temperatura y el fotoperiodo pueden mantenerse diferentes lotes de reproductores para obtener puestas a lo largo de todo el año. La incubación de los huevos y el cultivo larvario se lleva a cabo bajo un estricto control de las condiciones ambientales del agua. La supervivencia en la etapa de cultivo larvario oscila entre el 30 por ciento y el 50 por ciento. Antes de ser trasladados a las jaulas o estanques, los alevines de lubina son engordados con piensos artificiales en la segunda fase conocida como *nursery*, que se lleva a cabo en la misma

instalación que la reproducción y la cría larvaria. La fase de pre-engorde es aquella en la que se alimenta a los juveniles desde los 1,5 g - 2 g con los que llegan a esta fase hasta los 20 g en un periodo que transcurre en una media de tres a seis meses. La fase de engorde dura aproximadamente 15-18 meses, en los que se alcanza un tamaño comercial de 300 g - 450 g. Esta fase se realiza tanto en instalaciones en tierra como en jaulas en el mar.

El engorde de la lubina puede desarrollarse a través de tres sistemas. El sistema extensivo se desarrolla en lagunas salobres en el litoral, aprovechando las mejores condiciones alimenticias, climatológicas y de defensa ante depredadores que no soportan tales cambios de salinidad. La tecnología aplicada consiste en la construcción de barreras en la entrada de las lagunas, las cuales permanecen abiertas en los periodos en los que las lagunas se pueblan naturalmente de alevines y se cierran posteriormente para evitar la vuelta de los individuos a mar abierto. Tradicionalmente este sistema se desarrolla en policultivo, es decir, combinado con otras especies. En España este tipo de cultivo se lleva a cabo en el Delta del Ebro o en los esteros de las salinas de Cádiz, donde se combina con especies como la dorada o el mejillón. La desventaja de este sistema, al ser extensivo, es el lento crecimiento de los individuos que alcanzan un tamaño comercial de 400 g a 500 g en 37 meses. Como ocurría en el caso de la dorada, los sistemas semi-intensivos consisten en la utilización del mismo medio que los anteriores, si bien en este caso se incrementa el plancton existente en las aguas, se importan alevines controladamente bien sea del medio natural o de criaderos y se utiliza la alimentación artificial. En definitiva, se trata del cultivo en el mismo medio que las técnicas extensivas, pero con un mayor grado de intervención del hombre.

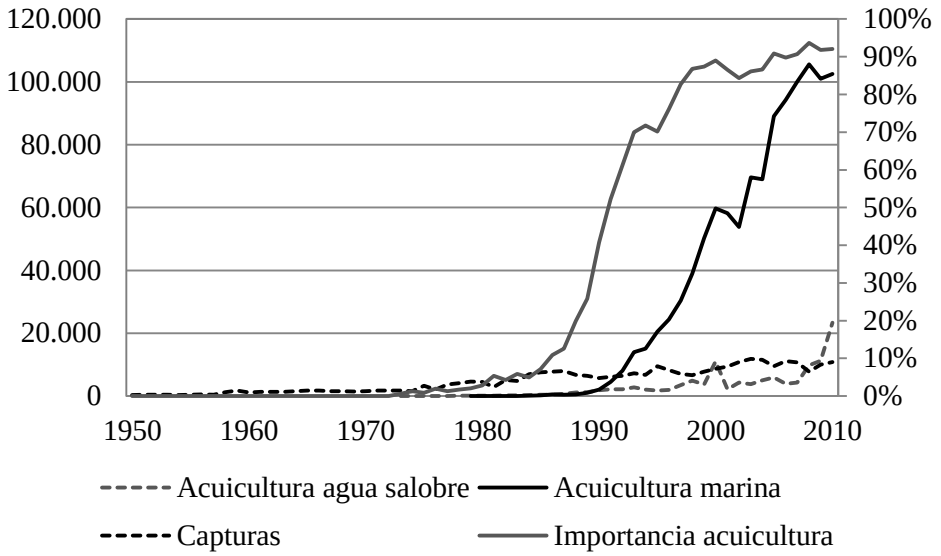
Los sistemas intensivos, al igual que en el caso de la dorada, pueden realizarse en instalaciones con base en tierra con tanques rectangulares o también puede realizarse en jaulas marinas. Estos sistemas intensivos pueden obtener el suministro de alevines de un proveedor externo, o haber desarrollado sus propias instalaciones de reproducción y cría de alevines. El engorde en tanques se realiza con una alta densidad de la biomasa, y en consecuencia es necesario realizar un mayor control sobre la calidad del agua y la salud de los peces. El cultivo en jaulas interactúa con el medio natural. En consecuencia es fundamental la elección de una localización adecuada dado el carácter exógeno de las variables medioambientales. A pesar de la existencia de factores que no están bajo el poder de decisión de los gestores, el sistema de jaulas es el más extendido en la

actualidad debido a la menor inversión requerida y a los menores costes de mantenimiento, sobre todo en términos energéticos.

2.7.3. La producción de lubina en el mundo

La evolución mundial de la producción de lubina guarda similitudes con la de la dorada, al mismo tiempo que muestra diferencias significativas. Tras conocer los rasgos biológicos más característicos de esta especie y explicar de manera general el proceso de cultivo, se describe cuál ha sido la evolución de la producción y cuál es la situación actual.

Figura 17. Evolución de la producción mundial de lubina (*Dicentrarchus labrax*). Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



Desde el año 1970 hasta el año 2007, la producción mundial anual de esta especie se incrementó en más de ochenta veces. Al principio del periodo, la producción estaba compuesta únicamente por lubina procedente de la pesca extractiva. Para el año 1990, el 40 por ciento de la producción procedía del cultivo. A lo largo de la década de los ochenta se consiguió estandarizar el proceso de cultivo a gran escala y la actividad económica relacionada con ello nació a la par de los avances técnicos y científicos. Tras estos avances, y al igual que ocurrió con la dorada, la década de los noventa supuso la explosión del número de empresas e instalaciones dedicadas a esta actividad, lo que provocó que se alcanzaran las 70.679 t de producción de cultivo para el año 2000, cuando en 1990 esa cifra había ascendido solo a 3.921 t, es decir, en 10 años creció la producción más de 18 veces (Tabla 21). Al igual que ocurrió con la dorada, en los

inicios de la pasada década se produjeron diversas crisis asociadas a la sobreoferta de producto en los mercados y a la reducción de precios que el incremento de la competencia trajo consigo. En la Figura 17 se observan con claridad las disminuciones en la cantidad de lubina producida acontecidas desde el año 2000 como consecuencia de una oferta de producto mayor que la demanda.

Tabla 21. Producción mundial de lubina (*Dicentrarchus labrax*). Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

	1970	1990	2000	2005	2010
Pesca	1.580	5.702	8.710	9.530	10.817
Acuicultura	0	3.921	70.679	95.044	125.902
Total	1.580	9.623	79.389	104.574	136.719
%	0	41	89	91	92

Las capturas de lubina han seguido una tendencia creciente en los últimos 40 años (Figura 17). Al igual que la dorada, es una especie que no desarrolla su vida en grandes bancos, ni se aleja excesivamente de la costa, por lo que es pescada por barcos de pequeña escala y es muy apreciada en la pesca deportiva. Esto ha permitido que, si bien la cantidad capturada ha crecido a lo largo del tiempo, no se hayan producido grandes cantidades de capturas que hayan puesto en peligro la sostenibilidad del recurso pesquero. El inicio en los años 90 de la producción intensiva inicio un periodo de crecimiento del cultivo marino de lubina que aumentó la oferta en los mercados en casi 70.000 t en tan solo diez años. A pesar de las fluctuaciones de la producción desde el año 2000, los datos todavía no muestran que la producción haya alcanzado una cifra estable y que la tendencia de crecimiento se vaya a detener. En el periodo 2005-2010 las toneladas de lubina de origen acuícola crecieron un 32 por ciento, lo que no permite aventurar una cifra en la que la producción se estabilice.

La distribución geográfica de la producción de lubina se concentra principalmente en países del área mediterránea (Tabla 22). Francia fue el principal proveedor de lubina salvaje en 2010, ya que aglutinó el 56 por ciento de la pesca extractiva de esta especie. Junto con Egipto y Reino Unido, concentran el 75 por ciento de las capturas de lubina salvaje. Esta distribución de las capturas se ha mantenido estable desde comienzos de la pasada década, salvo en el caso de las capturas de lubina en Italia, que se redujeron desde las 3.412 t desembarcadas en el año 2003, hasta las 159 t capturadas en el año

2010. Respecto a la producción acuícola, los cinco principales productores representan más del 90 por ciento de la producción. A pesar de ser los mismos países que en el caso de la dorada, su importancia en la producción de lubina difiere. Turquía fue en el año 2010 el principal productor de lubina al ofertar a los mercados el 40 por ciento de la producción mundial de cultivo. En el mismo año, Grecia ocupó la segunda posición con 31.100 t que representan un 25 por ciento de la cantidad total producida en cautividad. En este caso, España es el cuarto productor a nivel mundial gracias a las 11.491 t producidas durante 2010.

Tabla 22. Principales países productores lubina (*Dicentrarchus labrax*) en el año 2010. Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

	Pesca extractiva			Acuicultura	
País	Producción	Importancia	País	Producción	Importancia
Francia	6.034	56 %	Turquía	50.796	40 %
Egipto	1.326	12 %	Grecia	31.100	25 %
Reino Unido	737	7 %	Egipto	16.306	13 %
España	687	6 %	España	11.491	9 %
Portugal	489	5 %	Italia	6.457	5 %

2.7.4. La producción de lubina en España

El cultivo de lubina es una actividad tradicional en determinadas áreas costeras españolas en las que se producía de forma extensiva en policultivo, aprovechando lagunas naturales, estanques, y esteros fabricados por el hombre. Antes del inicio de la actividad a nivel industrial, España junto con Francia e Italia generaban el escaso porcentaje de la producción de lubina que se obtenía en cautividad. El desarrollo del cultivo industrial de lubina fue algo más tardío que el de dorada. Los primeros pasos se dieron en Italia y Francia en la primera mitad de la década de los 80. Posteriormente, España fue uno de los pocos países junto con Grecia, Turquía y Egipto que acompañaron a Italia y Francia en el crecimiento de la producción experimentado durante los años 90.

Sin embargo, si se comparan las Figuras 13 y 18, se observa que el cultivo marino de lubina tardó más tiempo en despegar en España que el de la dorada. Mientras que

está última inició su fuerte crecimiento a finales de los 80, la lubina no inició esta etapa hasta mediados de los 90. Durante la segunda mitad de la década de los 90 y la primera mitad de la pasada década se produjo un crecimiento significativo de la producción acuícola de lubina y de su valor total, si bien no fue hasta la segunda mitad de la pasada década cuando se produjo un crecimiento exponencial de la producción que recientemente se ha detenido en 2010 con un nuevo ligero descenso de las cantidades producidas. Tanto las cantidades de lubina desembarcadas en los puertos, como las producidas en las granjas son menores que las de la dorada. Sin embargo, ambas especies siguen el mismo patrón de evolución. En los últimos 50 años, las capturas de lubina han permanecido estables en torno a las 600 t. Sin embargo la producción de lubina en cautividad ha crecido hasta representar en 2010 el 94 por ciento de la producción de esta especie. Otro dato que refleja el tardío inicio del cultivo de lubina en España con respecto al de la dorada es la comparación de la importancia de la producción en cautividad en la producción total en 1990. Mientras que el 48 por ciento de la producción de dorada en 1990 en España procedía de las granjas, la lubina de cultivo solo representaba el cinco por ciento de la producción total. El rápido crecimiento de la piscicultura de la lubina durante la pasada década la ha llevado a representar prácticamente la totalidad de la producción en la actualidad.

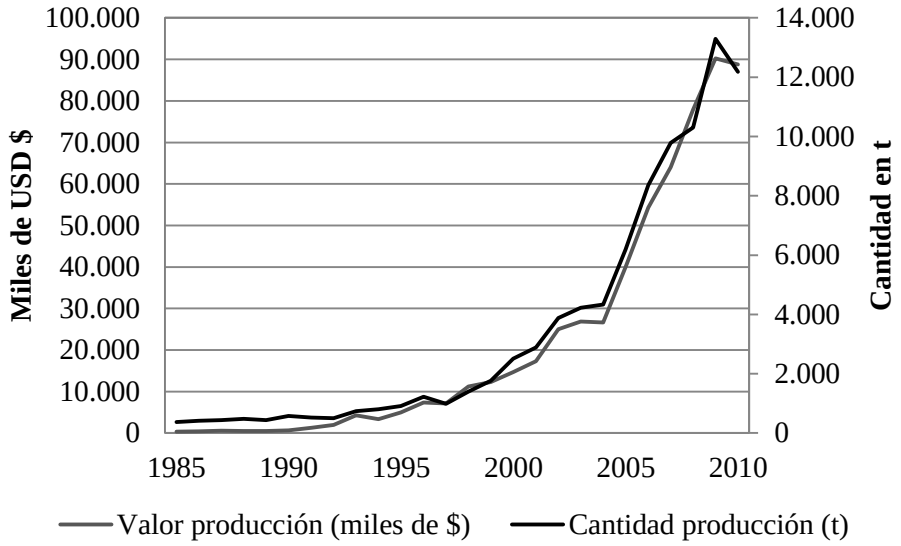
Tabla 23. Producción española de lubina (*Dicentrarchus labrax*). Unidades: Toneladas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.

	1970	1990	2000	2005	2010
Pesca	600	541	670	480	687
Acuicultura	0	31	1.837	5.713	11.491
Total	600	572	2.507	6.193	12.178
Importancia acuicultura (%)	0	5	73	92	94

En el año 2011 las principales comunidades autónomas en términos de producción piscícola de lubina fueron Murcia (28 por ciento de la producción nacional), Andalucía (27 por ciento de la producción nacional) y Canarias (24 por ciento de la producción nacional) respectivamente (Tabla 24). A lo largo de la segunda mitad de la pasada década, el crecimiento del cultivo de la lubina ha estado liderado por las empresas localizadas en Andalucía y en las Islas Canarias. Sin embargo, en los últimos años, la

reducción de la producción en las Islas Canarias y el significativo aumento de las cantidades cultivadas en Murcia, que se incrementaron desde las 808 t en 2005 hasta las 3.956 obtenidas en 2011, han cambiado la distribución de la producción acuícola de lubina en España. En los últimos años, Murcia se está convirtiendo en la principal región productora de peces en España, al concentrar cada vez más cantidad de las producciones nacionales de dorada y lubina.

Figura 18. Evolución de la producción acuícola española de lubina (*Dicentrarchus labrax*) en términos de cantidad y de valor. Unidades: Toneladas / Miles de USD. Fuente: Elaboración propia a partir de datos FishstatJ.



Las empresas de cultivo de lubina en España se han enfrentado a los mismos problemas que las productoras de dorada. A pesar de la tendencia creciente de la producción, los precios de mercado han fluctuado a lo largo de la pasada década debido a un exceso de oferta en los mercados. Como se observa en la Tabla 24, la constante fluctuación de los precios pone en peligro la supervivencia de las empresas españolas, cuya estructura de costes no las permite competir en precios con las lubinas importadas de Turquía y Grecia. Según los datos registrados en la base estadística sobre comercio de productos pesqueros de la FAO, en el año 2000, algo más del 70 por ciento de la lubina consumida en España era importada. Las importaciones de lubina han representado más del 50 por ciento del producto consumido en España hasta el año 2008, y en 2009, gracias al incremento de la producción, solo el 38 por ciento del producto consumido no era de origen nacional. El fuerte incremento de la producción en España registrado desde el año 2008 ha permitido satisfacer el aumento del consumo con producto nacional, si bien, el aumento de la oferta se tradujo en un descenso del

precio de primera venta del 11 por ciento en 2009 respecto al precio de 2008. Esta situación pone de manifiesto las dificultades que atraviesa el sector, y cómo se ve abocado a una guerra de precios que, aunque en el corto plazo le permite recuperar cuota de mercado, afecta directamente a la rentabilidad de muchas empresas y pone en peligro su continuidad.

Tabla 24. Evolución de la producción española de lubina (*Dicentrarchus labrax*) por comunidades autónomas y del precio medio de primera venta. Unidades: Toneladas y €/kg. Fuente: Elaboración propia a partir de los informes anuales de APROMAR

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Andalucía	1.524	3.025	3.220	2.210	3.050	3.660	3.895
Canarias	1.224	2.425	3.320	3.990	4.450	3.800	3.478
Cataluña	977	480	472	520	540	250	250
Murcia	808	1.180	1.575	1.510	4.100	2.395	3.956
C. Valenciana	959	1.820	1.893	1.610	1.700	2.390	2.788
Total	5.492	8.930	10.480	9.840	13.840	12.495	14.367
Precio €/kg	4,36	4,50	4,98	5,08	4,53	4,29	4,96

2.8. Conclusiones

El cultivo de organismos acuáticos es una actividad humana que se remonta a periodos anteriores a la historia. Existen registros del cultivo de distintas especies acuáticas en los antiguos imperios de China, Egipto, Mesopotamia, Grecia y Roma. Diversos autores de la antigua Grecia escribieron sobre el cultivo de peces y moluscos, así como sobre los beneficios de su consumo para la salud humana. Es durante el imperio Romano cuando se tiene constancia de las primeras actividades de cultivo con fines empresariales y lucrativos. A lo largo de los siglos, el conocimiento sobre las técnicas de cultivo se ha transferido y mejorado, incrementando la capacidad del hombre para controlar la cría en cautividad de organismos pertenecientes a un ámbito que le es hostil, como es el medio acuático.

El papel de la acuicultura en el mundo actual ha cambiado a lo largo de los últimos cincuenta años. La actividad acuícola está considerada por instituciones como la FAO o la Comisión Europea como parte de la solución al problema generado por una

creciente población mundial y un colapso de los recursos pesqueros debido a la sobreexplotación de los caladeros. A lo largo de las últimas cuatro décadas el peso de la acuicultura en la producción mundial de productos pesqueros ha crecido hasta alcanzar prácticamente la mitad. Las mejoras tecnológicas permiten que cada vez más organismos acuáticos sean cultivados tanto en aguas marinas como continentales. Los avances en la transformación y distribución de los productos pesqueros han facilitado su comercio, llegando a más consumidores a precios más asequibles.

Recientemente ha surgido un debate sobre la necesidad de potenciar la acuicultura, pero no a cualquier precio. La sostenibilidad del medioambiente y la seguridad alimentaria son cuestiones tratadas por los principales organismos internacionales como las Naciones Unidas o la Comisión Europea. La acuicultura no es solo una solución ante la posible falta de pescado para la alimentación, sino que es una actividad generadora de empleo y comercio, que aporta dinamismo económico a las regiones en las que se desarrolla y que demanda un tipo de trabajo cualificado y estable.

España es un ejemplo de los beneficios que aporta esta actividad a la economía y la sociedad. Es un país con una gran tradición pesquera y un elevado consumo de productos pesqueros, favorecido por su geografía, en la que existen casi 8.000 km de litoral marino. Desde su entrada en la Unión Europea, el sistema de cuotas ha reducido año tras año las capturas asignadas a la flota española con el consiguiente impacto económico y social para las comunidades que dependen en gran medida de esta actividad. El desarrollo de la acuicultura ha sido una alternativa económica y empresarial que ha permitido mitigar el impacto negativo de la reducción de la actividad pesquera. Tradicionalmente, el principal producto de la acuicultura española han sido los moluscos gracias a la producción de mejillón en las rías gallegas. Sin embargo, desde finales de la década de los 80, los científicos alcanzaron la viabilidad biológica y técnica para el cultivo intensivo de diversas especies como la trucha, la dorada, la lubina y el rodaballo. En la actualidad, el mejillón sigue siendo la especie más importante en términos de cantidad, si bien es más alto el valor de la producción que se obtiene de la piscicultura.

En los últimos veinte años la producción de dorada y lubina en España ha seguido una tendencia creciente y ha aumentado año tras año su importancia en la producción acuícola a nivel mundial. España fue uno de los países donde se realizaron las primeras producciones intensivas de dorada y en la actualidad es el tercer país productor por

detrás de Grecia y de Turquía. Sin embargo, la evolución positiva de la producción no se ha traducido siempre en buenos resultados empresariales. El incremento de las importaciones de dorada y lubina producida en Grecia y en Turquía provocó sucesivas crisis de precios a lo largo de la pasada década. La caída de los precios redujo los márgenes empresariales y llevó a muchas empresas a la quiebra. La recuperación del precio de venta en los últimos años ha aumentado los beneficios de las empresas. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que existen competidores que pueden comercializar el producto a precios muy competitivos gracias a unos menores costes laborales o unas condiciones medioambientales más favorables. Ante esta situación, el sector ha iniciado reformas con el objetivo de incrementar la competitividad. Una de las principales ha sido la reducción del número de empresas e instalaciones y la concentración de la producción en unidades productivas de mayor escala. El objetivo de esta estrategia es aprovechar las economías de escala y así reducir el coste medio de producción. Por otro lado, y dada la reducción de los márgenes de las ventas, se ha incrementado la rotación de la producción con la intención de recuperar los beneficios a través del aumento de las ventas. Al mismo tiempo se han desarrollado diversas iniciativas para la diferenciación del producto y así evitar competir en precios con los productos importados. Un ejemplo de ello es la marca "*pescado de estero*". Sin embargo, estas estrategias están encontrando mayores dificultades, especialmente en un mercado como el español, donde el pescado es un producto que se consume mayoritariamente fresco y es adquirido en los lineales de las pescaderías. Ello dificulta la diferenciación del producto y la posibilidad de obtener una ventaja competitiva a través de dicha estrategia. A ello se debe añadir el contexto de crisis económica actual, en el que el consumo de pescado se está reduciendo en España y en el que el precio es el principal factor que influye en la decisión de compra de los consumidores.

Las limitaciones en el acceso a zonas marinas para la instalación de unidades de producción, los mayores costes laborales y productivos y los riesgos derivados de la variabilidad en los precios ponen en desventaja a las empresas españolas frente a las de terceros países como Grecia o Italia. Los productores de dorada y lubina se han dado cuenta de la necesidad de incrementar la competitividad de sus procesos de producción. Los beneficios de las economías de escala tienen un límite y las estrategias de diferenciación de producto no están teniendo el éxito esperado. Una de las vías menos investigada ha sido el incremento de la eficiencia a través de la mejora en la gestión de

los procesos operativos. El desarrollo de técnicas, metodologías y modelos que contribuyan a la mejora de los procesos de toma de decisiones y de las estrategias de producción contribuiría enormemente a mejorar la competitividad de las empresas de cultivo de dorada y lubina, como ha ocurrido en otras industrias como la del salmón en Noruega o la del pez gato en Estados Unidos.

CAPÍTULO III

Factores determinantes de la competitividad del proceso de producción acuícola

3.1. Introducción.

Al igual que el resto de actividades dedicadas a la cría de organismos vivos en cautividad, el cultivo de organismos acuáticos es extremadamente complejo. En el caso de la acuicultura se debe añadir que se desarrolla en un ambiente hostil para el hombre como es el agua, lo que añade aún más dificultad en comparación con otras industrias que se desarrollan en tierra firme como por ejemplo la ganadería. La influencia e interacción de factores de ámbitos de conocimiento tan diversos como la biología, la tecnología, el medioambiente, la economía y la gestión empresarial, hacen aún más complejo comprender su comportamiento. Además, si bien existen factores que están bajo el control de los gestores, como el tipo de alimentación o el sistema de cultivo seleccionado, en otros muchos casos no dependen de las decisiones de la dirección e incluso en ocasiones no existe forma de predecir su evolución, como ocurre con las condiciones medioambientales en las que se desarrolla el cultivo o las patologías que sufren los animales.

En los primeros años de producción intensiva de las principales especies de cultivo comercializadas hoy día en el mundo, como el salmón, la tilapia, o el langostino entre otras muchas, el esfuerzo investigador y la preocupación de los empresarios se centraron en los aspectos biológicos y técnicos con el objetivo de incrementar la productividad. El crecimiento de la oferta de producto a un ritmo superior al de la demanda provocó un aumento de la competencia en los mercados de muchas de estas especies a comienzos de la pasada década. La presencia de un mayor número de competidores mostró a los productores que no bastaba con incrementar la producción, sino que además había que hacerlo a través de un proceso de producción más eficiente que permitiera reducir costes y asegurar la continuidad de la empresa. Al considerar cada vez más factores y variables en los procesos de toma de decisiones se ha incrementado la dificultad de los mismos, y los gestores no siempre son capaces de abordarlos de una forma exitosa.

En la actualidad, la capacidad de los gestores para incrementar la eficiencia de los procesos de cultivo es clave para poder reducir el coste de producción y así comercializar un producto competitivo. Sin embargo, la gestión de estas empresas se enfrenta a dos grandes limitaciones. En primer lugar, la falta de conocimientos de los gestores, bien sea por la deficiente formación económica y empresarial, o bien por el

caso contrario, en el que gestores profesionales tienen lagunas de conocimiento en los aspectos biológicos y técnicos de la actividad. En segundo lugar, las limitaciones de la racionalidad humana para llevar a cabo procesos de decisión tan complejos en los que influyen múltiples variables y una gran cantidad de información. La principal respuesta por el momento a estas limitaciones es el desarrollo y normalización de modelos bioeconómicos que serán explicados más adelante, y que suponen una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que integra los diferentes aspectos que afectan a la actividad.

El primer paso para ayudar a las empresas de acuicultura en la gestión de los procesos de producción es conocer cuáles son los factores que influyen sobre el rendimiento de la actividad y que por lo tanto deben considerarse a la hora de tomar decisiones. En consecuencia, el objetivo de este capítulo es identificar los principales factores que influyen sobre los procesos de producción de las empresas del sector acuícola, y que por lo tanto determinan la competitividad de las empresas que pertenecen a él. A tal fin, se realiza una revisión de las principales teorías e investigaciones que guardan una mayor relación con los objetivos de nuestro trabajo, sin que en ningún momento se pretenda llevar a cabo un desarrollo exhaustivo de las mismas. Más bien se pretenden reflejar y destacar aquellos aspectos que permitan construir un marco teórico de referencia que permita comprender tanto la perspectiva teórica de la competitividad desde la que se aborda este trabajo, como los principales factores de competitividad que deben considerarse en las empresas de acuicultura. La omisión de teorías e investigaciones sobre los temas tratados en este estudio no implica un menosprecio de las mismas, sino que responde a las limitaciones de un estudio de estas características. El criterio de selección se ha basado en la relevancia de las mismas para la comprensión de las problemáticas planteadas en esta investigación y para el desarrollo de los análisis empíricos que pretenden aportarles una solución.

La competitividad de las empresas de acuicultura se ve afectada tanto por factores externos, como por factores internos asociados a su proceso de producción. Las teorías sobre organización industrial señalan a los factores de mercado como los determinantes de la competitividad de una empresa (Sirikrai, 2006), distinguiendo entre; el poder de negociación de los compradores, el poder de negociación de los proveedores, la amenaza de nuevos competidores, la amenaza de productos sustitutivos y la competencia actual en el sector (Porter, 1998). Por otra parte, el análisis de los factores

internos se desarrolla a través de la visión de la empresa basada en los recursos, la cual afirma que los recursos y las capacidades de la empresa son los factores que más afectan a la rentabilidad empresarial (Wernelfelt, 1984), y a través de las teorías sobre gestión de operaciones, las cuales señalan a los procesos de producción como una importante fuente de ventajas competitivas de la actividad empresarial (Lowson, 2003). Si bien los factores externos pueden ser genéricos en un sector de actividad o incluso en varios sectores, los factores internos que deben ser considerados dependen de la actividad económica que se realiza en cada empresa y de las variables que influyen sobre su proceso productivo.

En el caso de la acuicultura, la investigación de los factores que determinan la competitividad de las empresas a través de su influencia en el proceso de producción tiene especial relevancia debido a las condiciones particulares en el cultivo de cada especie. La importancia de las variables a considerar en la fisiología de los peces, en las condiciones medioambientales que influyen sobre el crecimiento de los individuos o en el coste de producción sobre el resultado de la actividad, difiere según la especie. Los procesos metabólicos, los rangos de tolerancia a la temperatura del agua, la composición de los piensos de alimentación, las densidades de la biomasa o las tasas de mortalidad, son sólo algunos ejemplos de aspectos que influyen en la cría de todas las especies, pero que lo hacen de forma distinta. Es por ello que el primer paso en el análisis de la competitividad de la producción de dorada y lubina, es identificar los aspectos que condicionan su resultado.

Tras esta introducción se realiza una breve aproximación al concepto de la competitividad empresarial, a su definición, y a las principales teorías que debaten sobre los condicionantes de la misma. En segundo lugar, se realiza una revisión de literatura científica para identificar los principales factores que afectan a la producción acuícola, en especial al cultivo de dorada y lubina. En este mismo apartado se analiza la evolución y el estado actual de una nueva corriente de pensamiento económico llamada bioeconomía, que aborda la gestión de la actividad económica considerando su interacción con las ciencias de la naturaleza y que es cada vez más utilizada en las actividades del sector primario para la gestión de la producción desde una perspectiva multidisciplinar.

3.2. La competitividad empresarial

El presente apartado trata de establecer un marco teórico sobre la competitividad empresarial, de manera que se comprenda el significado del concepto y cuáles son las principales teorías de la *Economía de la Empresa* que tratan de medirla y determinar sus causas. El objetivo no es realizar una revisión del estado de la cuestión en los diferentes enfoques de pensamiento, sino presentar, de una forma sencilla y clara, las implicaciones para la competitividad empresarial de las principales aproximaciones.

3.2.1. Concepto

La Real Academia de la Lengua Española (RAE), en la vigésimo segunda edición de su diccionario de la lengua española, otorga dos significados a la palabra competitividad:

1. *Capacidad de competir.*
2. *Rivalidad para la consecución de un fin.*

Etimológicamente la voz competitividad proviene de competencia, que deriva de la palabra latina *competere*, que según el *Diccionario latino-español*, Sopena, editado por la Editorial Ramón Sopena en 1999, significa en su primera acepción "*encontrarse en un punto, coincidir*" y en la segunda es "*responder, corresponder, estar de acuerdo*".

En la lengua española existen dos verbos que provienen de este verbo latino, *competer* cuyo significado es "*pertenecer, tocar o incumbir*" y *competir* que significa "*contender, rivalizar*". Joan Corominas, en su *Breve diccionario etimológico de la lengua castellana* publicado por la Editorial Gredos en 1998, incluye como derivados de "competir" las palabras *competente* y *competencia*.

La RAE, nuevamente en la vigésimo segunda edición de su diccionario de la lengua española define la competencia como:

1. *Disputa o contienda entre dos o más personas sobre algo.*
2. *Oposición o rivalidad entre dos o más que aspiran a obtener la misma cosa.*
3. *Situación de empresas que rivalizan en un mercado ofreciendo o demandando un mismo producto o servicio.*
4. *Persona o grupo rival.*

A grandes rasgos, la competitividad se define como la capacidad de competir, por lo que el uso de este término se debería limitar a aquellos individuos que actúen en competencia o rivalidad con otros. En el contexto económico, los agentes más adecuados a los que aplicarles el término competitividad son las empresas y por ello la competitividad tiene un carácter primordialmente microeconómico (Salas, 1992).

En el ámbito de la *Economía de la Empresa*, el vocablo competitividad aparece vinculado a la capacidad que las empresas muestran para captar mercados (Acosta, 1999). A partir de esta concepción inicial del término, han sido numerosas las definiciones y los enfoques que se han realizado sobre el término en la literatura microeconómica. A pesar de ello, en la actualidad, una definición generalmente aceptada es aquella que entiende este concepto como "*la capacidad de una empresa u organización para desarrollar y mantener sistemáticamente ventajas comparativas que le permita disfrutar de una posición favorable en el entorno en el que actúa; en otras palabras, generar recursos, habilidades, conocimientos y atributos que hagan posible la obtención de unos resultados superiores a los de sus competidores*" (Bueno, 1987).

Siguiendo este enfoque, en esta investigación el objeto de medida de la competitividad es la empresa, ya que como indica Salas (1992), "*la competitividad está enraizada a nivel de empresa y por tanto la competitividad internacional de las economías nacionales será el resultado de la competitividad de las empresas que producen y exportan desde dentro de sus fronteras*".

Al igual que Acosta (1999), se adopta el "*enfoque estratégico*", que considera a la empresa como un ente vivo y dinámico que no sólo se adapta a las condiciones del mercado, sino que tiene la capacidad de modificarlo. Se deja a un lado así la adaptación a las condiciones estructurales del mercado que postula el enfoque clásico de la *Economía Industrial* denominado "*estructura-conducta-resultados*"

Asimismo, la competitividad es el elemento esencial en la consecución del éxito empresarial en la actualidad. Como afirma Porter (1988), la capacidad de una empresa para obtener un desempeño sobre el promedio de las empresas de un sector en el largo plazo, se basa en su capacidad para generar ventajas competitivas que surgen fundamentalmente de la creación de valor por la diferencia entre el precio que los consumidores están dispuestos a pagar y el coste que ha generado la empresa. El planteamiento de Porter sería posteriormente desarrollado por las teorías estratégicas

que basan la capacidad de las empresas para obtener ventajas competitivas en los recursos, capacidades y habilidades de las organizaciones, en lugar de asociarla al poder de mercado.

En la actualidad, la mayoría de las investigaciones sobre competitividad empresarial adoptan el enfoque denominado *visión ex-ante*, que consiste en la valoración de la competitividad empresarial mediante el estudio de los factores que determinan la capacidad para competir de las empresas. Esta orientación actual de las teorías sobre competitividad deja a un lado el enfoque clásico denominado *visión ex-post*, derivado de la concepción de la competitividad a nivel macroeconómico (Salas, 1992), y que se centraba en la consideración de la capacidad de competir de las empresas a través del análisis de resultados e indicadores económicos, al igual que la competitividad de una nación frente a otras se ha evaluado tradicionalmente a través de sus cuotas de comercio internacional.

Otro de los cambios que se ha producido a lo largo del tiempo en el estudio de la competitividad empresarial está relacionado con los indicadores que se utilizan para la medición de la misma. Tradicionalmente, los indicadores financieros como la rentabilidad económica han sido utilizados como *proxies* de la competitividad para medir el éxito de las empresas en la consecución de la misma (Sirikrai, 2006). En la actualidad, el conjunto de indicadores utilizados se ha ampliado a otros aspectos económicos entre los que destacan la satisfacción del cliente (Sharma y Fisher, 1997 y Tracey, et al., 1999), la cuota de mercado (Anderson y Sohal, 1999 y Sharma y Fisher, 1997); el crecimiento de la cuota de mercado (Tracey et al, 1999); la competitividad global (Lau, 2002), el volumen de ventas (Li, 2000), el crecimiento de las ventas (Lau, 2002 y Sharma y Fisher , 1997) y la productividad (Noble, 1997; Ross, 2002 y Sharma y Fisher, 1997).

Este sistema de medición del desempeño es una herramienta estratégica útil para las empresas manufactureras, ya que posibilita un análisis más detallado del rendimiento de las organizaciones, lo cual puede a su vez conducir a un análisis más significativo de la competitividad empresarial (Sirikrai, 2006).

3.2.2. Factores de competitividad empresarial

Los motivos por los que las empresas alcanzan distintos niveles de éxito en el proceso de rivalidad competitiva que mantienen con otras entidades se explican a través de los denominados *factores de competitividad,* los cuales generalmente se clasifican en tres grupos, en función si su origen es macroeconómico, sectorial o empresarial (Acosta, 1999). Esta clasificación no es la única que se puede realizar, más si cabe aun cuando se producen interrelaciones entre los mismos, que generan un sistema que condiciona y determina la capacidad competitividad de las empresas. En este apartado, y con el objetivo de presentar de forma ordenada y clara los aspectos determinantes del desempeño competitivo de las empresas, se diferencia entre factores macroeconómicos, factores sectoriales o industriales, y factores internos.

3.2.2.1. Factores macroeconómicos

La concepción macroeconómica de los factores que determinan la competitividad de las empresas considera aquellos elementos ajenos a las empresas y que tienen una dimensión nacional, que condicionan y determinan los resultados económicos que estas obtienen.

Como indica Alonso (1992), la competitividad de una empresa no depende tanto de cuestiones internas de la empresa asociadas a su comportamiento estratégico, como de aspectos relativos a la estructura económica, institucional y social del país en el que desarrolla su actividad. Aspectos como el sistema educativo, las infraestructuras de transporte, el sistema financiero, la seguridad o el nivel tecnológico son rasgos que definen el entorno en el cual las empresas desarrollan su actividad, y que por lo tanto condicionan el resultado de la misma.

En este punto, es necesario destacar la contribución realizada por Porter (1990b) al estudio de los aspectos de una economía nacional que condicionan la competitividad de los sectores y las empresas que en ella operan. En su trabajo sobre las ventajas competitivas de las naciones, Porter propone el denominado modelo del diamante de competitividad, el cual afirma que la competitividad de las empresas de un país depende de cuatro rasgos característicos de una nación, que de forma individual y mediante interrelaciones entre los mismos, crean el entorno en el cual compiten las empresas. Estos determinantes básicos de la competitividad de las empresas de una nación son; el

estado de los factores de producción en la nación, haciendo referencia a la cualificación de la mano de obra o al estado de las infraestructuras necesarias para desarrollar la actividad en el sector en cuestión; el estado de la demanda del mercado interior en cuanto al bien o servicio ofertado por un sector determinado; la existencia de sectores auxiliares y afines que actúen como proveedores en el primer caso y que sean competitivos a nivel internacional en el segundo; por último, la estrategia, estructura y competencia de la empresa, condicionadas por la forma en que en la nación en cuestión se crean, organizan y gestionan las empresas.

Los teóricos que defienden los aspectos macroeconómicos de la economía de un país como determinantes de la competitividad de los sectores y empresas que operan en el mismo, argumentan que las cuestiones internas de las empresas tienen poca capacidad de condicionar su competitividad. Las decisiones empresariales son guiadas por el entorno macroeconómico en el que operan, limitando la capacidad de los gestores para mejorar la capacidad competitiva de la empresa a través de un mejor aprovechamiento de los recursos internos de la empresa.

3.2.2.2. Factores sectoriales o industriales

El análisis de la realidad industrial es relativamente reciente, ya que generalmente se consideran los años treinta como el periodo de origen de esta dimensión de análisis económico, denominada en un primer momento *Organización Industrial* y que fue consagrada por Edwar Mason (Universidad de Hardvard) como un campo delimitado y específico del análisis económico, al ser reconocida en 1941 como integrante de la ciencia económica por la *American Economic Association*. Es a partir de la aparición de estudios científicos en Europa relacionados con la realidad industrial, los cuales asumen primero y después modifican el enfoque americano, cuando surge el denominado enfoque de *Economía Industrial* (Ramírez-Cendrero, 2002).

La *Economía Industrial* se centra en el análisis de la estructura de la industria como determinante del comportamiento empresarial, que a su vez determina el rendimiento de las empresas en el mercado (Mason, 1957). Mason asegura que a partir del estudio de la estructura de los mercados, se trata de analizar los diferentes comportamientos competitivos de las empresas en aspectos como la política de precios, la producción o las estrategias de inversiones. En consecuencia se plantea iniciar el análisis en la estructura de los mercados, para a partir de ella, deducir los

comportamientos de las empresas y sus estrategias, y así desde ellos comprender el rendimiento empresarial, en lo que se ha denominado como matriz *estructura-comportamiento-resultados*.

Con posterioridad, La *Teoría de la Ventaja Competitiva* (Porter, 1980, 1985) consideró como unidad de análisis la industria, continuando con el enfoque externo y asumiendo así los principales fundamentos teóricos de la *Economía Industrial*, si bien adopto modificaciones, como por ejemplo la introducción del posicionamiento de los productos y de las empresas como medio de obtención de ventajas competitivas. De esta manera, la *Teoría de la Ventaja Competitiva* aboga por la maximización de los beneficios de cada una de las empresas de forma individual, en detrimento de la concepción de la *Economía Industrial*, que tenía por objeto el bienestar social.

Los conceptos más relevantes utilizados por Porter (1980) en sus proposiciones teóricas son expuestos de una forma sintética por Martínez-Fernández (2001). El concepto de performance se amplía y considera tanto la rentabilidad, como la eficiencia técnica y el carácter innovador de las empresas. Por otro lado, la conducta empresarial se refiere a la toma de decisiones de la empresa relacionadas con aspectos claves como el precio, la capacidad productiva o la calidad del producto, entre otros. Finalmente, la estructura sectorial o de la industria hace referencia a los aspectos técnicos y económicos que caracterizan a una industria y que conforman el contexto en el que las empresas desarrollan su actividad.

Porter (1990a) afirma que la capacidad de las empresas para obtener rendimientos económicos y financieros positivos dependerá de la intensidad de la competencia existente en su sector de actividad. El atractivo de un sector para una empresa se determina en función de las cinco fuerzas competitivas definidas por Porter, según las cuales, un mercado será tanto más atractivo, cuanto menor sea el grado de competencia actual en el sector, menor sea el número de empresas que amenazan con acceder al mercado como nuevos competidores, menor sea el poder de negociación de los clientes, y menor sea la cifra de productos o servicios sustitutivos en otras industrias.

3.2.2.3. Factores internos

A partir del concepto de ventaja competitiva, se desarrollaron una serie de perspectivas que buscan la causa de las ventajas competitivas en los recursos y

capacidades que la empresa posee y controla. La *Teoría de los Recursos*, la *Teoría de las Capacidades Dinámicas* y la *Teoría del Conocimiento* centran su atención en el conjunto de conocimientos y habilidades que generan competencias esenciales para la empresa y pueden englobarse bajo la denominación de *Teoría de los Recursos/Conocimiento* (Lorenzoni y Lipparini, 1999).

La *Teoría de los recursos*, desarrollada a lo largo de los años 80 y los años 90, busca las causas de la competitividad en el interior de la empresa y tiene sus precedentes en Penrose (1959). Como indica Martínez-Fernández (2001), esta teoría surge de la insatisfacción del paradigma *estructura-conducta-resultados*, presente en la *Economía Industrial*, para explicar las bases de la competitividad de las empresas (Bain, 1959 y Porter, 1980).

La *Teoría de los recursos* ha sido promovida por un conjunto de autores (Wernerfelt, 1984; Barney, 1991; Grant, 1991; Mahoney y Pandian, 1992 y Peteraf, 1993) que estudian la naturaleza de las competencias presentes en la empresa y su valor como fuente de ventajas competitivas. Estos planteamientos responden a una realidad que muestra cómo dentro de un mismo sector de actividad existen diferencias en el rendimiento de las empresas que lo integran. La novedad de esta teoría respecto a los planteamientos de las teorías que forman parte de la *Economía Industrial* radica en que la estructura del sector deja de ser el determinante de la competitividad de las empresas, y las diferencias en el desempeño entre ellas tienen su origen en los elementos internos de la empresa. Se abandona de esta manera la consideración del posicionamiento de los productos y las empresas como fuente de ventajas competitivas y se sustituye por el mercado de los inputs (Martínez-Fernández, 2001).

La consideración de la unidad empresarial como nivel de análisis implica que la responsabilidad del éxito o fracaso de la actividad depende de la empresa y su dirección, y no de las características del sector o país en que desarrolla su actividad. Esta teoría argumenta que las empresas son heterogéneas debido a que poseen unas competencias básicas (Prahalad y Hamel, 1990) o unos recursos y capacidad distintivos que permiten la generación de ventajas competitivas sostenibles a medio largo plazo (Wernerfelt, 1984; Rumelt, 1991 y Peteraf, 1993). En este contexto, la capacidad competitiva de la empresa dependerá de su dotación de recursos y de la capacidad que tenga para coordinarlos (Fernández, 1993). En este caso se entiende por recursos al conjunto de activos tangibles e intangibles, así como las habilidades, que son valiosos y no son

sustituibles o que no pueden ser fácilmente imitables (Barney et al., 2001). Se debe diferenciar entre los recursos, que se pueden definir como los factores que son poseídos o controlados por la empresa, mientras que las capacidades son las habilidades y facultades que tiene la empresa para gestionar de forma adecuada los recursos (Martínez-Fernández, 2001).

La clasificación más extendida es la que diferencia entre recursos y capacidades tangibles e intangibles (Wernerfelt, 1984). Los primeros son aquellos que se pueden encontrar en el mercado de factores, como la maquinaria o los inmuebles, mientras que los intangibles no tienen carácter físico, entre los que destacan los recursos humanos, tecnológicos, el fondo de comercio, las habilidades organizativas etc. Grant (1991) realiza otra clasificación en la que diferencia seis tipos de recursos: físicos, tecnológicos, financieros, humanos, reputación y organizativos. De este modo, los recursos financieros (estructura de financiación) y físicos (maquinaria, inmuebles, etc.) tienen un carácter tangible, mientras que el resto tienen un carácter intangible. Posteriormente, Hall (1992, 1993) clasificó los factores intangibles en recursos intangibles y habilidades, según dependan o no de las personas. Entre los primeros encontramos las marcas registradas, las patentes, los derechos de propiedad industrial, las bases de datos, que no dependen de las personas y tiene protección legal. Por otro lado, recursos como la reputación o las relaciones interpersonales son dependientes de las personas y no tienen protección legal. Por su parte, las habilidades, que dependen de las personas y no gozan de protección legal, incluyen aspectos como el *know-how* de los empleados, o la cultura empresarial.

Sin embargo, la literatura especializada no otorga la misma capacidad de contribuir a la competitividad de las empresas a todos los factores. Como indican Acosta et al. (2004), los requisitos exigidos a un factor para adquirir el carácter de estratégicos (heterogeneidad, difícil identificación, reproducción y sustitución, etc.) han generado un amplio consenso sobre la dificultad de construir ventajas competitivas sostenibles en el tiempo a partir de los factores tangibles (bienes de equipo, capacidad productiva, recursos financieros, etc.), otorgando esta capacidad a los denominados recursos estratégicos, en su mayoría intangibles, que inciden de forma clave en la capacidad competitiva de las empresas (experiencia de los empleados, conocimiento tecnológico, cultura empresarial, etc.).

Barney (1991) sostiene que la heterogeneidad empresarial se basa en la capacidad de crear recursos estratégicos al ser valiosos, escasos y difíciles de imitar o sustituir. Por su parte Grant (1991) asegura que la creación de las capacidades de la empresa no es el resultado de una simple aglomeración de recursos, sino que tienen su origen en los complejos procesos de coordinación de los elementos empresariales. Su carácter intangible las hace más difíciles de imitar y por lo tanto suponen una base estratégica más potente que los recursos individuales para la consecución de ventajas competitivas sostenibles. Así, distingue entre los recursos, o factores productivos, recursos estratégicos, o factores generadores de ventajas competitivas, competencias, o interacciones entre los recursos, y capacidades, o habilidades para desarrollar recursos y competencias.

La *Teoría de las Capacidades Dinámicas* trata de superar las limitaciones de la *Teoría de los Recursos* a la hora de explicar adecuadamente los motivos por los que determinadas empresas obtienen ventajas competitivas en situaciones de cambios rápidos y surge así como una evolución de la *Teoría de los Recursos* a los mercados y situaciones del entorno dinámicos (Teece et al., 1997).

El objetivo principal de esta teoría es determinar cómo se obtienen ventajas competitivas en entornos dinámicos y para ello se apoya en las aportaciones teóricas de numerosos autores, entre ellos, Schumpeter (1934), Penrose (1959), Nelson y Winter (1982), Barney (1986), Teece (1988) y Prahalad y Hamel (1990). Esta teoría se centra en el desarrollo de las capacidades directivas, como herramienta para crear y modificar las capacidades internas y externas de las empresas con el objetivo de adaptarse a los cambios que se producen en el entorno (Teece et al., 1997), a través de la adaptación o la creación de nuevos recursos a partir de los recursos ya existentes.

Los aspectos que contribuyen a determinar las capacidades dinámicas de una empresa son los procesos organizativos, las posiciones y las trayectorias (Teece et al., 1997). Los primeros engloban la forma en que se hacen las cosas en una empresa. Las posiciones son el conjunto de recursos distintivos de la empresa en un momento dado. Por lo tanto, los dos primeros engloban los recursos y capacidades de la empresa. Las trayectorias son las distintas opciones o alternativas que la empresa puede seguir en un futuro.

En la creación de nuevos recursos y capacidades no solo interviene la dotación de recursos previa y la capacidad para adaptarla, sino que también influye la capacidad de los individuos de las empresas para incorporar conocimientos existentes en su entorno (Cohen y Levinthal, 1990), que se fundamenta en la capacidad para la identificación, la asimilación, la combinación y la explotación de los mismos. La necesidad de integrar nuevos conocimientos responde a las limitaciones que pueden tener los recursos de una empresa en un momento dado para renovar las competencias y responder a los cambios en el entorno.

La principal limitación de las capacidades dinámicas son rutinas que con el tiempo se pueden generalizar a través de diferentes empresas, por lo que, aunque son valiosas y en un determinado momento pueden ser escasas, con el tiempo se generalizan entre diversos competidores. Como indican Eisenhardt y Martin (2000), la principal consecuencia del carácter sustituible de las capacidades dinámicas es que pueden ser fuente de ventajas competitivas, pero no de ventajas sostenibles en el tiempo.

La relevancia de los aspectos intangibles, entre ellos los conocimientos que la organización y sus integrantes acumulan o pueden adquirir, para la obtención de ventajas competitivas, así como el mantenimiento de las mismas en el tiempo a pesar de los cambios en el entorno, dio lugar al desarrollo de planteamientos teóricos que entienden a la empresa como un conjunto de conocimientos. Estos planteamientos teóricos se agrupan bajo la denominación de *Teoría del Conocimiento* que como indica Grant (1996a), es una ampliación de la Teoría de los Recursos que considera el conocimiento como el recursos más relevante de la empresa, al ser el más difícil de transferir e imitar (Grant, 1996a, 1996b).

Según Nonaka (1993) y Nonaka y Takeuchi (1995), se distinguen dos tipos de conocimiento, el implícito o tácito y el explícito o codificado. El conocimiento implícito es difícil de formalizar y comunicar y se diferencia entre su dimensión técnica, asociada al *know-how* y su dimensión cognitiva, relacionada con las creencias y percepciones. El conocimiento explícito es aquel que se puede transmitir a través de un lenguaje formal o codificado.

Grant (1996a) identifica y expone las características que determinan la capacidad del conocimiento para reforzar la competitividad de las empresas. La *transferibilidad* hace referencia a la facilidad para intercambiar conocimientos, que varía en función del

carácter del mismo, siendo más complejo en el caso del conocimiento implícito que en el del explícito. La *capacidad de agregación* se define como la capacidad del individuo para aumentar el conocimiento que ya tiene. La *apropiabilidad* es la capacidad de los individuos para obtener un beneficio equivalente al valor del conocimiento que tienen. La *especialización en la adquisición del conocimiento* tiene que ver con la capacidad para centrarse en un área de conocimiento concreto y así obtener un mayor rendimiento del mismo. Y por último, dado que se considera que el conocimiento es el principal elemento en la producción de la empresa, se necesitan unos *conocimientos específicos para realizar la producción*.

Los conocimientos generados deben utilizarse para incrementar la competitividad de las empresas a través de la generación de ventajas competitivas. Siguiendo este argumento, Nonaka (1991, 1994) define la innovación como un proceso de generación de nuevo conocimiento de forma colectiva, y la considera el auténtico motor de competitividad de las empresas. Se debe destacar el hecho de que la innovación no solo contiene conocimientos, sino que estos se materializan en productos tangibles o intangibles, que suponen una novedad sobre los conocimientos existentes en la organización y que ayudan a progresar a la organización.

En cualquier caso, la *Teoría del Conocimiento* es una teoría complementaria y no alternativa a la *Teoría de los Recursos* y a la *Teoría de las Capacidades Dinámicas*, dado que hace énfasis en la importancia del conocimiento como principal recurso estratégico de las empresas, y lo considera como un proceso continuo y dinámico en el que el conocimiento de la empresa debe evolucionar y cambiar a lo largo del tiempo para adaptarse a los cambios del entorno.

Aparte de estas teorías de gestión estratégica, la *gestión de operaciones* considera que las operaciones pueden ser una fuente importante de competitividad empresarial. Los inicios de la consideración de las operaciones como un aspecto relevante en la competitividad de las empresas tiene su origen en las consideraciones realizadas por Skinner (1969) al manifestar que los procesos de producción no deberían estar dominados únicamente por la ingeniería, sino que deberían vincularse con las estrategias corporativas. Upton (1994) sostiene que las empresas deben ajustar las capacidades de sus sistemas de producción a las prioridades estratégicas competitivas para alcanzar el éxito. Por su parte, Porter (1996) afirma que un vínculo adecuado entre

la estrategia de la empresa y las operaciones de la misma es la clave para desarrollar una ventaja competitiva sostenible.

Este área de la *Administración de Empresas* explica cómo se puede generar una ventaja competitiva a través de los recursos que se generan en la función operativa de la empresa (Amundson, 1998). Las operaciones de producción afectan a la competitividad a través del desarrollo e implementación de estrategias operativas, que implican una serie de decisiones por parte de las empresas para potenciar sus recursos y aprovechar las oportunidades de mercado identificadas a partir de las necesidades del cliente (Lowson, 2003). El desarrollo de estrategias operativas genera un mejor desempeño en términos de calidad de la producción, variedad de productos, tiempo de desarrollo del producto, número de nuevos productos y costes de producción (Demeter, 2003). Por ello, el diseño de los sistemas de producción debe centrarse en el desarrollo de capacidades competitivas que satisfagan las necesidades de los clientes y mejoren el rendimiento empresarial (Ward et al., 1994).

Las estrategias operativas que consideran la gestión de la calidad, la mejora de la eficiencia de los procesos, la colaboración entre el cliente y el proveedor, el uso de nuevos procesos tecnológicos y el uso del benchmarking, también mejoran significativamente el rendimiento empresarial (Ahmed et al., 1996 y Morita y Flynn, 1997). En especial, la aplicación de tecnologías avanzadas de producción (Gordon y Sohal, 2001; Sharma y Fisher, 1997 y Tracey et al., 1999), la gestión de la calidad (Anderson y Sohal, 1999; Gordon y Sohal, 2001 y Sharma y Fisher, 1997) y el diseño y desarrollo de productos (Gordon y Sohal, 2001; Li, 2000 y Sharma y Fisher, 1997), contribuyen en gran medida a la competitividad de las empresas.

3.3. Factores de competitividad de la producción acuícola

Dado que el presente trabajo se centra en el análisis de la competitividad de los procesos de cultivo de las empresas de acuicultura, se realiza una aproximación a los factores de la dimensión interna que determinan la capacidad competitiva de estas empresas. Con esta decisión no se pretende restar importancia al resto de factores, ni transmitir que los factores macroeconómicos y sectoriales no influyan sobre la competitividad de estas empresas, sino simplemente se consideran aquellos que más se adecuan a los objetivos planteados en esta investigación.

Debido a la diversidad de organismos acuáticos que en la actualidad son criados en cautividad y a la extensa literatura que su estudio ha generado, este apartado se centra en los factores que en especial afectan al proceso de cultivo de las dos especies consideradas en este estudio, es decir, la dorada y la lubina.

3.3.1. Factores biológicos

El estudio de la biología de los animales acuáticos se remonta a la identificación y clasificación de las especies realizada por Carlos Linneo en 1758. La enumeración de los trabajos realizados en este ámbito de conocimiento es de tal amplitud, tanto por los aspectos tratados (alimentación, hábitat, reproducción, patologías, etc.), como por las disciplinas involucradas (biología, veterinaria, ingeniería, etc.), que hace imposible su síntesis global.

Buen indicador de la importancia de este ámbito de conocimiento es el gran número de instituciones públicas con investigación en este área por considerar la acuicultura una prioridad en su labor, entre las que destacan en España: Instituto Español de Oceanografía (IEO), Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Centro de Investigación y Formación Pesquera y Acuícola El Toruño (IFAPA), Grupo de Investigación en Acuicultura del Instituto Canario de Ciencias Marinas (GIA-ICCM), Centro de Investigaciones Mariñas (CIMA), Intitut de Recerca y Teconología Agroalimentàries (IRTA), Centro Tecnológico del Mar y los Alimentos (AZTI), Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía (CTAQUA), Centro Tecnológico de Mar (CETMAR) entre otros, así como numerosos grupos de investigación y departamentos de las diferentes universidades españolas. Por este motivo en este trabajo se hace referencia principalmente a algunas de las aportaciones más relevantes en España, dado que su competencia puede ilustrar sobradamente la evolución global en esta línea.

La viabilidad biológica y técnica del cultivo de una especie marina es la condición previa al planteamiento de cualquier actividad económica relacionada con el cultivo intensivo debido a que requiere la estandarización del proceso de reproducción y engorde en condiciones controladas. Sin embargo, la labor de investigación en este ámbito no acaba con la viabilidad biológica, sino que es más bien el punto de partida para un trabajo continuo cuyo objetivo es incrementar su eficiencia como fuente de ventajas competitivas, tanto en el periodo inicial (en la línea de los trabajos sobre el lenguado (*Solea Senegalensis*) de García-López et al., 2006; Salas-Leiton et al., 2008;

Manchado et al., 2008; Blanco-Vives et al., 2009; Rasines et al., 2009; Carazo et al., 2009 y Salas-Leiton et al., 2010), como cuando el desarrollo de la especie ha alcanzado la madurez (como por ejemplo los trabajos de Liarte et al., 2007; Benítez-Santana et al., 2007; Izquierdo et al., 2008; Chaves-Pozo et al., 2009; Martín et al., 2009 y Fernández-Palacios et al., 2009 para la dorada (*Sparus Aurata*)), en un proceso continuo que es buen indicador de la importancia de la investigación en esta área para el desarrollo de la acuicultura.

El objetivo básico del cultivo en acuicultura es la cría de un animal de la forma más eficiente posible. En el proceso de cría de animales acuáticos se deben considerar diferentes procesos biológicos. En primer lugar, el proceso de reproducción es el que permite la obtención de nuevos individuos para ser cultivados. Posteriormente, el proceso de cría se desarrolla en torno a la función de crecimiento del animal, que es la que permite incrementar el peso de los individuos y alcanzar así las tallas comerciales deseadas. Otro aspecto que afecta al resultado final del proceso de cultivo es la mortalidad de los individuos a lo largo del mismo.

Una vez que se ha cerrado el ciclo de reproducción de una especie, el desarrollo de programas fiables y eficientes para la reproducción y cría de alevines es esencial para la creación y el éxito de granjas de engorde intensivo, ya que fallos en las instalaciones de cría pueden poner en peligro el éxito de estas últimas (Moretti et al., 1999). El objetivo no es solo asegurar la disponibilidad de alevines para el desarrollo de las fases de pre-engorde y engorde, sino también, la producción de los mismos de la forma más eficiente posible, de manera que se obtengan con el menor coste económico. Estos objetivos no solo se dan en las empresas dedicadas a la comercialización de los alevines, sino también en aquellas que tienen el proceso de reproducción integrado en su actividad, y que por lo tanto tienen interés tanto en asegurarse el suministro de alevines, como en hacerlo al menor coste posible.

A lo largo de los últimos años se han realizado numerosos esfuerzos en mejorar la productividad de las instalaciones de cría, entre los que la investigación científica en el ámbito de la biología ha jugado un papel esencial. En el caso de la dorada, la investigación reproductiva se centra en cuestiones como la calidad del esperma y los sistemas de conservación del mismo (Zilli et al., 2009 y Beirao et al., 2012), el desove (Saavedra y Pousão-Ferreira, 2006 y Meseguer et al., 2008), las hormonas reproductivas (Gioacchini et al., 2005) o la inmunología (Picchitti et al., 2001). En el

caso de la lubina, los avances realizados en los últimos años en la investigación reproductiva se centran en aspectos como; el comportamiento de las hormonas reproductivas de los individuos (Miguel-Queralt et al., 2007 y Molés et al., 2008), y el efecto del fotoperiodo sobre las mismas (Bayarri et al., 2004 y Rodríguez et al., 2005); los órganos reproductores o gónadas a través del estudio de las gonadotropinas, (hormonas que regulan el proceso de reproducción) (Rocha et al., 2007a; Rocha et al., 2007b; Molés et al., 2011a y Molés et al., 2011b); así como en la calidad del esperma y el proceso de espermatogénesis (Felip et al., 2006; Viñas y Piferrer, 2008; Martínez-Páramo et al., 2012a; Martínez-Páramo et al., 2012b y Martínez-Páramo et al., 2012c).

La prolongación de los ciclos reproductivos se realiza en los individuos reproductores, pero no en los individuos destinados al engorde. La función de reproducción no solo es relevante para la obtención de alevines, sino que también tiene una marcada influencia sobre el crecimiento de los individuos. En el caso de la dorada, la maduración sexual de los individuos al convertirse en hembras provoca el desarrollo gonadal, lo que disminuye la utilización de energía para el crecimiento. La influencia es tal que es recomendable inhibir los procesos de reproducción en individuos sometidos a engorde intensivo debido a que se evitarían los meses de parada en el crecimiento y se alargarían los procesos de engorde llegando a alcanzarse mayores tallas de comercialización (García-García, 1995). La lubina es una especie gonocorista, con sexos separados, en la que normalmente, las hembras alcanzan mayor tamaño que los machos. La mayoría de los machos alcanzan la primera maduración sexual en el segundo año de vida mientras que las hembras maduran un año más tarde. Estos periodos varían en función de las regiones, siendo más tarde en aguas del Atlántico, si bien en todas ellas ocurre primero en los machos que en las hembras (Avilés, 1993). El retraso de la maduración sexual en las hembras favorece la función de crecimiento ya que los machos tienen que destinar parte de la energía que consumen en el desarrollo de las gónadas (Moles, 2011), por lo que la maximización de la proporción de sexo femenino en las poblaciones de lubina es otro de los objetivos de la investigación en el área de la reproducción (Navarro-Martín et al., 2009).

El crecimiento es una de las actividades de mayor complejidad en cualquier organismo vivo, que resulta de un conjunto de procesos fisiológicos y de comportamiento, que comienzan con la ingestión del alimento y terminan con la deposición de sustancia animal (Calderer, 2001). El crecimiento es el cambio en el peso

a lo largo del tiempo. Schreck y Moyle (1990) definen el crecimiento como cualquier cambio en el tamaño o cantidad de material corporal, positivo o negativo, temporal o intemporal. Las funciones básicas del proceso de crecimiento son ingestión, absorción, asimilación, gasto metabólico y excreción (Brett, 1979). Según Stauffer (1973), las variables independientes más importantes implicadas en el crecimiento son: la ración de alimento, el tamaño del individuo y la temperatura ambiental. El crecimiento es el resultado de la interacción de múltiples factores abióticos, como por ejemplo la temperatura, la luz, la salinidad y la concentración de oxígeno disuelto, y bióticos, como la alimentación, el peso y la competencia entre individuos (Calderer, 2001).

Para el desarrollo de sus funciones vitales, como la alimentación, el crecimiento o la reproducción, los animales necesitan un aporte de energía química (Calderer, 2001). El uso del conjunto de energía química se denomina generalmente como metabolismo energético (Calderer, 2001). Los procesos metabólicos son los responsables de que el individuo transforme mayor o menor proporción del alimento en carne y por lo tanto condicionan el crecimiento.

La tasa metabólica se puede determinar por tres métodos: cuantificando la diferencia entre el valor energético de todo el alimento ingerido y el valor de las excreciones; cuantificando la producción total de calor del organismo o determinando la cantidad de oxígeno utilizado en los procesos de oxidación de los alimentos (Schmidt-Nielsen, 1976). La tasa metabólica de los peces puede clasificarse, como indica Caldeder Reig (2001), en varios niveles de actividad en función de la utilización de la energía; metabolismo estándar, metabolismo de rutina y metabolismo activo (Fry, 1971). El metabolismo estándar corresponde al metabolismo mínimo del estado de reposo y tras la alimentación (Edwards et al., 1972). Por su parte, el metabolismo de rutina, supone toda actividad que eleve el metabolismo estándar como puede ser el proceso de ingesta, el crecimiento, la maduración sexual (Winberg, 1960). Por último, el metabolismo activo es medido cuando el pez nada a la máxima velocidad sostenible (Fry, 1971, Brett, 1972). La tasa metabólica puede verse afectada tanto por factores internos como externos. Los primeros están relacionados con las características fisiológicas del pez. Entre los segundos se pueden distinguir dos grupos: por un lado están los factores controladores como la temperatura o la salinidad del agua. Por el otro, están los llamados factores limitantes, que son aquellos que intervienen directamente en

las cadenas de procesos metabólicos, como por ejemplo el alimento o la calidad del agua (Fry, 1971).

La temperatura del agua es una de las variables con mayor influencia sobre la tasa metabólica (Richards et al., 1977). Los peces son organismos poiquilotermos, luego su metabolismo está muy relacionado con la temperatura (Brett et al., 1969, Smirnov et al., 1986). La relación entre la temperatura y la tasa metabólica establece que, en condiciones de reposo, incrementos en la temperatura provocan aumentos aproximadamente exponenciales de la tasa metabólica. En definitiva, un aumento de la temperatura del agua produce un incremento de la tasa metabólica del individuo. Un aumento del metabolismo implica un incremento del consumo de energía química para la realización de las funciones vitales como reproducción, movimiento, alimentación y trasformación del alimento en carne, contribuyendo así al crecimiento (Calderer, 2001). El aumento de la temperatura contribuye a un mayor crecimiento, si bien la aportación varía en función de la cantidad de energía destinada en ese momento al resto de funciones vitales.

La mortalidad de los individuos a lo largo del proceso de cría es una fuente de riesgos que genera incertidumbre sobre el resultado de los procesos de cultivo. Como en todo grupo de seres vivos, en los peces existen unos niveles de mortalidad natural, según los cuales, cierto porcentaje de los individuos cultivados no sobrevivirá al proceso. Las mayores tasas de mortalidad se dan en las primeras fases de crecimiento, cuando los individuos todavía son larvas y alevines. Posteriormente, a medida que los individuos crecen, las tasas de supervivencia aumentan. Al mismo tiempo, existe otro tipo de mortalidad acontecida por factores externos como pueden ser las enfermedades, cambios en los parámetros medioambientales o exposición a densidades de cultivo inadecuadas entre otras.

El objetivo de los productores es tratar de establecer unas técnicas de cultivo que minimicen la mortalidad natural de los peces y que permitan evitar o minimizar el impacto de los factores externos que pueden condicionar la supervivencia de los peces. En el cultivo de dorada, la actividad investigadora ha prestado atención a la influencia sobre la mortalidad de factores varios como; los parámetros medioambientales (Klaoudatos y Conides 1996 y Mabrouk y Nour, 2011), el fotoperiodo (Tandler y Helps, 1985) o la alimentación (Liu et al., 2002; Mihelakakis et al., 2004; Sadek et al., 2004 y Appelbaum y Jesuarockiaraj, 2009). En el caso de la lubina, se han desarrollado

estudios científicos para conocer el impacto sobre la mortalidad de diversos factores como; la composición de la alimentación (Atalah et al., 2011), el fotoperiodo (Villamizar et al., 2009), los anestésicos (Basaran et al., 2007), las densidades de población (Hatziathanasiou et al., 2002), el canibalismo (Katavić et al., 1989), las condiciones medioambientales (Johnson y Katavic, 1986 y Nathanailides et al., 2010) y la concentración de oxígeno en el agua (Barahona-Fernandes, 1978).

La reducción de las tasas de mortalidad es un aspecto clave de la producción de dorada y lubina, ya que cuanto mayor sea la tasa de supervivencia de los individuos criados, mayor será el número de alevines o peces disponibles para su comercialización y por lo tanto, más altos serán los ingresos con los que cubrir los gastos acometidos durante el proceso de producción, realizar nuevas inversiones y retribuir al capital.

3.3.2. Factores técnicos

La reproducción y cría de los organismos acuáticos requiere de la intervención del hombre en los procesos biológicos a través de la modificación y control de los mismos por medio de diferentes técnicas y procesos tecnológicos. Además de un personal cualificado, de la estandarización de los procedimientos, y del *know-how*, la eficiencia en el cultivo depende de un conjunto de equipos e instalaciones de producción (Moretti et al., 1999).

La investigación y la inversión realizada en la actividad acuícola en los últimos 50 años ha permitido alcanzar la viabilidad técnica para el cultivo intensivo de numerosas especies, incrementando los niveles de productividad de los sistemas extensivos y semi-extensivos en unos casos, y permitiendo la cría en cautividad de especies no cultivadas anteriormente en otros. El grado de tecnología aplicado a los sistemas no intensivos es muy bajo, y por lo tanto los aspectos técnicos no juegan un papel relevante en los mismos. En el caso de la dorada y la lubina, la intervención del hombre es escasa y se limita a acciones tales como la construcción de cierres para evitar la salida de los individuos de las zonas intermareales o la modificación y construcción de balsas en estas mismas zonas. Por otro lado, los procesos se consideran semi-intensivos cuando la intervención humana sobre el medio natural es mayor, debido a actividades como la oxigenación del agua o el suministro de dietas artificiales. Esta falta de mecanismos para incrementar el rendimiento de los cultivos es la principal causa de la menor productividad de estos sistemas frente a los sistemas intensivos. Posteriormente, la

producción intensiva se pudo alcanzar gracias tanto al desarrollo de sistemas en los que controlar por completo el proceso de reproducción y cría en tanques replicando artificialmente las condiciones naturales, como al diseño y construcción de instalaciones bien para el engorde en tanques en tierra firme, o bien para el cultivo en jaulas instaladas en el mar.

En general, el uso o no de equipos técnicos más avanzados dependerá de la situación socioeconómica en cada localización ya que cada país tiene su propio nivel de desarrollo tecnológico, equipos, conocimientos técnicos y cualificación de los recursos humanos a los que se debe adaptar la producción (Moretti et al., 1999). En el caso de la dorada y la lubina, el grado de acceso a las tecnologías y los sistemas estandarizados de cultivo es similar en las principales zonas de producción de la cuenca mediterránea y no existen desventajas competitivas derivadas del distinto grado de desarrollo tecnológico o de la imposibilidad del acceso y mantenimiento a la tecnología más avanzada.

En el desarrollo de la tecnología necesaria para el cultivo intensivo han sido fundamentales los conocimientos obtenidos sobre anatomía, hábitos de reproducción, procesos alimenticios, metabolismo o crecimiento, entre otros, para conocer cuáles son los parámetros que intervienen en el proceso de cultivo, y así recrearlo de forma artificial. A modo de ejemplo; conocer los requerimientos nutritivos de la dorada y la lubina permite investigar sobre los compuestos de alimentación artificiales que aporten el nivel de nutrientes óptimo; analizar cómo los diferentes factores medioambientales que intervienen en el proceso de cría afectan a la fisiología de los individuos permite reproducir las condiciones que favorecen, incluso optimizan, las funciones vitales de los individuos; identificar las enfermedades que afectan a los individuos permite desarrollar medicamentos para evitarlas o tratarlas y así reducir o eliminar la mortalidad por enfermedad. De esta manera, la disponibilidad de tecnologías que no solo contribuyan a reproducir las condiciones naturales de cultivo, sino también a mejorarlas teniendo en cuenta los resultados de las investigaciones y experimentos realizados, permite incrementar los niveles de productividad que se alcanzan en los sistemas extensivos.

Los avances tecnológicos pueden clasificarse en dos grandes grupos, por un lado, el diseño de instalaciones en las que desarrollar los cultivos, y por el otro, la creación de componentes que permitan reproducir las condiciones más adecuadas para la producción. En el cultivo intensivo de dorada y lubina existen principalmente dos sistemas de producción, el cultivo en tanques en tierra firme y el cultivo en jaulas en el

mar. La producción en tanques incluye tanto las fases de reproducción y cría de las larvas y los alevines en los criaderos o *hatcheries*, como los sistemas de engorde de los individuos. Como ya se explicó en los apartados 2.2 y 2.7.2, el cultivo en tanques permite alcanzar mayores densidades de producción pero implica más inversión en instalaciones y unos costes energéticos y de mantenimiento más altos, mientras que en la producción en jaulas ocurre lo contrario, se requiere una menor inversión, unos menores costes, pero también se obtiene una menor productividad. Estos sistemas requieren diferentes tecnologías para el desarrollo de la actividad. La producción en tanques conlleva la instalación de sistemas para la reproducción, control y monitorización de las condiciones medioambientales, como la temperatura del agua, la salinidad, o la concentración de oxígeno, así como sistemas para la alimentación de los individuos, tanto en los criaderos como en las instalaciones de engorde. Por su parte, la tecnología para el cultivo en jaulas en el mar se centra en el desarrollo de estructuras que perduren en un entorno hostil en el que pueden acontecer condiciones oceanográficas adversas como olas, corrientes o tormentas. En función de la localización en la que se instale la actividad, existen distintos tipos de jaulas (flotantes, semi-sumergibles, sumergibles) y diferentes sistemas de enrejados de mayas.

Asimismo, aparte de los equipos e instalaciones de cultivo, existen otras cuestiones técnicas que influyen en la fisiología de los peces. Uno de estos aspectos que concentra más trabajo de investigación es la sanidad animal, debido al efecto de las diferentes patologías sobre las tasas de mortalidad entre los que destacan los trabajos de Sepulcre et al., 2007, Cuesta et al., 2008, Cano et al., 2009, Scapigliati et al., 2010 y Cano et al., 2010. La aparición de enfermedades en el stock de peces en proceso de cría es un riesgo siempre presente en la piscicultura, más si cabe si consideramos que en cautividad todos los individuos se encuentran en un mismo espacio, lo que aumenta la propagación de las enfermedades. El estudio de patologías y diseño de medicamentos para prevenirlas y eliminarlas minimiza un acontecimiento que, de otra manera, implicaría la muerte de una gran parte de los individuos. Otro de los aspectos que condiciona la productividad de las explotaciones y que es un factor que influye en la evolución de su competitividad es la genética, y especialmente dentro de esta, la mejora genética, siendo algunas de las más recientes contribuciones en este campo en el cultivo de la dorada y la lubina en España las realizadas por Castro et al., 2007; Castro et al., 2008; Sánchez-Ramos et al., 2009; Sánchez et al., 2009; Navarro et al., 2009.

Una de las ramas del estudio de la biología que más relación tiene con el cultivo intensivo de especies acuáticas es el proceso nutritivo (Kolkovski et al., 1993; Zambonino Infante y Cahu, 1994; Moyano et al., 1996; Company et al., 1999a y Peres y Oliva-Teles, 1999). La importancia del estudio del proceso de alimentación y de las enzimas, proteínas y demás componentes que intervienen en el mismo se debe al papel de la nutrición como fuente de la energía química necesaria para poder realizar a diario funciones vitales como la alimentación, la reproducción o el crecimiento (Calderer, 2001). En consecuencia, el estudio de la composición del pienso y su incidencia sobre las funciones vitales de la especie, ha sido un objetivo prioritario en esta área donde destacan los trabajos de Fernández et al., 1998, Moñino et al., 2002, Montero et al., 2005, Velázquez et al., 2006, Couto et al., 2008, Mendes et al., 2009, García-Meilán et al., 2009, Sánchez-Lozano et al., 2009 y Díaz-López et al., 2010. Los resultados de este tipo de estudios han sido diversos y en ocasiones controvertidos, debido a que los resultados dependen en muchas ocasiones de otros factores como la temperatura del agua, la densidad de la biomasa, la disponibilidad de oxigeno o la calidad del agua entre otros (NRC, 1983) que se han utilizado en el experimento.

En el caso de la dorada y la lubina son muchos los trabajos experimentales que someten a los individuos a diferentes dietas, analizando posteriormente el comportamiento del ratio de crecimiento, la digestibilidad, la tasa de conversión y otros indicadores en cada una de ellas (Zambonino Infante y Cahu, 1994; Lupatsch et al., 1997; Ballestrazzi et al., 1998; Fernández et al., 1998; Boujard et al., 2004; Lopparelli et al., 2004; Montero et al., 2005; Velázquez et al., 2006; Fernández et al., 2007; Couto et al., 2008 y Montoya et al., 2011). Las proporciones de lípidos y proteínas (Company et al., 1999b), la utilización de aceites vegetales o procedentes de peces (Fountoulaki et al., 2009 y Benedito-Palos et al., 2007) o el efecto de los ciclos de alimentación sobre los ritmos biológicos (Montoya et al., 2010), son solo algunos ejemplos de los múltiples componentes estudiados.

Los trabajos de investigación sobre el efecto de los niveles de proteínas y lípidos en el crecimiento y en el aprovechamiento nutritivo han sido numerosos tanto en la lubina, como en la dorada, pero no fue hasta la publicación del estudio de Moñino et al. (2002) cuando se analizó la eficiencia económica de las distintas dietas. Según Moñino et al. (2002), la elección del pienso, entre la gran oferta que existe en la actualidad, debe estar basada en los resultados obtenidos en cuanto a crecimiento, eficiencia alimentaria

y sobre todo, rentabilidad económica. Los resultados del trabajo de Moñino demostraron que el pienso con mayor contenido en proteínas y lípidos, origina un mayor peso final y una mayor tasa de crecimiento, derivados de un mayor índice de conversión. Si bien es cierto que el pienso que produjo mejores resultados es el más caro y supuso un mayor coste que los demás, debido a la mayor biomasa y mayor valor de venta que originó, el rendimiento económico de este pienso fue mayor. Los piensos más caros contenían una mejor composición alimenticia que generó una mayor productividad. La mayor biomasa alcanzada con el pienso de mayor precio generó en definitiva una mayor eficiencia en los costes. Los resultados del trabajo de Moñino et al. (2002) permiten afirmar que la utilización de piensos con un precio más elevado no es sinónimo de incremento de los costes en términos relativos. Si el mayor precio del pienso, deriva de una mejor calidad del mismo, esta puede disminuir la tasa de conversión y por ende el valor de los aprovisionamientos consumidos en relación con las ventas realizadas. En definitiva, un mayor precio del pienso puede ser sinónimo de una mayor calidad alimenticia, la cual genera una mejora del rendimiento económico de la actividad gracias a una mejora de la productividad y a una mayor eficiencia en costes.

3.3.3. Factores medioambientales

Un aspecto crucial a la hora de decidir sobre invertir en el sector de la acuicultura marina es la localización de las instalaciones productivas (Gasca-Leyva et al., 2002). El lugar donde se desarrolla la actividad determina la temperatura del agua, el grado de salinidad, la luz y la concentración de oxígeno en el agua, entre otros (Calderer, 2001).

La temperatura del agua es una de las variables que más influyen en el crecimiento del pescado (Brett y Groves, 1979 y Corey et al., 1983). Su efecto sobre los procesos de cultivo acuícolas ha sido extensamente analizado para un gran número de especies como es el caso del rodaballo (Burel et al., 1996; Imsland et al., 1996; Imsland et al., 2000 y Van Ham et al., 2003), el salmón (Forseth et al., 2001; Jonsson et al., 2001 y Handeland et al., 2008), la trucha (Elliott, 1975) o el bacalao (Björnsson et al., 2001 y Björnsson et al., 2007). La importancia adquirida por la dorada y la lubina en la maricultura ha generado una extensa literatura sobre el efecto de la temperatura del agua en el cultivo de ambas especies, (Tandler et al., 1989; Polo et al., 1991; Claireaux y Lagardère, 1999; Ayala et al., 2001; Calderer, 2001; Ruyet et al., 2004; Couto et al.,

2008; Mayer et al., 2008; Gómez-Milán, 2011; Lahnsteiner y Caberlotto, 2012; Vinagre et al., 2012a y Vinagre et al., 2012b).

El asentamiento de las instalaciones de producción en una determinada zona costera u otra, determina unos parámetros de temperatura del agua en los que se van a desarrollar los ciclos productivos de cría y engorde de la dorada y la lubina. Este parámetro, es un claro ejemplo de una variable medioambiental que afecta a los procesos de producción acuícola marina (Hernández et al., 2007). Existen autores que clasifican la temperatura y las demás variables medioambientales como exógenas, es decir, fuera del ámbito de decisión del empresario. Por ejemplo, Hernández et al. (2007) afirman que la evolución de esta variable, en ocasiones, no depende de las decisiones del empresario, pero debido a su influencia en el crecimiento debe ser incluida en los modelos de producción. La concepción de la temperatura como un factor exógeno deriva de la utilización de métodos de trabajo experimentales, en los que se recoge información sobre una instalación de cultivo durante un periodo determinado de tiempo. Bajo este método de trabajo, las variables ambientales como la temperatura, la salinidad o la calidad del agua no están bajo el control del empresario. Sin embargo, están supeditados a la localización, de modo que el empresario decide antes de comenzar la actividad en qué condiciones ambientales se va a desarrollar (Gasca-Leyva et al., 2002). La temperatura del agua influye en la capacidad competitiva de una empresa por su influencia en el crecimiento de los individuos (Hernández et al., 2003), en la cantidad de alimento que se debe suministrar a los peces, y en el momento óptimo de cosecha (Hernández et al., 2007).

La temperatura del agua tiene una relación positiva con la tasa de eficiencia alimentaría, reduciendo por lo tanto el tiempo de cultivo. A temperaturas mayores aumenta la cantidad de alimento que la dorada y la lubina transforman en carne con el consecuente ahorro en pienso (Calderer, 2001). De este modo, cuanto mayor es la temperatura del agua, mayor es la productividad de la instalación, teniendo en cuenta siempre los rangos de temperatura óptima de cada una de las especies. Como ya se explicó en los apartados 2.6.1 y 2.7.1 de esta Tesis Doctoral, la temperatura óptima de cultivo de dorada se sitúa entre los 23ºC y los 25 ºC (Calderer, 2001 y Gasca-Leyva et al., 2002) y entre los 22 ºC y los 26 ºC en la lubina (Claridge y Potter, 1983 y Person-Le Ruyet et al., 2004).

La salinidad es otro de los factores determinados por la localización de la explotación en el caso de instalaciones en el mar. La dorada y la lubina son especies que toleran un amplio rango de salinidades diferentes a aquellas en las que suelen habitar. Como indica Caldeder (2001), se han llevado a cabo estudios relacionados con el efecto de la salinidad sobre el crecimiento en una amplia variedad de especies, con resultados muy variables (De Silva y Perera, 1976; Alliot et al., 1983; Eisawy y Wassef, 1984; McKay y Gjerde, 1985; McCormick et al., 1989; Duston, 1994 y Woo y Kelly, 1995). Sin embargo, los trabajos sobre el efecto de la salinidad sobre el consumo de alimento y sobre el crecimiento son pocos en el caso de la lubina (Alliot et al., 1983; Dendrinos y Thorpe, 1985; Saillant et al., 2003; Rubio et al., 2005; Ky et al., 2007 y Sucré et al., 2013) y la dorada (Chervinski, 1984; Tandler et al., 1995; Klaoudatos y Conides, 1996; Conides y Glamuzina, 2006; Klaren et al., 2007; Appelbaum y Arockiaraj, 2009; Mabrouk y Nour, 2011 y Gregorio et al., 2013).

La tolerancia de la dorada y la lubina a altos niveles de salinidad las permite sobrevivir en aguas más salobres en las que sus posibles depredadores no habitan, lo que facilitaba su cultivo extensivo y semi-extensivo en lagunas y esteros. En la actualidad, y con la generalización del cultivo intensivo tanto en tanques como en jaulas en el propio mar, el factor salinidad deja de ser una ventaja para la dorada y la lubina, y pasa a ser una variable más a estudiar para optimizar el rendimiento productivo. El que la dorada y la lubina sean especies que se adaptan mejor a ambientes con mayor salinidad que la existente en mar abierto, no implica que sea beneficioso para su desarrollo. Algunos autores (Tandler et al., 1995 y Saillant et al., 2003) han comprobado que existe una relación inversa entre el nivel de salinidad y el porcentaje de supervivencia de alevines de dorada y lubina en cultivo, de manera que a mayor salinidad, mayor índice de mortalidad. El efecto de la salinidad del agua sobre la tasa de crecimiento de estas especies está relacionado con la temperatura. La tasa de conversión y de crecimiento de la lubina está influenciada por el nivel de la salinidad del agua cuando la temperatura del agua es baja, influencia que no existe a mayores temperaturas (Saillant et al., 2003). La influencia que describen estos autores a bajas temperaturas es negativa, es decir, el crecimiento de la lubina es mayor cuando el agua tiene menores niveles de salinidad. En definitiva, se podría resumir que la mortalidad de los individuos es mayor a mayores niveles de salinidad del agua y que el crecimiento de la dorada y la

lubina es mayor a menores niveles de salinidad, siempre y cuando el agua esté a bajas temperaturas.

La revisión de la literatura permite afirmar que la temperatura del agua y la salinidad son dos de los factores medioambientales que más inciden sobre el proceso de crecimiento de la dorada y la lubina. Otros factores como la luz o la concentración de oxígeno en el agua han sido objeto de estudio pero en menor medida. La cantidad y periodicidad de la luz afecta al crecimiento, interaccionando con otros factores ambientales, especialmente con la temperatura del agua, al afectar a la producción de la hormona del crecimiento (Calderer, 2001). La mayoría de estudios se desarrollan en torno al análisis de la reacción de las distintas funciones vitales de los individuos ante cambios en la intensidad y en los ciclos de exposición a la luz, y en los casos que sea posible, a la manipulación del fotoperiodo para favorecer el crecimiento (Felip et al., 1999; Saka et al., 2001; Cuvier-Péres et al., 2001; Meseguer et al., 2008; López-Olmeda et al., 2009; Villamizar et al., 2011; Karakatsouli et al., 2012 y Rodríguez et al., 2012). Respecto al papel de los niveles de oxígeno disuelto en el agua, el metabolismo de los peces se basa en la respiración. La energía requerida por el organismo se produce a partir de la oxidación de la materia orgánica. Los peces obtiene el oxígeno necesario para este proceso del agua (Moretti et al., 2005). Cuando el animal no puede satisfacer su demanda de oxígeno, se ve obligado progresivamente a reducir actividades como la natación, alimentación o crecimiento, e incluso en casos extremos, es incapaz de sobrevivir (Calderer, 2001). Tal es así, que el consumo de oxígeno es un indicador ampliamente utilizado para medir la actividad metabólica de los individuos. La mayoría de los peces están adaptados a las fluctuaciones en los niveles de oxígeno en el agua y consiguen mantener sus tasas metabólicas ante disminuciones de oxígeno en el agua, por lo menos hasta un cierto nivel crítico (Neill et al., 1994). Existe una amplia literatura sobre los requerimientos mínimos de oxígeno para la vida de los peces, si bien en el caso de las especies marinas han sido mucho menos estudiados (Calderer, 2001). En el caso de la dorada y la lubina, el oxígeno juega un papel crucial cuando la producción se desarrolla en tanques, en los que las densidades alcanzan niveles muy altos (15-45 kg/m^3) y se deben realizar inyecciones masivas de oxígeno para asegurar la supervivencia de los individuos. Por otro lado, en el proceso intensivo en jaulas en el mar la concentración de oxígeno en el agua es un factor medioambiental menos relevante, ya que además de producirse a unas densidades más bajas (10-15 kg/m^3), al

encontrarse en un sistema abierto en el que el agua se regenera constantemente de forma natural, las concentraciones de oxígeno no se reducen por debajo de los niveles en los que el metabolismo de los peces se mantiene constante. La escasa literatura sobre las concentraciones de oxígeno y su efecto sobre el metabolismo de la dorada y la lubina ha sido aplicada al cultivo en instalaciones en tierra (Claireaux y Lagardère, 1999; Thetmeyer et al., 1999; Tudor, 1999; Saroglia et al., 2000; Calderer, 2001; Cecchini y Caputo, 2003 y Saroglia et al., 2009), donde a diferencia de la producción en jaulas marinas, este factor puede ser modificado y controlado por los productores.

Se debe mencionar la existencia de trabajos que enfocan el análisis de los factores medioambientales considerando la localización como condicionante de los mismos. Desde esta perspectiva se incorpora al análisis un tercer factor que no es ambiental, pero está condicionado por la decisión de asentamiento de las instalaciones. La distancia a los mercados de distribución es una variable que se determina en el momento de decidir la localización, tras lo cual no se modifica salvo un traslado de las instalaciones, o una modificación de los mercados de destino del producto.

Los costes de comercialización que asume una empresa de cultivo acuícola se clasifican en cosecha, selección, paletizado y transporte. La distancia a los mercados es determinante de los costes y puede influir en la determinación de la estrategia empresarial de aquellas más distantes con respecto a las que estén más cercanas (Hernández et al., 2007) .Una mayor distancia a los mercados supone una desventaja competitiva por los mayores costes, no solo de distribución, sino también de aprovisionamiento. En el trabajo llevado a cabo por Gasca-Leyva et al. (2003) sobre el cultivo de la dorada en las Islas Canarias y la costa mediterránea española, se determinó que la distancia de las Islas Canarias a los mercados de distribución del continente conllevaba unos mayores costes de aprovisionamiento y distribución, que finalmente repercutían en el rendimiento de la empresa.

3.3.4. Factores económicos y de organización empresarial

La línea de investigación quizá menos extendida en la acuicultura es la relacionada con las cuestiones económicas y de organización empresarial. La información más completa y que se publica con mayor periodicidad tiene un carácter sectorial, y son muy escasos los trabajos que aportan información a nivel de empresa.

En el caso de la dorada y la lubina, existen una serie de organismos, instituciones y empresas de carácter público y privado que recogen, procesan y publican información agregada sobre la evolución de las cantidades producidas, el valor económico de las mismas y los flujos comerciales que generan. Por un lado, existen informes puntuales como el publicado por la Comisión Europea y realizado por la *University of Stirling* en 2004, que analiza la producción y los mercados de dorada y lubina en Europa (European Commission, 2004). Por otro lado, existen publicaciones de carácter periódico, como las que facilita la FAO a través de GLOBEFISH, en las que se publica en los meses de Febrero y Agosto de cada año un informe sobre la producción, las importaciones y las exportaciones de estas dos especies en los países productores y en los principales mercados de destino. Al mismo tiempo, se pueden consultar diversas plataformas de comunicación que a través de internet publican periódicamente información sobre producción y precios de mercado. En el caso de España destacan la plataforma "MisPeces" (www.mispeces.com), portal de noticias especializado en acuicultura, y FIS España (*Fish Information & Services*), portal de ámbito global especializado en información sobre pesca, acuicultura y productos pesqueros. La Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos (APROMAR) elabora el informe más completo sobre la piscicultura marina en España, el cual anualmente proporciona información sobre el estado de la producción y el comercio de la dorada y la lubina en Europa y en España, además de cierta información sobre el número de instalaciones activas, las personas que emplea la actividad o la cantidad de pienso consumida.

Aunque existe un interés por la evolución de los datos sectoriales de producción y comercialización de estas dos especies, no se han realizado muchos esfuerzos por analizar los aspectos económicos y empresariales en el ámbito de los procesos de cultivo. Existen algunos estudios en los que se analiza la estructura de costes de la producción, si bien se trata de trabajos estáticos en los que se determina un coste medio de producción a partir de un conjunto de empresas, y que habitualmente tienen por objetivo determinar la viabilidad económica de una actividad. Estos trabajos son de gran utilidad para aclarar cuáles son los componentes más relevantes del coste de producción de estas dos especies, y que por lo tanto cuya consideración debe ser prioritaria en cualquier estudio económico que se desarrolle sobre la producción de dorada y lubina. Stephanis (1995) analizó la viabilidad económica de la producción de dorada y lubina a escala industrial en Grecia y determinó que el coste de los alevines y el del pienso

utilizado para la alimentación representaban el 22 por ciento y el 31 por ciento respectivamente. Karagiannis et al. (2000) determinaron que la especialización en el cultivo de dorada o lubina, en lugar de la producción conjunta de ambas beneficia a la eficiencia en costes del proceso productivo. Koçak y Tathdil (2004) desarrollaron un análisis de costes en la producción de dorada y lubina en el distrito de Milas en la provincia de Mugla, en Turquía. A partir de la información de un total de 24 empresas determinaron que el coste medio de producción de dorada en esta región era de 2,48 $/kg y el de lubina ascendía hasta los 2,34 $/kg. Asimismo, analizaron la estructura de este coste, diferenciando entre costes variables (alevines, pienso, medicinas, energía e intereses sobre el capital operativo) y costes fijos (mano de obra, alquileres, amortizaciones, mantenimiento e intereses sobre el capital fijo). Los resultados mostraron que los costes variables representan un 95 por ciento del coste total de producción en ambas especies. El principal coste de producción es el pienso, un 43 por ciento y un 39 por ciento para la lubina y la dorada respectivamente, seguido por el coste de los alevines, que representa un 36 por ciento en ambos casos. Los costes de energía no superan el dos por ciento del coste total, la mano de obra está por debajo del tres por ciento y las depreciaciones no alcanzan el uno por ciento. Llama la atención el elevado coste de financiación de la actividad que se aproxima al 20 por ciento del coste total. Posteriormente, en el citado informe de la *University of Stirling* para la Comisión Europea (European Commission, 2004) se detalló información sobre el coste medio de producción de la dorada y la lubina en los principales países productores de la ribera mediterránea. En términos medios, los costes denominados directos (alimentación, alevines, mano de obra, empaquetado y otros) representan un 86 por ciento del coste total de producción. El coste medio de producción para individuos de 300-400 g de peso, considerando la actividad en Grecia, Italia, España, Francia, Portugal y Turquía, es de 4,24 €/kg. Por encima de este coste medio se encuentra la producción en Portugal (5,24 €/kg) e Italia (4,27 €/kg), mientras que en Francia (4,20 €/kg), España (4,15 €/kg) y sobre todo en Grecia (3,90 €/kg) y Turquía (3,68 €/kg) se alcanza un coste medio inferior. El coste del alimento es la partida de gasto más importante (35 por ciento), seguida por el coste de los alevines (19 por ciento) y por el coste laboral (17 por ciento). Finalmente, Wagner y Young (2009) analizaron las ventajas de la producción intensiva frente a la extensiva, y de los beneficios que las economías de escala derivadas de la mayor capacidad productiva de las empresas han supuesto para el sector. Entre otras ventajas, identifican una disminución en el coste de producción de los alevines de

dorada del 54 por ciento, desde los 0,48 € hasta los 0,22 € por unidad, y del 50 por ciento en el caso de la lubina, desde los 0,42 € a los 0,21 € por unidad.

La diversidad de resultados obtenidos dificulta la determinación de un coste medio de producción de la dorada y la lubina, así como de la determinación de una estructura de costes estándar aplicable a todo el sector productor. Sin embargo se pueden extraer dos conclusiones que afectan a la competitividad de las empresas de esta industria. En primer lugar, a pesar de que se observa que el coste medio de producción en esta actividad se sitúa entre los 3,5 €/kg y los 4,5 €/kg, tanto el coste de producción como la estructura de costes difieren en función de la localización, de la especie, del sistema de producción, del peso del individuo despescado, así como de otra serie de factores que impiden extrapolar los resultados de un determinado estudio al resto del sector. Estos datos manifiestan las diferencias en la eficiencia de los procesos de cultivo entre países, lo que se traduce en posiciones competitivas favorables para aquellos productores que consiguen producir un kilogramo de dorada o lubina con menos euros. En segundo lugar, los diferentes análisis de la estructura de costes muestran como la mayor parte de los costes de esta actividad son variables, y que los principales costes de cultivo son la compra o producción de alevines y la adquisición de pienso.

A pesar de la utilidad de esta información, el estudio económico de la actividad no debe limitarse al análisis descriptivo de la estructura de los costes de producción. En España, García-Arthus (2002) y Luna (2002) estudiaron la rentabilidad de las empresas acuícolas a partir de su información contable. La actividad productiva de la empresa se enmarca dentro de una estructura económico-financiera general, que se encarga de gestionar las inversiones, conseguir los recursos y la financiación necesarios para desarrollar la actividad, además de tomar las decisiones estratégicas para mantener una posición competitiva en los mercados en los que actúa. La medición del éxito en la gestión empresarial se realiza, desde una perspectiva económico-financiera, a través de la rentabilidad económica y la rentabilidad financiera. La rentabilidad económica es el rendimiento que la empresa obtiene por sus activos o inversiones, mientras que la rentabilidad financiera es el rendimiento que obtienen los fondos propios de la empresa (Cuervo, 2004). El análisis de la rentabilidad financiera determina su dependencia de la rentabilidad económica y de la estructura financiera adoptada por la firma. La diferencia entre ambas rentabilidades se debe al efecto denominado ‘apalancamiento financiero’ el cual recoge el hecho de que una estructura financiera determinada incrementa la

rentabilidad financiera con respecto a la económica (Rivero y Cuervo, 1986, Amat-Salas, 1994). El efecto del apalancamiento indica que si la empresa dispone de oportunidades de inversión capaces de proporcionar unas rentabilidades superiores a los costes de utilización del capital ajeno, será beneficioso para los accionistas que la empresa se endeude, pues ello llevará a una mejora de la rentabilidad de los fondos propios. Por el contrario, cuando la rentabilidad que se obtenga de las inversiones sea inferior al coste de la deuda, el empleo de recursos ajenos sólo contribuirá a reducir la rentabilidad de los recursos propios (Cuervo, 2004). Según Esteo-Sánchez (1998), existe un consenso generalizado entre los autores en cuanto a que la estructura financiera debe diferenciarse de la estructura económica o de los activos. Según Penman (1991) existen diferentes motivos para analizar estos dos conceptos por separado relacionados con la independencia de la gestión de los activos con respecto a la financiación de los mismos. En el caso concreto de la acuicultura, para analizar el rendimiento económico de los procesos de producción, se debe considerar únicamente el rendimiento de los activos, de tal forma que la estructura de financiación de la empresa no influya en los resultados y las conclusiones que se puedan extraer sobre la rentabilidad de los activos productivos.

Desde la perspectiva económica, el rendimiento de los activos está influido por la eficiencia operativa, el grado de libertad en la fijación del precio de venta y el grado de utilización de los mismos (Azofra, 1995). Por lo tanto, con el objetivo de obtener una mayor rentabilidad de los activos, los gerentes de las empresas de acuicultura deben tomar decisiones encaminadas a conseguir una gestión eficiente de los costes de producción, a través de la cual minimizar los gastos para un nivel de producción determinado, una elevada eficacia comercial, con la que se pretende fijar el mayor precio de venta al producto comercializado y un elevado nivel de rotación del activo, mediante el cual se incrementa la utilización del mismo. La estrategia competitiva que sigue la empresa viene determinada por la relación entre la rotación del activo y el margen comercial (Porter, 1980), dependiendo este último de la eficiencia operativa y del grado de libertad en la fijación del precio de venta.

La capacidad de producción de las empresas de cultivo de dorada y lubina es otro factor que influye sobre la eficiencia de los procesos de producción. En muchos casos es considerada como una cuestión económica, por lo que resulta habitual en la literatura científica utilizar como variable *proxy* del tamaño empresarial diferentes indicadores

económicos tales como el valor de los activos (Suárez, 1977) o la cifra de ventas de la empresa (Gómez-Miranda y Rodríguez-Ariza, 2004). En el caso de la acuicultura el tamaño se relaciona habitualmente con la capacidad de producción y se mide a través de aspectos como la capacidad productiva instalada en m^3 (Gasca-Leyva et al., 2002) o la cantidad real de producto obtenida (Oca et al., 2002).

Dentro de la escasa literatura económica relacionada con la acuicultura en España, y en especial con el cultivo de dorada y lubina, llama la atención que no existan autores que se hayan interesado por el proceso de concentración empresarial acontecido en el sector desde la pasada década. Si bien es cierto que este comportamiento fue una respuesta a la crisis de precios en el mercado, existen pocos estudios que den una razón para ello. En su análisis bioeconómico sobre la producción de dorada Gasca-Leyva et al. (2002) concluyeron que en el proceso de cultivo existen economías de escala y que en consecuencia, aumentos en la escala empresarial generan disminuciones del coste medio y aumentos del rendimiento económico. El incremento de la competencia en el mercado, que provoca una reducción de los márgenes del producto (Gasca-Leyva et al., 2003), obliga a las empresas a una mayor rotación de su activo con el objetivo de obtener más producto para la venta y compensar así la reducción de los ingresos por la caída de los precios. La necesidad de una mayor rotación impulsa a los empresarios a tomar las medidas necesarias para aumentar la productividad de las instalaciones.

3.3.5. Modelos bioeconómicos

El concepto de bioeconomía surge a mediados del siglo pasado con varios sentidos diferentes. La bioeconomía ha sido utilizada para la explicación de la teoría económica mediante analogías biológicas, basándose en el planteamiento de una serie de semejanzas entre los sistemas biológicos y los económicos. El darwinismo social ha utilizado la bioeconomía para el estudio de la influencia en el comportamiento económico de condicionantes biológicos. También se ha aplicado a la demostración de teorías económicas mediante analogías biológicas. Estas teorías se basan en el carácter biológico de las necesidades que la economía pretende satisfacer, no sólo biológicas como la alimentarse o dormir, sino sociales como el ascenso en la jerarquía social o el prestigio y el reconocimiento social. Finalmente, la bioeconomía se ha aplicado a la administración eficiente de recursos biológicos (Martínez-Coll, 2005). Esta última aplicación ha sido la más extendida y en la actualidad representa un aspecto esencial en

la explotación de los recursos primarios de carácter biológico. A lo largo de las últimas décadas la bioeconomía ha sido aplicada en la caza o actividad cinegética, la silvicultura, la ganadería, la agricultura, la acuicultura y la pesca.

La caza de animales silvestres es una actividad que en los últimos tiempos ha reducido su importancia como fuente de suministro de carne en las sociedades más desarrolladas, y que en la actualidad tiene un carácter esencialmente recreativo. Los estudios bioeconómicos aplicados a la caza no son números, si bien existe variedad en la aplicación que se les ha dado. A modo de ejemplo, se han realizado trabajos que analizan el impacto económico y ecológico de diferentes técnicas de caza (Damania et al., 2005), determinan el impacto de la actividad cinegética sobre las poblaciones salvajes de una o varias especies en un área o región geográfica determinada (Clayton et al., 1997), abordan el conflicto entre la explotación legal e ilegal de la fauna silvestre (Skonhoft y Solstad, 1996) y optimizan la gestión y explotación de los recursos cinegéticos (Huffaker, 1993).

El uso de modelos bioeconómicos en la explotación de recursos forestales ha tenido gran difusión hasta la fecha dada la utilidad de los mismos para optimizar los procesos de tala y plantación de los diferentes lotes objeto de cultivo. Los trabajos en silvicultura han tenido como principales objetivos; el incremento de la productividad de explotaciones forestales (Ivković et al., 2006), la determinación del impacto de especies invasoras sobre la producción de madera (Yemshanov et al., 2009), el uso de masas forestales como herramienta para el secuestro de carbono (Wise y Cacho, 2005), la planificación óptima de la producción (Stewart y Martel, 1995) y el desarrollo de herramientas de gestión de explotaciones forestales que optimicen el rendimiento económico de las mismas (Gobakken et al., 2008).

La ganadería es una actividad de cría de animales en cautividad que no tiene una dependencia del medio natural tan elevada como la agricultura o la pesca, en las que las condiciones medioambientales y los stocks biológicos tienen mayor influencia sobre el resultado de la actividad. Es por ello que el uso de la bioeconomía está principalmente enfocado al incremento de la eficiencia y la productividad, tanto en la producción de leche (Brockington et al., 1983; Wolfová et al., 2001; Wolfová et al., 2007 y Sadeghi-Sefidmazgi et al., 2012) como en la de carne (Chudleigh y Cezar, 1982; Pang et al., 1999a; Pang et al., 1999b; Galindo y Vargas, 2009; Laske et al., 2012 y Ashfield, 2013). En el caso de la producción lechera, los modelos bioeconómicos también se han

aplicado al estudio del impacto económico de diferentes políticas de regulación, como los sistemas de cuotas que limitan la producción (Briner y Finger, 2013) o el establecimiento de limitaciones en el acceso a los recursos hídricos o de pastoreo (Brennand, 1998).

La agricultura intensiva sufrió un significativo avance durante el siglo XX en lo que se llegó a denominar como revolución verde. El desarrollo de las técnicas de cultivo, de las mejoras genéticas, de los fertilizantes, de la maquinaría e instalaciones, así como los avances en otros sectores como el transporte y la ingeniería alimentaria, facilitaron el incremento de la productividad y la eficiencia en costes en esta actividad. Sin embargo, con la llegada del nuevo siglo se han evidenciado ciertos problemas que han cuestionado la sostenibilidad de la producción en los niveles actuales. La sobreexplotación de los suelos, la falta de recursos hídricos y el impacto medioambiental de los fertilizantes y pesticidas son algunos de los problemas que ponen en duda la continuidad de la actividad en muchas regiones del planeta, con el consiguiente impacto social y económico que produciría su desaparición. Además, en numerosas localizaciones la agricultura entra en conflicto con otras actividades como la ganadería o la silvicultura al competir por el uso de los espacios, de los recursos del suelo y de los recursos hídricos. También afecta al medioambiente, por ejemplo con la destrucción de los ecosistemas locales al transformar y contaminar el medio natural, y a las comunidades locales donde se desarrolla al afectar a la salud de las personas por contaminación del aire, del suelo o del agua. En este contexto, los modelos bioeconómicos se han utilizado para gestionar la agricultura con el objetivo de conseguir una mayor eficiencia en el uso de unos recursos escasos (suelo y agua principalmente), que permita alcanzar los objetivos sociales y económicos, sin que ello suponga un deterioro medioambiental que comprometa su continuidad en el futuro. Los trabajos bioeconómicos sobre acuicultura han tenido principalmente como objetivos; la mejora de la eficiencia de la producción (Forcella et al., 1996; Manivong y Cramb, 2008; Meza et al., 2008 y Zhang y Swinton, 2009), la reducción de los impactos ambientales de la actividad (Line-Carpentier et al., 2000; Vosti et al., 2003; Masters et al., 2006; Bhatarrai et al., 2008; van-Walsum et al., 2008; Gallai et al., 2009 y Mouysset el at., 2011) y la gestión de la interacción de la agricultura con otras actividades (Bhat y Huffaker, 1991; Menz y Grist, 1996 y Freier et al., 2011).

Tradicionalmente, la pesca y la acuicultura son las actividades que tienen mayor dependencia de la evolución de las condiciones medioambientales al desarrollarse en un medio adverso para el hombre como es el agua. Además, la pesca tiene una dependencia total de la evolución de los stocks, y a diferencia de la silvicultura, de la agricultura o de la ganadería, no puede controlarlos u obtener e incorporar nuevos individuos a los procesos de producción. El menor control que tienen los productores sobre los aspectos medioambientales y biológicos en la pesca y la acuicultura ha provocado un mayor desarrollo de los modelos bioeconómicos en estas dos actividades. En el caso de la pesca, con el objeto de alcanzar un nivel de explotación sostenible de los recursos que maximice el resultado económico sin poner en peligro los recursos biológicos y los ecosistemas. En el caso de la acuicultura, para considerar la influencia de los factores biológicos y medioambientales sobre los procesos productivos e incrementar así la eficiencia y la productividad de los mismos.

La mayor exposición del rendimiento económico de la pesca extractiva a la evolución de los factores biológicos y medioambientales se manifestó en la segunda mitad del pasado siglo cuando los niveles de explotación pesquera llevaron a numerosos caladeros al borde de la desaparición. En una pesquería a medida que se incrementa la capacidad pesquera se reducen los costes medios y se incrementa la eficiencia, al mismo tiempo que aumenta el conocimiento sobre las concentraciones de peces, con la consiguiente reducción en el tiempo y recursos para su localización. Sin embargo, la continuidad de esta situación termina por reducir o eliminar el stock, lo que incrementa los costes de captura y reduce el rendimiento económico de los barcos. Ante la sobreexplotación de los recursos pesqueros, fueron numerosos los autores y organizaciones que reclamaron la necesidad de integrar la evolución de los stocks en los sistemas y las políticas de gestión de las pesquerías. A partir de este momento, comenzaron a desarrollarse modelos bioeconómicos con el objetivo de obtener el máximo rendimiento económico y sostenible de la actividad pesquera. A partir de los primeros modelos estáticos de Gordon (1953, 1954) y Beverton y Holt (1957), se desarrollaron sucesivas mejoras como los modelos sobre dinámica del esfuerzo pesquero "*distributed-delays fleet dynamics model*" (Seijo, 1987), los modelos rendimiento-mortalidad "*yield-mortality models*" (Caddy y Csirke, 1983; Csirke y Caddy, 1983 y Caddy y Defeo, 1996) y los modelos con estructuras por edades de la

población "*age-structured dynamic models*" (Seijo y Defeo, 1994) basados en el modelo estático de Beverton y Holt (1957).

Con posterioridad, y con el objetivo de eliminar restricciones e incrementar el realismo de los modelos anteriores, se incorporaron a los modelos diferentes complejidades tecnológicas y ecológicas que se producen en la pesca extractiva. Entre las complejidades tecnológicas se distinguen; un esfuerzo pesquero heterogéneo sobre el mismo stock, derivado de la actividad de diferentes flotas con distinta capacidad pesquera sobre el mismo recurso pesquero (flota artesanal y flota industrial) (Seijo et al., 1996); la existencia de interdependencia en las pesquerías, que se produce cuando una flota pesca una especie y accidentalmente también captura otra especie que es el objetivo de otra flota (Caddy y Gulland, 1983); y las pesquerías secuenciales, que ocurren en el escenario en el que dos flotas que operan en diferentes localizaciones afectan a diferentes fases del ciclo de vida de una o más especies (Anderson, 1977 y Geen y Nayar, 1988). En el ámbito ecológico es habitual que dos flotas actúen sobre dos pesquerías que interactúan a través de la competencia y la depredación, lo que genera una interdependencia entra las mismas. La biomasa de la especie dominante/ depredadora afectará a la biomasa de la especie dependiente y por lo tanto, el esfuerzo pesquero de la flota que captura la primera afectará a la biomasa disponible para la flota que captura la especie dependiente (Seijo et al., 1998). Finalmente se pueden producir interdependencias tecno-ecológicas en el momento en que dos flotas tecnológicamente interdependientes pescan en dos stocks interrelacionados por competencia o depredación (Seijo et al., 1998). Otra línea de investigación en bioeconomía pesquera relevante son los modelos sobre asignación espacial de la intensidad de la pesca (Seijo et al., 1998). Estos modelos tratan de superar la limitación que presentan los modelos citados anteriormente al asumir la existencia de homogeneidad en la distribución espacial de las poblaciones de peces y del esfuerzo pesquero (Seijo et al., 1994). La modelización de la dinámica espacial de las pesquerías permite una mejor asignación del esfuerzo pesquero y el desarrollo de políticas de gestión más eficientes. Los modelos espaciales tienen especial importancia ya que permiten incluir en la gestión de los stocks cuestiones tan relevantes como la distancia entre el puerto del buque y su zona de pesca. Posteriormente, numerosos estudios han utilizado los diferentes modelos citados anteriormente para abordar diferentes problemas que acontecen en la gestión de las pesquerías, como por ejemplo, los derechos de propiedad

sobre los recursos pesqueros, el establecimiento de cuotas por países, el establecimiento de cuotas por especies, el establecimiento de cuotas individuales por buque o la gestión de riesgos y de la incertidumbre sobre el resultado final de las pesquerías.

La investigación bioeconómica en la acuicultura tiene su origen en la aplicación al ámbito empresarial de los avances en el conocimiento sobre los aspectos técnicos, biológicos y medioambientales del cultivo de organismos acuáticos. Esta relación queda de manifiesto al observar que en la creación de algunas de las empresas pioneras en la explotación comercial de varias especies participasen activamente investigadores relacionados con la obtención del conocimiento necesario para su cultivo. Los aspectos técnico/biológicos supusieron el primer reto empresarial, marcado por una demanda importante de especies bien valoradas en el mercado (obviamente el esfuerzo investigador se centró en especies de alto valor) lo que permitía la obtención de márgenes de explotación suficientemente grandes para compensar limitaciones en la gestión y la escala productiva de las empresas. La estandarización de los procesos de producción, la disminución de los precios de mercado al incrementarse la oferta e identificarse el origen acuícola y la progresiva reducción de los márgenes, demostraron que los aspectos económicos eran de vital importancia para el desarrollo sostenible de la acuicultura, si bien dichos planteamientos económicos no podían olvidar la relevancia de los aspectos técnico/biológicos inherentes a esta actividad.

Los estudios bioeconómicos en acuicultura surgieron como respuesta a la necesidad de integrar los factores económicos, biológicos, técnicos y medioambientales con el fin de estudiar el proceso de creación de valor de las empresas (Allen et al., 1984; Cuenco, 1989 y Ruesga et al., 2005). El objetivo de los modelos bioeconómicos en acuicultura es determinar el momento de despesque que maximice el valor presente de los beneficios operacionales (Asche y Bjørndal, 2011). Dos de las especies más exitosas en acuicultura y de mayor valor en el mercado han sido el salmón y el langostino, por lo que no es una sorpresa que desde un primer momento muchos de los trabajos se hayan enfocado a su producción. Cacho (1997) realizó una revisión de literatura bioeconómica específica sobre acuicultura. Karp et al. (1986) y Leung y Shang (1989) fueron de los primeros autores en aplicar estudios a la acuicultura al considerar el problema de determinar los momentos óptimos de despesque y resiembra en el cultivo de langostino. Bjørndal (1988) desarrolló el primer modelo de despesque óptimo para acuicultura basado en la literatura sobre bioeconomía de la silvicultura, obteniendo los momentos

óptimos de despesque en la producción de salmón bajo diferentes precios de mercado y diferentes costes de producción a partir de un problema de optimización estático. Posteriormente, numerosos autores desarrollaron el modelo de Bjørndal haciendo énfasis en determinados aspectos. Arnason (1992) introdujo el comportamiento dinámico y consideró la alimentación como una variable de decisión en el modelo. Heaps (1993) estudió el crecimiento considerándolo independiente de la densidad de la biomasa, mientras que Heaps (1995) introdujo en el modelo una función de crecimiento dependiente de la biomasa. Mistiaen y Strand (1999) obtuvieron estrategias óptimas de alimentación y los momentos óptimos de despesque considerando el precio de venta dependiente del peso de los peces. Rizzo y Spagnolo (1996) desarrollaron una de las primeras aplicaciones para lubina y más recientemente, Hernández et al. (2007) analizó la influencia de la ración de alimento y de la temperatura del agua sobre la producción de dorada.

Estos modelos suponen un avance sobre los estudios parciales que se limitan al análisis de un único ámbito de conocimiento sin prestar atención a su interacción con el resto. La aplicación empírica de los modelos bioeconómicos es muy compleja debido a que requieren una gran cantidad de información de naturaleza y fuentes diversas, pero aportan la ventaja de poder analizar no solo la influencia de cada factor sino también las interrelaciones que existen entre ellos a la hora de explicar el resultado final de la actividad. A pesar de lo difícil de su desarrollo, la bioeconomía en acuicultura ha sufrido un fuerte impulso en los últimos años debido a que el uso de modelos bioeconómicos ayuda a los gestores en la toma de decisiones operativas a través de la planificación de la producción (Pomeroy et al., 2008), y en la toma de decisiones estratégicas a través de la simulación de los efectos de una decisión sobre la actividad productividad y sus resultados. La selección del alimento, la determinación de la localización más adecuada para la instalación productiva o la elección del tamaño comercial del pez, son algunos ejemplos de decisiones estratégicas en las que se emplean los modelos bioeconómicos.

Dada la importancia de la bioeconomía en la producción de pescado, se ha realizado una revisión teórica de las aportaciones científicas en esta línea de investigación a la pesca y a la acuicultura, dando continuidad a la labor comenzada por Allen et al. (1984), donde se identificaron 22 estudios bioeconómicos aplicados a estas actividades, continuada por Leung en 1994 para el periodo 1984-1993, que incluye 32

nuevos trabajos y por Pomeroy et al. (2008) para el periodo 1993-2003, que identifica 28 nuevos trabajos que desarrollan modelos integrados, de los cuales solo siete se aplicaron en el ámbito de la acuicultura. La búsqueda se ha realizado a partir de las bases de datos; *Scopus*, *Web of Sciencie* (*Science Citation Index Expanded* (SCI-EXPANDED) -1900-present; *Social Sciences Citation Index* (SSCI) -1956-present; *Conference Proceedings Citation Index- Science* (CPCI-S) -1990-present; *Conference Proceedings Citation Index- Social Science & Humanities* (CPCI-SSH) -1990-present), y *Current Contents Connect* (*Agriculture, Biology & Environmental Sciences*; 1998-present; *Social & Behavioral Sciences*; 1998-present; *Life Sciences*,1998-present; *Physical, Chemical & Earth Sciences,* 1998-present; *Engineering, Computing & Technology*,1998-present). En estas bases de datos se encuentras indexadas las publicaciones científicas más relevantes relacionadas con este sector de actividad, como por ejemplo; *Aquaculture, Aquaculture Economics and Management, Aquaculture Engineerin, Aquaculture Research, Journal of the World Aquaculture Society, Aquaculture International, Journal of Shellfish Research, Fisheries Research, Canadian Journal of Fisheries and Aquactic Sciencies, Fish and Fisheries, Reviews in Aquaculture, ICES Journal of Marine Sciencies o Marine Resource Economics,* entre otras muchas. También contienen numerosas publicaciones de alcance agrícola y medioambiental que publican investigaciones relacionadas con la pesca y la acuicultura.

Las investigaciones bioeconómicas en el ámbito de la pesca y la acuicultura en el periodo 2004-2013 (1 de Abril de 2013) se recogen en las Tablas 25 y 26 respectivamente, en las que los estudios se clasifican en función de cuál es su principal aplicación. Es necesario destacar el significativo incremento del número de investigaciones bioeconómicas tanto en pesca como en acuicultura con respecto a periodos anteriores. Las revisiones de Allen et al. (1984), Leung (1994) y Pomeroy et al. (2008) habían identificado hasta el año 2003 un total de 82 trabajos basados en este tipo de modelos, mientras que solo en los últimos diez años se han publicado más del doble de esa cantidad. La revisión de literatura realizada en este trabajo ha identificado 182 estudios que utilizan modelos bioeconómicos, de los cuales 147 se orientan a la pesca y 35 a la acuicultura. Casi el 65 por ciento de los trabajos bioeconómicos en el periodo considerado tienen por objeto la gestión de la actividad pesquera. Entro los 117 estudios clasificados en este grupo encontramos distintas aplicaciones de la bioeconomía pesquera que se pueden clasificar en tres grandes grupos en función de su

Tabla 25. Investigaciones bioeconómicas en la pesca en el periodo 2004-2013 (Abril de 2013).

Gestión de la actividad pesquera (117)
(Akpalu y Vondolia, 2012) (Bjørndalet al., 2012) (Bjørndal y Lindroos, 2012) (Da-Rocha et al., 2012) (Defrancesco y Trestini, 2012) (Foley et al., 2012) (Grafton et al., 2012) (Haapasaari et al., 2012) (Holland et al., 2012) (Hoshino et al., 2012) (Ishimura et al., 2012) (Jin et al., 2012) (Kahui, 2012) (Maroto et al., 2012) (Mulazzani et al., 2012) (Niemin et al., 2012) (Ortega et al., 2012) (Punt et al., 2012) (Sana et al., 2012) (Thanh, 2012) (Thøgersen et al., 2012) (Akpalu y Bitew, 2011) (Armsworth et al., 2011) (Chaboud y Vendeville, 2011) (Edwards et al., 2011) (Foley et al., 2011) (García et al., 2011) (Gómez-Lobo et al., 2011) (González-Olivares et al., 2011) (Grosholz et al., 2011) (Hannesson, 2011) (Holland, 2011) (Huang y Smith, 2011) (Kapuria, 2011) (Kar y Chakraborty, 2011) (Khamis et al., 2011) (Link et al., 2011) (Liu et al., 2011) (Marchal et al., 2011) (Merino et al., 2011) (Sana, 2011) (Smith y Crowder, 2011) (White y Costello, 2011) (Zhang y Smith, 2011) (Zimmermann et al., 2011a) (Zimmermann et al., 2011b) (Anda-Montañez de et al., 2010) (Andersen et al., 2010) (Bunnell et al., 2010) (Chávez y Gorostieta, 2010) (Dichmont et al., 2010) (Diekert et al., 2010a) (Diekert et al., 2010b) (Eddy et al., 2010) (Eide y Wikan, 2010) (Fenichel et al., 2010) (Hannesson y Herrick Jr., 2010) (Hoff et al., 2010) (Hoshino et al., 2010) (Huang et al., 2010) (Jerry y Raïssi, 2010) (Kompas et al., 2010a) (Kompas et al., 2010b) (Little et al., 2010) (Lleonart y Merino, 2010) (Macher y Boncoeur et al., 2010) (Maravelias et al., 2010) (Pintassilgo et al., 2010) (Punt et al., 2010) (Bischi et al., 2009) (Drouot et al., 2009) (Kasperski y Wieland, 2009) (Kim y Grigalunas, 2009) (Pelletier et al., 2009) (Silvestri y Maynou, 2009) (Yamazaki et al., 2009) (Cartigny et al., 2008) (Costello et al., 2008) (Murillas et al., 2008) (Nøstbakken, 2008) (Smith et al., 2008) (Ahmed et al., 2007) (Campbell y Kennedy, 2007) (Kjærsgaard et al., 2007) (Greenville y Macaulay, 2007b) (Martinet et al., 2007) (Merino et al., 2007a) (Merino et al., 2007b) (Merino et al., 2007c) (Smith, 2007) (Valderrama y Anderson, 2007) (Albornoz et al., 2006) (Álvarez-Diaz y Dominquez-Torreiro, 2006) (Bhat y Bhatta, 2006) (Briones, 2006) (Da-Rocha y Gutiérrez, 2006) (Díaz y Salgado, 2006) (Drouineau et al., 2006) (Elliston y Cao, 2006) (Holland y Herrera, 2006) (Kugarajh et al., 2006) (Maynoua et al., 2006) (Murillas y Chamorro, 2006) (Nøstbakken, 2006) (Chae y Pascoe, 2005) (Doole, 2005) (Herrera, 2005) (Sethi et al., 2005) (Agar y Sutinen, 2004) (Imeson y Van Den Bergh, 2004) (Kar y Chaudhuri, 2004) (Larkin y Sylvia, 2004) (Mahevas y Pelletier, 2004) (Pascoe y Revill, 2004) (Seijo et al., 2004) (Purohit y Chaudhuri, 2004) (Reithe y Aschan, 2004)
Reservas marinas y pesca (19)
(White et al., 2013) (Chakraborty y Kar, 2012) (Hoff et al., 2012) (Mason et al., 2012)

(Rassweiler et al., 2012) (Yamazaki et al., 2012) (Kellner et al., 2011) (Charles, 2010) (Jerry et al., 2010) (Yamazaki et al., 2010) (Merino et al., 2009) (White, 2009) (Kar y Matsuda, 2008) (Kjærsgaard y Frost, 2008) (White et al., 2008) (Greenville y Macaulay, 2007a) (Armstrong y Skonhoft, 2006) (Greenville y MacAulay, 2006) (Kritzer, 2004)
Pesca recreativa (5)
(Fenichel et al., 2013) (Johnston et al., 2012) (Johnston et al., 2010) (Ngoc y Flaaten, 2010) (Massey et al., 2006)
Evaluación de riesgos (4)
(Levy et al., 2006) (Jin et al., 2005) (Puga et al., 2005) (Ye et al., 2005)
Cambio climático y pesca (2)
(Merino et al., 2010) (Link y Tol, 2009)

objetivo; el desarrollo teórico para mejorar los modelos ya publicados o para adaptarlos a condiciones específicas de una determinada pesquería; el desarrollo y mejora de sistemas de gestión de pesquerías y el estudio del efecto de diferentes políticas o medidas regulatorias sobre la explotación de una pesquería.

Además de la gestión integral de pesquerías, los modelos bioeconómicos han sido aplicados a solucionar otros problemas que en la actualidad afectan a la actividad pesquera. Uno de los temas que han recibido más atención por parte de los investigadores es la resolución de los conflictos que surgen entre la conservación de las reservas marinas y la actividad pesquera. En la Tabla 25 se identifican un total de 19 estudios científicos que abordan esta temática en diferentes regiones del planeta. Estos trabajos abordan la problemática desde perspectivas distintas. Por un lado, existen trabajos que analizan el impacto del establecimiento de las reservas marinas sobre la actividad pesquera, por ejemplo, sobre la rentabilidad de las pesquerías (White et al., 2008) o sobre las comunidades pesqueras localizadas en el área protegida (Charles, 2010). Por el otro, existen estudios que resaltan los beneficios que las reservas marinas tienen no solo para la sostenibilidad medioambiental de determinados ecosistemas, sino también para la sostenibilidad de las pesquerías que en ellos se desarrollan (Greenville y Macaulay, 2007a y Rassweiler et al., 2012). Otra cuestión relevante es el análisis de cómo el éxito de las reservas marinas está condicionado por las pesquerías que se desarrollan fuera de la mismas en aguas limítrofes (Chakraborty y Kar, 2012 y Yamazaki et al., 2012). Otro de los ámbitos en los que la bioeconomía resulta útil es la

gestión de la pesca recreativa. A pesar de que su importancia es mucho menor que la de la pesca comercial, determinadas áreas son más dependientes de la pesca recreativa que de la comercial y en otras zonas los usos recreativos interaccionan con los comerciales y con la gestión de áreas marinas protegidas (Ngoc y Flaaten, 2010). La gestión de riesgos es un área específica de la gestión de las pesquerías en la que algunos autores han comenzado a utilizar la bioeconomía. Dada la incertidumbre asociada a las condiciones medioambientales y a la evolución biológica de los stocks, los modelos bioeconómicos son especialmente útiles para intentar minimizar la incertidumbre asociada a la pesca extractiva. Finalmente, algunos autores han aplicado los modelos económicos para estudiar el impacto sobre determinadas pesquerías de alteraciones en las condiciones medioambientales derivadas del llamado proceso de cambio climático.

El uso de modelos bioeconómicos en la actividad acuícola (Tabla 26) está menos extendido que en la actividad pesquera. Sin embargo, en el periodo 2004-2013 se constata un fuerte incremento, ya que hasta el momento la acuicultura únicamente era objeto de investigación en el 14 por ciento de los trabajos, mientras que en la última revisión realizada representan el 24 por ciento de los estudios. El fuerte incremento en el número de trabajos bioeconómicos en acuicultura es un indicador tanto de la utilidad de estos modelos en la gestión de la actividad, como de la creciente importancia de esta actividad económica en la producción de alimentos.

Al igual que en el caso de la pesca, la principal aplicación de los modelos bioeconómicos en la actividad acuícola es la mejora de la gestión de los procesos de cultivo con el objetivo de incrementar el rendimiento económico. Hermansen y Eide (2013) desarrollaron un modelo para determinar los momentos óptimos de despesque en el cultivo de bacalao (*Gadus morhua*). Melià y Gatto (2005) desarrollaron un modelo bioeconómico para incrementar la eficiencia en el cultivo intensivo de la almeja japonesa (*Tapes philippinarum)*. Muchos trabajos se centran en determinar los valores de los parámetros de cultivo que mejoran el rendimiento económico de la actividad. Se llevaron a cabo estudios para determinar la densidad óptima en el momento de siembra del cultivo semi-intensivo de gamba (*Litopenaeus vannamei*) en Sinaloa (México) (Sánchez-Zazueta et al., 2013) y seleccionar la densidad de siembra más apropiada en función de la influencia de las diferentes estaciones climáticas que se dan a lo largo del año (Villanueva et al., 2013). Pérez et al. (2012) y Domínguez-May et al. (2011) profundizaron en las implicaciones de la dispersión del crecimiento de los individuos a

lo largo del proceso de cultivo. Otros de los parámetros extensamente estudiado es la alimentación y en concreto, el efecto de diferentes dietas sobre el proceso de crecimiento de los individuos y el rendimiento final de los cultivos (Petersen et al., 2011b; Petersen y Phuong, 2011 y Poot-López et al., 2010). Robinson utilizó los modelos bioeconómicos para evaluar el impacto económico de la selección de individuos en el cultivo de la lubina asiática (*Lates calcarifer*) (Robinson, 2010a) y de la oreja de mar (Robinson, 2010b), con el fin de validar la selección genética como una herramienta de mejora de la eficiencia en la producción. Finalmente, León et al. (2006) y Hernández et al. (2007) estudiaron la influencia de la temperatura del agua en la gestión óptima de la dorada (*Sparus aurata*). Otros estudios utilizaron la bioeconomía para comparar el rendimiento de diferentes sistemas de cultivo para la producción de la misma especie. Choi et al. (2006) abordaron el estudio de la vieira japonesa (*Patinopecten Yessoensis*) bajo diferentes sistemas de producción en Korea. Bunting et al. (2013) compararon el resultado de la producción de gamba a partir del sistema extensivo tradicional, del sistema semi-intensivo y el cultivo integrado en el manglar. Los estudios sectoriales, en los que se aborda el estado de la producción de un conjunto de empresas en una determinada región se han aplicado al cultivo de la langosta festoneada (*Panulirus ornatus*) (Petersen y Phuong, 2010), a la producción de la lubina asiática (*Lates calcarifer*) (Petersen et al., 2011a), al cultivo extensivo de las diferentes especies de cangrejo de barro (Petersen et al., 2011b) y al cultivo en lagos, estanques y demás superficies de agua embalsada (*reservoir aquaculture*) (Toan y Schilizzi, 2010 y Petersen et al., 2007). En los trabajos de Konstantinou et al. (2012) y Ferreira et al. (2009) los algoritmos bioeconómicos han sido la base para la creación de herramientas de gestión de la producción de mariscos. Finalmente, Liu et al. (2012) utilizaron la bioeconomía para estudiar los impactos económicos y medioambientales del escape de individuos de las instalaciones de cultivo de salmón atlántico (*Salmo salar*).

Una aplicación muy habitual de la bioeconomía en el cultivo de organismos acuáticos es la de analizar la viabilidad económica del cultivo de diferentes especies. En concreto, se han identificado trabajos sobre el cangrejo de barro o *mud crab* (*Scylla paramamosain*) (Petersen et al., 2013a), el mero o *Grouper (Epinephelinae*) (Petersen et al., 2013b), la concha abanico (*Atrina maura*) (Mendo et al., 2011), la oreja de mar japonesa o *japanese abalone* (*Haliotis discus hannai*) (Zúñiga, 2010), el atún rojo del Atlántico o *bluefin tuna* (*Thunnus thynnus*) (Shamshak, 2011 y Shamshak y Anderson,

2009), la tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Poot-López y Gasca-Leyva, 2009; Ponce-Marbán et al., 2006), y el langostino tigre o *brown tiger shrimp* (*Penaeus esculentus*) (Keys et al., 2004). El ámbito económico de estos cinco trabajos consiste, al igual que la mayoría de los casos, en un análisis de coste-beneficio en el cuál se utiliza como indicador de éxito el beneficio obtenido de la actividad. Los autores que analizan la viabilidad económica del cultivo de diferentes especies siguen la tendencia general midiendo el éxito de la actividad por la diferencia entre los ingresos de la venta del producto y los costes de su obtención.

Tabla 26. Investigaciones bioeconómicas en la acuicultura en el periodo 2004-2013 (Abril de 2013).

Gestión acuícola (23)
(Bunting et al., 2013) (Hermansen y Eide, 2013) (Sánchez-Zazueta et al., 2013) (Villanueva et al., 2013) (Konstantinou et al., 2012) (Liu et al., 2012) (Pérez et al., 2012) (Domínguez-May et al., 2011) (Petersen y Phuong, 2011) (Petersen et al., 2011a) (Petersen et al., 2011b) (Bosch et al., 2010) (Petersen y Phuong, 2010) (Poot-López et al., 2010) (Robinson et al., 2010a) (Robinson et al., 2010b) (Toan y Schilizzi, 2010) (Ferreira et al., 2009) (Hernández et al., 2007) (Petersen et al., 2007) (Choi et al., 2006) (León et al., 2006) (Melià y Gatto, 2005)
Viabilidad económica (9)
(Petersen et al., 2013a) (Petersen et al., 2013b) (Mendo et al., 2011) (Shamshak, 2011) (Zúñiga, 2010) (Poot-López y Gasca-Leyva, 2009) (Shamshak y Anderson, 2009) (Ponce-Marbán et al., 2006) (Keys et al., 2004)
Evaluación de riesgos (3)
(Hernández-Llamas y Zarain-Herzberg, 2011) (Petersen y Schilizzi, 2010) (Sanchez-Zazueta y Martinez-Cordero, 2009)

Otra área importante para la gestión de la acuicultura es la evaluación de los riesgos e incertidumbres asociados a la actividad. Al igual que en el caso de la pesca, son pocos los estudios sobre evaluación de riesgos en acuicultura que utilicen los modelos bioeconómicos. En concreto, Hernández-Llamas y Zarain-Herzberg (2011) utilizaron un modelo bioeconómico para evaluar los riesgos del cultivo de gambas (*Litopenaeus vannamei*) en jaulas flotantes en el noroeste de México y determinar si el aumento de los precios de las gambas después de la temporada de huracanes compensa el riesgo de impacto de huracanes. Petersen y Schilizzi (2010) analizaron el impacto de

la variabilidad del rendimiento de la producción y de los precios de venta sobre la acuicultura en balsas, estanques, presas, depósitos y otras masas de agua en el norte de Vietnam. Sanchez-Zazueta y Martinez-Cordero (2009) evaluaron el riesgo tecnológico y económico en el cultivo semi-intensivo de gamba en el estado de Sinaloa (México).

Tanto en el caso de la dorada como en el de la lubina, los estudios bioeconómicos donde se analiza el efecto de todos los ámbitos de la actividad sobre el rendimiento son fundamentales (Gasca-Leyva et al., 2003). Sin embargo, en el caso de estas dos especies la evolución de la investigación bioeconómica es dispar. El cultivo de dorada es la actividad que hasta la fecha ha sido objeto de un mayor esfuerzo investigador en el desarrollo de trabajos donde se proponen modelos que interrelacionan factores económicos, biológicos, medioambientales y comerciales. Gasca-Leyva (1999) fue el pionero en el análisis bioeconómico del cultivo de dorada. En su trabajo de investigación doctoral modelizó la producción de dorada a partir de la información de instalaciones localizadas en las Islas Canarias. Un segundo trabajo en colaboración con otros autores (León et al., 2001) se centró en el incremento de la eficiencia a través del estudio de las decisiones de gestión que minimizan los costes de producción. Posteriormente, junto con otros autores aplicó la modelización bioeconómica al estudio de la localización de la producción, y a través de un análisis de sensibilidad, identificaron la presencia de economías de escala en la actividad y determinaron el tamaño eficiente de actividad de las granjas para diferentes decisiones de gestión en diferentes localizaciones, las Islas Canarias y la costa mediterránea española (Gasca-Leyva et al., 2002). Tras identificar la presencia de diferencias significativas en los procesos de cultivo de dorada en las dos principales áreas de cultivo de la misma en España, el desarrollo de esta línea de investigación se orientó a la utilización de la bioeconomía para la comparación de la actividad en las Islas Canarias y en el mar Mediterráneo (Gasca-Leyva et al., 2003). Más adelante, la bioeconomía se utilizó para analizar el impacto de las condiciones medioambientales, en concreto la temperatura del agua, en el cultivo de dorada y en las estrategias de gestión del mismo. La aportación de este trabajo fue novedad no por determinar la influencia de la temperatura del agua sobre los aspectos biológicos de la actividad (crecimiento, mortalidad, metabolismo), algo extensamente estudiado en la literatura previa, sino por determinar cómo afecta la temperatura del agua a las estrategias de cultivo y al resultado económico de las mismas (León et al., 2006 y Hernández et al., 2007). La literatura sobre biología de la dorada

había evidenciado el papel clave de la temperatura del agua sobre las funciones vitales de la dorada. Los primeros trabajos sobre bioeconomía de esta especie contrastaron la influencia de esta variable medioambiental sobre la producción y el resultado económico de su cultivo. Por este motivo, en este trabajo doctoral se presenta un estudio recientemente publicado sobre el efecto de las condiciones medioambientales en la competitividad de las empresas de cultivo de dorada a lo largo de la cuenca mediterránea (Llorente y Luna, 2013).

En el caso de la lubina (*Dicentrarchus labrax*), el número de estudios bioeconómicos que abordan su cultivo es menor. En concreto, Rizzo y Spagnolo (1996) desarrollaron un modelo bioeconómico para la simulación y optimización de la gestión del cultivo de lubina. En los últimos años, se han publicado trabajos sobre la bioeconomía de la denominada lubina asiática o barramundi (*Lates calcarifer*) (Robinson et al., 2010 y Petersen et al., 2011a). En el ámbito de la pesca Drouot et al. (2009) aplicaron la bioeconomía al estudio de la gestión de las pesquerías de la lubina en Francia.

La revisión realizada pone de manifiesto la importancia de los modelos bioeconómicos para la pesca y la acuicultura dado el incremento en el número de estudios, pero también muestra la complejidad que tiene su realización al comprobar que, a pesar de disponer en la actualidad de mejores fuentes de información, son pocos los investigadores que abordan estudios bioeconómicos en comparación con el número de investigadores que desarrollan estudios específicos enmarcados en alguno de los ámbitos citados, biología, medioambiente, tecnología etc.

La dificultad que supone el acceso a las fuentes de información es una de las principales causas del reducido número de trabajos en el ámbito acuícola. A diferencia de la actividad pesquera, donde existe un gran número de fuentes de información públicas sobre los recursos y los resultados de las pesquerías, la obtención de información agregada de la actividad de las empresas acuícolas es más compleja. Las causas que generan las limitaciones en estos trabajos están relacionadas con la citada dificultad para conseguir información. La mayoría de los análisis se llevan a cabo a partir de una serie histórica de datos obtenida en una única instalación o laboratorio (biológicos, técnicos y ambientales) o con información secundaria procedente de fuentes públicas (Organización empresarial, comercialización y transformación). Los resultados de la revisión de literatura muestran como la mayor parte de los trabajos

relacionados con la actividad pesquera han obtenido la información de fuentes secundarias públicas u organismos relacionados con la actividad, mientras que los trabajos sobre acuicultura se basan principalmente, bien en datos experimentales asociados a un número reducido de instalaciones (Poot-López y Gasca-Leyva, 2009; Sanchez-Zazueta y Martínez-Cordero, 2009), bien en fuentes secundarias (en la mayoría de los casos trabajos publicados con anterioridad) (Zúñiga, 2010; Ponce-Marbán et al., 2006; Melià y Gatto, 2005; Petersen et al., 2007; Jin et al., 2005) o bien una combinación de ambos (Keys et al., 2004; Ferreira et al., 2009; Shamshak y Anderson L., 2009; Choi et al., 2006). Además de las dificultades de acceso a la información, los rasgos biológicos específicos de cada especie provocan que los modelos no se puedan extrapolar directamente y en consecuencia ser generalizados (Pomeroy et al., 2008).

3.4. Conclusiones

La influencia e interacción de factores de ámbitos de conocimiento tan diversos como la biología, la tecnología, el medioambiente, la economía y la gestión empresarial, incrementa la complejidad de la gestión de la actividad acuícola. Si bien existen factores que están bajo el control de los gestores, en otros muchos casos no dependen de las decisiones de la dirección e incluso en ocasiones no existe forma de predecir su evolución. El incremento de la competencia en los mercados genera la necesidad de incrementar la eficiencia de los procesos de cultivo, para lo cual se consideran un número cada vez más mayor de factores y variables en los procesos de toma de decisiones, incrementándose así la dificultad de los mismos, lo que provoca que los gestores no siempre sean capaces de abordarlos de una forma exitosa.

La falta de una formación y cualificación multidisciplinar, la complejidad de las interacciones entre los factores que influyen en la producción y las limitaciones para el análisis de grandes volúmenes de información, limitan la capacidad de los productores para incrementar la eficiencia de sus procesos de cultivo. En este contexto, es necesario identificar cuáles son los principales factores que influyen sobre el resultado de la actividad, y que por lo tanto deben considerarse a la hora de tomar decisiones con el objetivo de incrementar la competitividad de la producción piscícola.

La competitividad en el ámbito de la *Economía de la Empresa* puede definirse a grandes rasgos como *la capacidad de una empresa u organización para desarrollar y mantener sistemáticamente ventajas comparativas que le permita disfrutar de una*

posición favorable en el entorno en el que actúa; en otras palabras, generar recursos, habilidades, conocimientos y atributos que hagan posible la obtención de unos resultados superiores a los de sus competidores (Bueno, 1987).

Los motivos por los que las empresas alcanzan distintos niveles de éxito se explican a través de los denominados *factores de competitividad*, los cuales generalmente se clasifican en tres grupos, en función si su origen es macroeconómico, sectorial o empresarial (Acosta, 1999).

Los factores macroeconómicos son aquellos elementos ajenos a las empresas que tienen una dimensión nacional, y que condicionan y determinan los resultados económicos que estas obtienen. Esta concepción macroeconómica se basa en una línea de pensamiento que puede ser resumida en lo expresado por Alonso (1992), al afirmar que la competitividad de una empresa no depende tanto de cuestiones internas de la empresa asociadas a su comportamiento estratégico, como de aspectos relativos a la estructura económica, institucional y social del país en el que desarrolla su actividad.

La consideración de los factores sectoriales como determinantes de la competitividad empresarial tiene su origen en las teorías de la *Organización Industrial* iniciadas por Edwar Mason en los años 30, y en los que a partir del estudio de la estructura de los mercados, se trata de analizar los diferentes comportamientos competitivos de las empresas en aspectos como la política de precios, la producción o las estrategias de inversiones, para lo que se plantea el modelo de la matriz de *estructura-comportamiento-resultados*. Con posterioridad, La *Teoría de la Ventaja Competitiva* (Porter, 1980, 1985) señala al posicionamiento de los productos y de las empresas como medio de obtención de ventajas competitivas.

A nivel empresarial se desarrollaron una serie de perspectivas que buscan la causa de la capacidad competitiva de las empresas en los recursos y capacidades que la empresa posee y controla. La *Teoría de los Recursos*, la *Teoría de las Capacidades Dinámicas* y la *Teoría del Conocimiento* centran su atención en el conjunto de conocimientos y habilidades que generan competencias esenciales para la empresa y pueden englobarse bajo la denominación de *Teoría de los Recursos/Conocimiento*.

Aparte de estas teorías de gestión estratégica, la *gestión de operaciones* considera que las operaciones pueden ser una fuente importante de competitividad empresarial, debido a que las operaciones de producción afectan a la competitividad a través del

desarrollo e implementación de estrategias operativas, que implican una serie de decisiones por parte de las empresas para potenciar sus recursos y aprovechar las oportunidades de mercado identificadas a partir de las necesidades del cliente (Lowson, 2003).

Este trabajo se centra en el análisis de los procesos de cultivo acuícolas y el estudio de la mejora de su competitividad. Por este motivo, la investigación se enmarca en el conjunto de las teorías de *gestión de operaciones*, con el objetivo de contribuir a incrementar la capacidad competitiva de las empresas de este sector a través de la mejora de las estrategias operativas. En consecuencia, el primer paso es identificar los principales factores que influyen en los procesos de producción en la acuicultura.

La viabilidad biológica es una cuestión esencial en el cultivo intensivo de organismos acuáticos, sin la cual no es posible desarrollar la cría en cautividad de los mismos. Los aspectos biológicos se materializan a través de las funciones de reproducción, crecimiento y mortalidad, que son el resultado de la interacción de factores abióticos y bióticos (Calderer, 2001). Las investigaciones en este área se centran en conocer el efecto de dichos factores sobre los procesos biológicos, para así replicarlos y controlarlos. El incremento de la eficiencia de los procesos de reproducción y de crecimiento, y la reducción de la mortalidad de los individuos, permiten alcanzar ventajas competitivas gracias a la obtención de un menor coste de producción.

La intervención del hombre en los procesos biológicos mediante la modificación y control de los mismos se realiza a través de diferentes técnicas, procesos, equipos e instalaciones que determinan el nivel de eficiencia del proceso de cultivo. (Moretti et al., 1999). Los procesos intensivos en tecnología tienen un mayor grado de control de los factores que intervienen en las funciones biológicas de los peces, y por lo tanto son los que alcanzan una mayor productividad. Además del diseño de equipos e instalaciones de cultivo, existen otras cuestiones técnicas que influyen en la fisiología de los peces. El diseño de medicamentos permite reducir la mortalidad generada por las patologías. La selección genética posibilita la obtención de mejoras en las tasas de crecimiento, la edad de madurez sexual o la mortalidad. Sin embargo, la cuestión técnica más relevante es la composición de los piensos suministrados a los individuos, tanto por ser la nutrición la fuente de la energía química necesaria para poder realizar

funciones vitales como la alimentación, la reproducción o el crecimiento (Calderer, 2001), como por ser el principal gasto del proceso de cultivo.

La localización de las instalaciones productivas es un aspecto especialmente relevante en la decisión de iniciar una actividad acuícola (Gasca-Leyva et al., 2002), dado que determina las condiciones medioambientales en las que se van a desarrollar los procesos de cultivo, como son la temperatura del agua, el grado de salinidad, la luz y la concentración de oxígeno en el agua, entre otros (Calderer, 2001). La temperatura del agua y la salinidad son dos de los factores medioambientales que más inciden sobre el crecimiento de los peces (Brett y Groves, 1979 y Corey et al., 1983). Otros factores como la luz o la concentración de oxígeno en el agua han sido objeto de estudio pero en menor medida. La temperatura del agua tiene una relación positiva con la tasa de eficiencia alimentaría, reduciendo por lo tanto el tiempo de cultivo. A temperaturas mayores aumenta la cantidad de alimento que la dorada y la lubina transforman en carne, con el consecuente ahorro en pienso (Calderer, 2001).

En la mayoría de las especies, entre ellas la dorada y la lubina, los aspectos económicos y de organización empresarial no han sido objeto de tanta atención como los factores biológicos, técnicos o medioambientales. Aunque existe información periódica sobre la evolución de la producción y de los mercados en los diferentes países, son escasos los informes y estudios sobre los aspectos económicos a nivel empresarial. Los pocos trabajos realizados en este ámbito, generalmente estudios de viabilidad económica y de estructura de costes, constataron la existencia de diferencias en el coste de producción medio de la dorada y la lubina entre los principales países productores. Asimismo, determinaron la mayor importancia de los costes variables frente a los costes fijos, e identificaron a los costes de alimentación y de los alevines como los costes operativos más importantes respectivamente. La heterogeneidad de los resultados no permite determinar un coste medio, ya que tanto el coste de producción como la estructura de costes difieren en función de la localización, de la especie, del sistema de producción, del peso del individuo despescado, así como de otra serie de factores.

A pesar de la utilidad de esta información, es necesario superar los estudios descriptivos e identificar los factores que condicionan la rentabilidad de estas empresas. En esta línea de trabajo se situaron García-Arthus (2002) y Luna (2002) quienes estudiaron la rentabilidad económica de las empresas españolas de acuicultura a partir de su información contable. Desde una perspectiva económica, la medición del éxito en

la gestión empresarial se realiza a través de la rentabilidad económica (Cuervo, 2004). El rendimiento de los activos está influido por el grado de utilización de los mismos, la eficiencia operativa, y el grado de libertad en la fijación del precio de venta (Azofra, 1995). La estrategia competitiva que sigue la empresa viene determinada por la relación entre la rotación del activo y el margen comercial (Porter, 1980). El tamaño de las empresas de cultivo de dorada y lubina es un factor estratégico que influye sobre la eficiencia de los procesos de producción y que en el caso de la acuicultura se relaciona habitualmente con la capacidad de producción (Gasca-Leyva et al., 2002 y Oca et al., 2002).

El proceso de concentración empresarial acontecido en el sector productor de dorada y lubina durante los últimos años tiene por objetivo el aprovechamiento de las economías de escala. Gasca-Leyva et al. (2002) concluyeron que en el proceso de cultivo existen economías de escala que posibilitan disminuciones del coste medio y aumentos del rendimiento económico a partir de aumentos en la capacidad productiva. El incremento de la competencia en el mercado, que provoca una reducción de los márgenes del producto (Gasca-Leyva et al., 2003), obliga a las empresas a una mayor rotación de su activo con el objetivo de obtener más producto para la venta y compensar así la reducción de los ingresos por la caída de los precios.

La gran cantidad de factores que influyen en el resultado de los procesos de cría de peces y que han sido citados en este capítulo, evidencian las limitaciones de cualquier estudio que no sea multidisciplinar para determinar la competitividad de los procesos de producción. La gestión económica de actividades en las que intervienen procesos biológicos, que a su vez se ven afectados por las condiciones medioambientales, no debe ser realizada a partir de modelos y teorías netamente económicas. Para responder al problema que planteaba el análisis económico de este tipo de actividades surgió una teoría de pensamiento económico llamada bioeconomía, que permite considerar la influencia de los sistemas biológicos sobre los factores económicos de la actividad empresarial. A lo largo de las últimas décadas la bioeconomía ha sido aplicada en la caza o actividad cinegética, la silvicultura, la ganadería, la agricultura, la acuicultura y la pesca. En estas dos últimas, los modelos bioeconómicos son especialmente importantes dada la mayor exposición de la actividad a la evolución de las condiciones medioambientales, y en el caso de la pesca, a la sostenibilidad de los stocks.

La revisión de literatura sobre bioeconomía en pesca y acuicultura ha permitido identificar un gran aumento del número de investigaciones realizadas en este ámbito en los últimos diez años, lo que denota un creciente interés por la aplicación de estos modelos. Los estudios sobre pesca son más numerosos que los aplicados a la acuicultura y abordan principalmente la gestión de pesquerías, y en menor medida la gestión de reservas marinas, de la pesca recreativa, la evaluación de riesgos y los efectos del cambio climático sobre la pesca. Los trabajos sobre acuicultura se enfocan principalmente a la gestión de los procesos de cultivo con el objetivo de incrementar el rendimiento económico, entre los que se puede diferenciar por su relevancia los estudios sobre viabilidad económica del cultivo de diferentes especies y la evaluación de riesgos. En el caso de la dorada existen varios trabajos bioeconómicos en los que, en primer lugar, se modelizó su producción y posteriormente se estudió la incidencia de diversos factores como la localización, las condiciones medioambientales o el tamaño empresarial sobre el rendimiento económico de la actividad. En el caso de la lubina, el número de estudios es mucho menor, y debemos acudir a otras especies como la lubina asiática o incluso a la gestión de pesquerías para encontrar aplicaciones bioeconómicas a su gestión.

Asimismo, la revisión realizada pone de manifiesto la complejidad que supone la realización de estudios bioeconómicos, al comprobar que, a pesar de disponer en la actualidad de mejores fuentes de información, son pocos los investigadores que abordan este tipo de trabajos en comparación con el número de investigadores que desarrollan estudios específicos enmarcados en alguno de los ámbitos citados, biología, medioambiente, tecnología etc. La dificultad que supone el acceso a las fuentes de información es una de las principales causas del reducido número de trabajos en el ámbito acuícola. A diferencia de la actividad pesquera, donde hay disponibles gran número de fuentes de información públicas sobre los recursos y los resultados de las pesquerías, la obtención de información agregada de la actividad de las empresas acuícolas es más compleja.

CAPÍTULO IV

Aplicaciones empíricas al análisis de la competitividad en el proceso de cultivo de las empresas de dorada y lubina

4.1. Introducción

La acuicultura es una actividad empresarial que se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo y en la que se esperan avances en las próximas décadas en el número de especies susceptibles de ser cultivadas y en los conocimientos y tecnologías necesarias para su producción a escala comercial. A pesar de ser una actividad relativamente nueva en comparación con otras áreas del sector primario, como la ganadería o la agricultura, el crecimiento que la acuicultura comercial ha tenido en las pasadas décadas no solo ha conseguido compensar la reducción de las capturas salvajes, sino que ha incrementado el volumen de producción total de productos pesqueros. En la actualidad, existen muchos mercados en los que la oferta de productos pesqueros es mayor que la demanda de los mismos, lo que ha modificado el entorno competitivo.

Desde los años 80 se ha conseguido la viabilidad biológica y técnica para la explotación comercial de muchas especies acuáticas. En los primeros años de producción, esta actividad es muy rentable para las empresas ya que la oferta suele ser inferior a la demanda. Tras comprobarse que es una actividad rentable, aparecen en el mercado nuevos productores que incrementan la oferta progresivamente, en muchos casos muy por encima de la cantidad que demanda el mercado como ha ocurrido en repetidas ocasiones en los mercados de la dorada y la lubina en España. En los primeros años de actividad, las empresas obtuvieron resultados muy positivos ya que estaban produciendo unas especies apreciadas por los consumidores y que les reportaban un margen comercial que hacía muy rentable la actividad. Sin embargo, con el paso de los años el número de productores fue cada vez mayor, tanto en España como en terceros países, lo que provocó una progresiva reducción de los precios de venta que se tradujo en disminuciones de los márgenes comerciales.

La principal dificultad que encuentran las empresas para incrementar la eficiencia de su actividad es la complejidad del proceso de cultivo acuícola en el que intervienen factores biológicos, tecnológicos, medioambientales y económicos. La revisión de literatura científica sobre estos factores reveló que el área de conocimiento menos desarrollado es la economía de la acuicultura. Si bien es cierto que las viabilidades biológica y tecnológica son una condición necesaria para el cultivo de una especie, no deja de ser una cuestión paradójica que se le otorgue tan poca atención a los aspectos

económicos y de gestión en una actividad empresarial en la que la sostenibilidad económica es un aspecto fundamental para su continuidad.

Tras realizar una descripción de los procesos de producción acuícolas de dorada y lubina e identificar los factores que determinan su competitividad, en este cuarto capítulo se exponen tres aplicaciones empíricas enmarcadas en la línea de investigación sobre la competitividad de las empresas acuícolas. La necesidad de realización de dichos estudios está justificada por la pérdida de competitividad de la industria de producción de dorada y lubina en España (Fernández-Polanco y Luna, 2010), y por los insuficientes avances en el desarrollo de la literatura científica sobre cuestiones que afectan a la competitividad de dicha industria. Dado que cada estudio presenta su propia justificación, objetivos, marco teórico, metodología, resultados y conclusiones, cada uno de ellos se presenta con estructura de artículo científico, de forma que puedan ser leídos de forma independiente.

La revisión de literatura puso de manifiesto la escasez de estudios sobre la rentabilidad de las empresas de cultivo de dorada y lubina en España, y la ausencia total de trabajos que abordaran la problemática desde una perspectiva multidisciplinar mediante la consideración de los diferentes ámbitos de conocimiento que influyen en el proceso de cultivo y por lo tanto, en el resultado económico de la actividad. En consecuencia, en primer lugar se realiza un estudio para identificar los principales factores que influyen en la rentabilidad de las empresas españolas de engorde de dorada y lubina desde una perspectiva multidisciplinar. Los resultados de este trabajo indican que en la actualidad la rentabilidad de estas empresas está más influenciada por los aspectos medioambientales y económicos, que por los biológicos o los tecnológicos. Estos resultados, junto con la escasez de estudios sobre los aspectos económicos y de gestión de esta actividad, evidencian la necesidad de mejorar el conocimiento sobre gestión económica de la acuicultura de la dorada y la lubina.

Al hecho de que los aspectos económicos y de gestión sean claves en el éxito de estas empresas y que precisamente este ámbito de conocimiento es el menos investigado, hay que añadir que en la actualidad una de las principales necesidades de las empresas de cultivo de dorada y lubina en España es incrementar la eficiencia de sus procesos de cultivo y reducir sus costes de producción. Por ello, se desarrolla un segundo trabajo que aborda la optimización económica del proceso de producción de la dorada a través de la determinación de las estrategias de cultivo que maximizan la

eficiencia económica del proceso productivo. A partir de un modelo bioeconómico que simula el proceso de engorde de dorada y de un algoritmo de partículas que determina la estrategia de cultivo óptima se contribuye a mejorar el conocimiento sobre gestión económica de los procesos de cultivo en acuicultura.

En el primer estudio, las condiciones medioambientales resultaron ser otro de los factores determinantes en la rentabilidad de las empresas que cultivan estas especies. Los resultados del segundo trabajo señalan a las condiciones medioambientales como una fuente de ventajas competitivas en la producción de dorada en las Islas Canarias en comparación con la producción en la costa mediterránea española. Además, estos resultados son coherentes con otros estudios previos que contrastaron la existencia de dichas ventajas competitivas en las Islas Canarias con respecto a la costa mediterránea en España. En la actualidad, los principales competidores de las empresas de producción de dorada en España se sitúan en la ribera mediterránea. Con el objetivo de determinar la influencia de las diferentes condiciones medioambientales sobre la competitividad de las empresas de producción de dorada en la ribera mediterránea, se analiza la influencia de las diferentes temperaturas del agua a lo largo de esta área geográfica sobre el resultado económico de las empresas de producción de esta especie, y se analiza como dichas diferencias influyen en las estrategias de producción. Los resultados del trabajo muestran la existencia de ventajas competitivas derivadas de las condiciones medioambientales para las empresas situadas en el este del Mediterráneo, en comparación con las situadas en el oeste del Mediterráneo.

Con el objetivo de facilitar su difusión entre la comunidad científica, los tres trabajos son presentados en español e inglés. El primer estudio titulado “Modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina. Aplicación empírica a la cría de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) en España”, está escrito originalmente en español y se facilita también un resumen en lengua inglesa. El segundo estudio titulado “Economic optimisation in seabream (*Sparus aurata*) aquaculture production using a Particle Swarm Optimisation algorithm” está escrito originalmente en inglés, y se facilita una versión del mismo en español. Finalmente, el tercer trabajo de investigación titulado “The competitive advantages arising from different environmental conditions in seabream, *Sparus aurata*, production in the Mediterranean Sea” también está escrito originalmente en inglés, y por lo tanto, el capítulo se cierra con una versión del mismo en español.

4.2. Modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina. Aplicación empírica a la cría de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) en España

El objetivo de este trabajo es analizar cómo inciden los factores biológicos, técnicos, medioambientales y económicos en la rentabilidad de las empresas de piscicultura. Para ello se contrasta, con técnicas de análisis multivariante, un modelo empírico utilizando datos de empresas españolas de cría de dorada y lubina en el periodo 2005/2007. Los resultados muestran cómo los aspectos técnico-biológicos pierden importancia a medida que se estandarizan los procesos productivos, mientras que se incrementa la relevancia de los aspectos medioambientales y económicos.

4.2.1. Introducción

La piscicultura está sustituyendo a la tradicional oferta de la pesca extractiva en el mundo y hoy en día es una alternativa sostenible para satisfacer la demanda de pescado (FAO, 2009). El rápido crecimiento de la actividad piscícola contrasta con la volatilidad de los resultados en las empresas del sector, que se traduce en crisis como las de la dorada y la lubina en la Unión Europea entre los años 2001 y 2002 (Gasca-Leyva et al., 2003) o la del salmón en Chile en el año 2007 (Mardones et al., 2009).

La constatación periódica de estas crisis empresariales en el cultivo de muchas especies genera la necesidad de investigar el motivo por el que las empresas piscícolas no obtienen una rentabilidad acorde con las inversiones realizadas y con el crecimiento de la demanda de su producto. La respuesta a esta cuestión es compleja, dada la dificultad que supone para los gestores tomar decisiones efectivas en una actividad donde interaccionan factores tan distintos como los económicos, los técnico-biológicos y los medioambientales (Luna, 2002).

En paralelo al desarrollo de la piscicultura se ha realizado un gran esfuerzo investigador que ha dado como resultado una extensa literatura científica en la que se identifican numerosos factores que influyen sobre esta actividad. Sin embargo, y a pesar de lo complejo de la gestión empresarial en este sector, son pocos los trabajos enmarcados en líneas de investigación que apliquen una perspectiva multidisciplinar al estudio de la misma.

En muchos trabajos científicos sobre el cultivo de peces se utilizan indicadores económicos para valorar la influencia de distintos factores en el proceso de cría, lo que proporciona una evidencia empírica que permite identificar los factores económicos, técnico-biológicos y medioambientales relevantes a la hora de explicar la rentabilidad de las empresas. Por tanto, un estudio que tenga por objetivo analizar la rentabilidad de las empresas de piscicultura obligatoriamente ha de abordarse desde una perspectiva multidisciplinar, incluyendo todos aquellos factores que han demostrado ser relevantes.

En función de la problemática identificada y del estado de la investigación, este trabajo propone un modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina. El modelo se desarrolla desde una perspectiva multidisciplinar a través de la integración de variables económicas, técnicas, biológicas y medioambientales identificadas en la literatura científica, con el objetivo de comprender cuáles son los principales factores que determinan el rendimiento de la actividad y aislar el efecto de cada uno de ellos sobre la rentabilidad empresarial. Los resultados del trabajo podrían proporcionar información de utilidad a los gestores de las empresas piscícolas en la toma de decisiones encaminadas a lograr la rentabilidad a largo plazo de la actividad.

El trabajo se estructura en seis apartados, incluida esta introducción. En el segundo se establece el marco teórico donde se exponen los principales estudios sobre la rentabilidad de la piscicultura marina y se identifican las variables que la afectan. En el siguiente epígrafe, se plantean el modelo explicativo y las hipótesis a contrastar, en tanto que en el apartado cuarto, se describen los materiales y métodos utilizados. A continuación, se exponen e interpretan los resultados obtenidos en la estimación del modelo. Finalmente, se resumen las principales conclusiones alcanzadas.

4.2.2. Marco teórico

El resultado económico de las explotaciones acuícolas viene determinado por un conjunto de factores tanto internos como externos. Entre los primeros cabe destacar los biológicos, los técnicos y los organizativos, mientras que entre los externos se encuentran los relacionados con las condiciones ambientales y el mercado (Paquotte, 1999 y Gasca-Leyva et al., 2003). Por ello, la sostenibilidad de la acuicultura marina no se fundamenta sólo en la viabilidad biológica, punto de partida necesario para conseguir la reproducción y engorde de la especie en condiciones controladas, sino que también se asienta en la viabilidad técnica y en la económica. Así pues, las empresas de acuicultura

deben procurar adaptarse tanto al medio natural, como al contexto económico y social en el que actúan (González Laxe, 2001 y FAO, 2010).

La revisión de la literatura científica sobre piscicultura ha permitido identificar un importante número de trabajos que utilizan la rentabilidad de la actividad como indicador del efecto económico del factor analizado, entre los que cabe destacar los que la utilizan para analizar: el rendimiento económico de diferentes tipos de alimentación (Urban Jr. y Pruder, 1991; Moñino et al., 2002; Sánchez Lozano et al., 2007 y Petersen et al., 2011b), la viabilidad económica de la explotación comercial de una especie o producto (Jeffs y Hooker, 2000; Oca et al., 2002; Keys et al., 2004; Poot-López y Gasca-Leyva, 2009; Shamshak y Anderson, 2009; García y García, 2010 y Zúñiga, 2010), y el impacto que tienen las condiciones ambientales (Hatch et al., 1998; León et al., 2006 y Hernández et al., 2007), el sistema de producción (Losordo y Westerman, 1994; Thongrak et al., 1997; Goode et al., 2002; Lever et al., 2004; Taylor et al., 2006; Liu y Sumaila, 2007 y Buck et al., 2010) o la localización de la explotación (Moksness et al., 1998; Gasca-Leyva et al., 2002; Irz y McKenzie, 2003; Bozoglu y Ceyhan, 2009; Miao et al., 2009; Petersen y Phuong, 2010 y Huang et al., 2011) sobre el resultado económico del proceso de cultivo.

A pesar de la importancia que tiene para el desarrollo del sector piscícola la rentabilidad de las empresas, no son numerosos los trabajos realizados desde la perspectiva empresarial. En España, García-Arthus (2002) y Luna (2002) estudiaron la rentabilidad de las empresas acuícolas a partir de su información contable. El hecho de utilizar únicamente este tipo de información constituye, junto con la aplicación de técnicas de análisis univariante, su principal limitación.

El uso de una técnica de análisis multivariante en la estimación econométrica de un modelo lineal *ad-hoc*, supondría una evolución metodológica sobre los estudios anteriores. Este razonamiento sigue la línea de lo argumentado por Lev et al. (1978), Hernández (1986) y Azofra (1995) en sus trabajos sobre el nuevo enfoque del análisis financiero[2]. Estos autores afirman que las limitaciones de las técnicas de análisis financiero clásicas, derivadas del tratamiento secuencial de la información, tienen que ser superadas mediante la aplicación de técnicas multivariantes.

[2] Como indica Azofra (1995), desde la publicación del trabajo de Lev et al. (1978) "Análisis de estados financieros. Un nuevo enfoque", existe una tendencia cada vez mayor en la literatura financiera a diferenciar entre análisis financiero clásico y análisis financiero moderno.

Otro de los objetivos de la revisión de la literatura científica es identificar qué factores inciden más en el rendimiento económico del cultivo de peces. El diseño del modelo se realiza a partir de las variables mediante las que se caracterizan dichos factores y que han demostrado ser relevantes en trabajos anteriores, lo que justifica teóricamente su utilización. El uso de estas variables está limitado por las restricciones de las fuentes de información de las empresas de acuicultura.

La rentabilidad se ha convertido en el indicador financiero más habitual para medir el acierto o fracaso de la gestión empresarial (Acosta et al., 2002). Este concepto económico mide la relación entre los resultados monetarios obtenidos y los capitales empleados para obtenerlos: se trata, pues, de una medida de eficiencia. Según Rivero y Cuervo (1986) se puede diferenciar entre, la rentabilidad económica o de las inversiones, la rentabilidad financiera o de los capitales propios y la rentabilidad de mercado o rentabilidad para el accionista. El presente estudio se centra en el rendimiento económico de la actividad productiva, y deja el análisis de la estructura financiera de las empresas del sector para otras investigaciones. Por lo tanto, y siguiendo a García-Arthus (2002) y Luna (2002), en este trabajo se utiliza la rentabilidad económica como indicador del éxito en la gestión empresarial.

Desde la perspectiva económica, el rendimiento de las inversiones está influido por la eficiencia operativa, el grado de libertad en la fijación del precio de venta y el grado de utilización del activo (Azofra, 1995). En consecuencia, la obtención de una mayor rentabilidad de los activos pasa por: una gestión eficiente de los costes de producción, a través de la cual minimizar los gastos para un nivel de producción determinado, una elevada eficacia comercial, con la que se pretende fijar el mayor precio de venta al producto comercializado y un elevado nivel de rotación del activo, mediante el cual se incrementa la utilización del mismo. La estrategia competitiva que sigue la empresa viene determinada por la relación entre la rotación del activo y el margen comercial (Porter, 1980), dependiendo este último de la eficiencia operativa y del grado de libertad en la fijación del precio de venta. La estrategia de liderazgo en costes se caracteriza por altas rotaciones del activo con bajos márgenes comerciales mientras que, al contrario, la estrategia de diferenciación implica márgenes comerciales más amplios con menores rotaciones del activo.

La dimensión de la empresa es considerada por muchos científicos como una cuestión económica, por lo que resulta habitual en la literatura científica utilizar como

variable *proxy* del tamaño empresarial diferentes indicadores económicos tales como el valor de los activos (Suárez, 1977) o la cifra de ventas de la empresa (Gómez-Miranda y Rodríguez-Ariza, 2004). En la actividad piscícola el tamaño se relaciona comúnmente con la escala de producción, esta última medida a través de aspectos como la capacidad productiva instalada en m^3 (Gasca-Leyva et al., 2002) o la cantidad real de producto obtenida (Oca et al., 2002). La relación del tamaño empresarial con el rendimiento económico de las empresas de piscicultura marina es estudiada en profundidad para el caso de la dorada por Gasca-Leyva et al. (2002), confirmando los resultados de su trabajo la presencia de economías de escala en el cultivo en jaulas flotantes. Esto implica que un aumento de la cantidad producida de kilogramos de pescado genera una disminución del coste unitario de producción y, por lo tanto, una mejora del rendimiento económico.

Por otro lado, para que la explotación comercial de una especie sea considerada por el sector privado, debe existir un proceso de cultivo eficiente que permita obtener un coste de producción lo suficientemente bajo como para poder añadirle un margen comercial y poder retribuir a los agentes que financian el proyecto (Luna, 2002). Un indicador muy utilizado para medir la eficiencia en el proceso de engorde es la tasa de conversión del alimento (McCormick et al., 1989; Klaoudatos y Conides, 1996; Björnsson et al., 2001; Van Ham et al., 2003 y Handeland et al., 2008), que tiene una relación inversa con la eficiencia del proceso de engorde.

El proceso de alimentación -por su influencia en el proceso de engorde y en los costes de producción- ha sido uno de los aspectos técnicos más investigados ante la demanda de las empresas y los proveedores de piensos. El objetivo empírico clásico de estas investigaciones ha sido analizar la incidencia del pienso sobre aspectos técnicos y biológicos, como por ejemplo, el engorde, la tasa de conversión del alimento y la calidad del pescado. Recientes estudios ampliaron este objetivo a aspectos económicos como la rentabilidad del proceso de cultivo, en la línea del trabajo sobre la dorada de Moñino et al. (2002). Esto permitió identificar que el uso de piensos de mayor precio producía mejoras en los indicadores biológicos, que no siempre se correspondían con mejoras en los indicadores económicos. Se evidenció así la necesidad de considerar ambos aspectos a la hora de decidir sobre el tipo de piensos a utilizar en la empresa. Siguiendo a estos autores, en el presente trabajo se emplea el precio del pienso como variable *proxy* de la calidad del mismo, lo que permite contrastar si el uso de alimento

de más calidad en la cría de dorada y lubina genera o no un rendimiento económico mayor.

Otro de los ámbitos que afectan al desarrollo y al resultado de la actividad piscícola es el medioambiental, ya que el lugar donde se ubican las instalaciones productivas condiciona una serie de factores que afectan a la competitividad de las empresas piscícolas (Gasca-Leyva et al., 2002). La elección de una localización no conlleva unos parámetros medioambientales fijos y su evolución no es decisión de los gestores de la empresa. Sin embargo, las diferentes localizaciones tienen asociados unos parámetros que fluctúan en torno a unos valores medios que deben ser estudiados y analizados a fin de determinar qué localización presenta las condiciones medioambientales más beneficiosas para el desarrollo del cultivo de la especie en cuestión. En la línea propuesta por Gasca-Leyva et al. (2002), cabría considerar las condiciones medioambientales en las que se desarrolla el cultivo como un aspecto estratégico debido a que están condicionadas, en parte, por la localización, que es decidida por la empresa.

El factor medioambiental que concentra más trabajo de investigación es la temperatura del agua, considerado por muchos autores como el aspecto medioambiental que más influye sobre la tasa de conversión del alimento y el crecimiento y, en consecuencia, sobre el rendimiento económico de la actividad (Brett y Groves, 1979; Corey et al., 1983; Calderer, 2001; Gasca-Leyva et al., 2002; Hernández et al., 2003 y Hernández et al., 2007). En el caso de la dorada y la lubina, la relación entre la temperatura media del agua y el crecimiento es una curva con un máximo denominado temperatura óptima, próximo a 25 ºC en la dorada (Calderer, 2001 y Gasca-Leyva et al., 2002) y a 26 ºC en la lubina (Person-Le Ruyet et al., 2004), disminuyendo progresivamente el crecimiento a medida que la temperatura se aleja de dicha temperatura óptima. Las áreas de cultivo de estas dos especies en España no registran temperaturas medias anuales superiores a los valores óptimos citados, por lo que las empresas incluidas en el análisis empírico de este artículo se sitúan en el primer tramo de la curva.

4.2.3. Modelo e hipótesis

En la Tabla 27 se detallan las hipótesis estadísticas propuestas a fin de responder a los objetivos de esta investigación. La hipótesis principal *HP* se contrasta a partir del

contraste de significación conjunta del modelo. Por su parte, cada una de las demás hipótesis hace referencia a la relación teórica entre la variable endógena y una de las variables exógenas del modelo. Su contraste se realizará a partir de los contrastes de significación estadística individual de los parámetros del modelo.

Tabla 27. Hipótesis a contrastar por el modelo propuesto. Fuente: Elaboración propia.

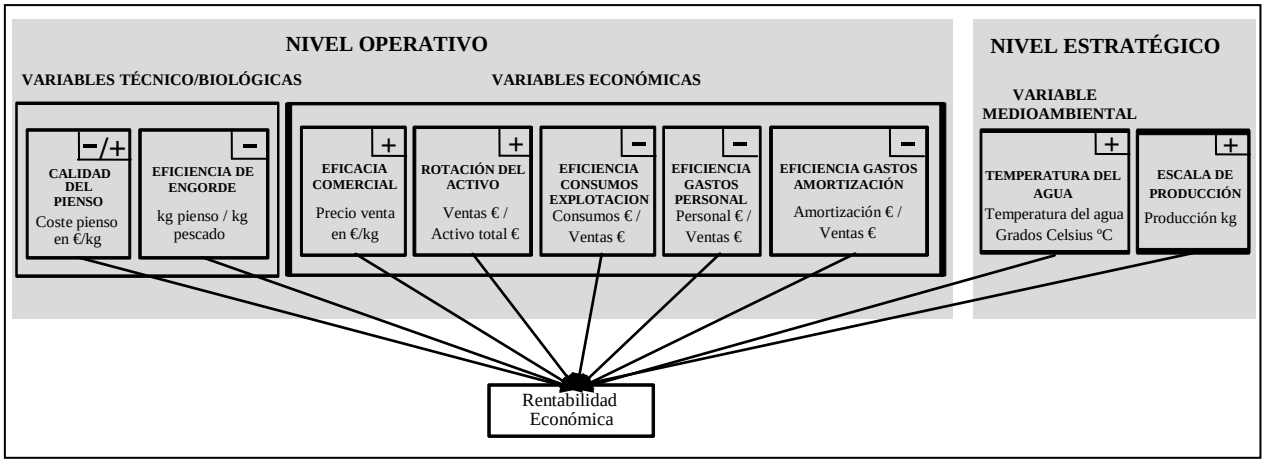
Hipótesis	Enunciado
Principal HP	La rentabilidad económica de una empresa de piscicultura marina es el resultado de la influencia conjunta de factores medioambientales, técnico/biológicos y económicos.
Medioambiental H.1.1	La temperatura del agua tiene una relación positiva con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.
Técnico/biológica H.2.1	La calidad del pienso utilizado en la alimentación de los peces está relacionada positiva o negativamente con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.
Técnico/biológica H.2.2	La eficiencia en el engorde de peces está relacionada positivamente con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.
Económica H.3.1	La eficacia comercial está relacionada positivamente con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.
Económica H.3.2	La rotación del activo está relacionada positivamente con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.
Económica H.3.3	La eficiencia en los consumos de explotación está relacionada positivamente con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.
Económica H.3.4	La eficiencia en los gastos de personal está relacionada positivamente con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.
Económica H.3.5	La eficiencia en los gastos de amortización está relacionada positivamente con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.
Económica H.3.6	La escala de producción está relacionada positivamente con la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina.

El modelo propuesto para explicar la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina se muestra en la Figura 19. Los signos[3] que aparecen en él indican el sentido

[3] Nótese que las ratios que miden la eficiencia se han calculado de manera que a menor valor de la ratio, mayor grado de eficiencia.

esperado del efecto de las variables exógenas sobre la rentabilidad económica de las empresas, teniendo en cuenta las relaciones identificadas en la revisión de la literatura. En el modelo no aparecen todas las variables que afectan al rendimiento económico de la actividad. Sin embargo, su ausencia no significa que en este trabajo se les suponga menor relevancia. El hecho de que no estén presentes responde, por un lado, a la utilización de aquellas variables identificadas como más relevantes por la literatura previa y, por el otro, a una limitación a la hora de obtener información que permita cuantificarlas adecuadamente.

Figura 19. Modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina. Fuente. Elaboración propia.



La explicación de la rentabilidad económica de las empresas de piscicultura marina se realiza a través de los efectos de variables procedentes de tres ámbitos de conocimiento distintos: el económico, el técnico-biológico y el medioambiental. La incidencia de los aspectos económicos se cuantifica a partir de una serie de variables, cuya relación esperada con la rentabilidad económica es positiva. Estas son; la *eficiencia en los gastos de personal*, la *eficiencia en los gastos de amortización* y la *eficiencia en los consumos de explotación*, como indicadores de la eficiencia operativa; la *eficacia comercial* como indicador del grado de libertad en la fijación del precio de venta; y la *rotación del activo*, como indicador del grado de utilización del mismo. Además hay que tener en cuenta el aspecto estratégico de la dimensión empresarial como fuente de economías de escala. Por ello se utiliza la variable *escala de producción* como indicador de la dimensión empresarial. Al mismo tiempo, la influencia de las condiciones medioambientales se estudia por medio de la variable *temperatura del agua*, que tiene una relación positiva con la rentabilidad económica. Finalmente, la

relevancia de los aspectos técnico-biológicos se analiza a partir de la *eficiencia de engorde* y la *calidad del pienso*, utilizándose ambas variables como indicadores de la eficiencia del proceso de cultivo piscícola.

4.2.4. Materiales y métodos

En el presente epígrafe se describen: la población, los métodos estadísticos utilizados para contrastar las hipótesis y, finalmente, la medición de las variables.

4.2.4.1. Población y obtención de los datos

El modelo empírico planteado se contrasta utilizando datos de empresas españolas de cultivo de dorada y lubina, dada su relevancia dentro del sector español de la piscicultura. En consecuencia, las conclusiones extraídas de los resultados de la estimación del modelo serán válidas para las empresas de cultivo de estas dos especies de peces. En este contexto, la población son todas aquellas empresas productoras de dorada y lubina en España. Según la información disponible en el directorio de instalaciones de acuicultura de la Junta Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR) del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) a 22 de junio de 2009, en España había censadas 109 empresas dedicadas al cultivo de estas dos especies. En el estudio se ha considerado objeto de análisis un subconjunto de la población integrado por todas aquellas empresas dedicadas al cultivo de dorada y lubina en España que integran dentro de su proceso productivo la fase de engorde, tienen forma jurídica de sociedad mercantil, desarrollaron una actividad continua en el periodo 2005/2007, gozan de una situación patrimonial estable[4] y no comercializan otros productos que no sean esas dos especies de peces. La subpoblación resultante, que asciende a 47 empresas, no es una muestra representativa de la población, lo que supone una limitación a tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

La información procede de diversas fuentes, tanto económicas, como técnico-biológicas y ambientales, dado su carácter multidisciplinar. La información económica se obtuvo de la base de datos S.A.B.I. (Sistema de Análisis de Balances Ibéricos) que dispone de informes económico-financieros de las sociedades mercantiles de España y Portugal. Se obtuvieron las cuentas anuales de las empresas con forma jurídica de

[4] Se considera que no tienen una situación patrimonial estable aquellas empresas que están en quiebra técnica, es decir, que han registrado fondos propios negativos en sus cuentas anuales (Beaver, 1966).

sociedad mercantil para los años 2005, 2006 y 2007. Los datos biológicos y técnicos extraídos de la base de datos ACUIDIR de la Secretaría General del Mar del MARM contienen información sobre empresas, explotaciones de cultivo, especies cultivadas, producción y alimentación. Por último, la información medioambiental se obtuvo de la red de boyas de Puertos del Estado, accediéndose a los datos de temperatura del agua de las diferentes boyas situadas por esta red en el litoral mediterráneo y las Islas Canarias, zonas de actividad de las empresas objeto de análisis. Los datos, con 24 referencias diarias, abarcan un periodo que comprende desde el inicio de la actividad de cada una de las boyas hasta el 1 de marzo de 2009.

4.2.4.2. Métodos de contraste

Los resultados hasta ahora obtenidos por los estudios previos describen la situación y evolución de la rentabilidad de las empresas de acuicultura. Sin embargo, no determinan cuáles son los principales factores explicativos del rendimiento de las inversiones y cuál es la influencia que ejerce cada uno de ellos sobre la rentabilidad económica.

El presente trabajo pretende dar respuesta a los anteriores interrogantes a través de la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes. El modelo planteado en la Figura 19 representa una serie de relaciones lineales entre un conjunto de variables exógenas y una variable endógena. Se trata por tanto de un modelo de relaciones lineales *ad-hoc*, especificado analíticamente en una única ecuación de la siguiente manera:

$$Re_i = \alpha_1 + \beta_1 T_i + \beta_2 CP_i + \beta_3 TC_i + \beta_4 EC_i + \beta_5 ROT_i + \beta_6 ECE_i + \beta_7 EGP_i + \beta_8 EGA_i + \beta_9 A_i + \varepsilon_i \qquad (1)$$

donde Re_i = *Rentabilidad económica*, es la variable dependiente de la Ecuación 1 cuyas variables explicativas son; T_i = *Temperatura del agua*, CP_i = *Calidad del pienso*, TC_i = *Eficiencia de engorde*, EC_i = *Eficacia comercial*, ROT_i = *Rotación del activo*, ECE_i = *Eficiencia en los consumos de explotación*, EGP_i = *Eficiencia en los gastos de personal*, EGA_i = *Eficiencia en los gastos de amortización*, A_i = *Escala de producción* y el término ε_i, que representa la perturbación del modelo.

El modelo planteado se contrasta utilizando datos de sección cruzada con observaciones correspondiente a tres periodos temporales distintos, los años 2005, 2006 y 2007. Esta situación hace posible la existencia de efectos específicos del ciclo

económico que afectan a la rentabilidad económica de las empresas. En consecuencia, es necesario incluir en la Ecuación 1 dos variables dummy, *Dum1 y Dum2*, que representan el año de la observación. Si los coeficientes estimados de estas variables resultaran significativos, confirmarían la presencia de variaciones en la rentabilidad económica derivadas del efecto temporal. Tras la incorporación a la Ecuación 1 de las variables dummy, el modelo queda especificado analíticamente como sigue:

$$Re_i = \propto_1 + \beta_1 T_i + \beta_2 CP_i + \beta_3 TC_i + \beta_4 EC_i + \beta_5 ROT_i + \beta_6 ECE_i + \beta_7 EGP_i + \beta_8 EGA_i + \beta_9 A_i + \beta_{10} Dum1_i + \beta_{11} Dum2_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

Se realiza una primera estimación del modelo de regresión lineal múltiple mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios o MCO. En este proceso se utiliza el programa estadístico IBM SPSS Statistics 19. El análisis de los residuos confirma la presencia de heterocedasticidad y la ausencia de normalidad en la función de distribución de los mismos. Una de las soluciones más habituales a estos problemas es la transformación de las variables del modelo. En este caso, los residuos presentan una distribución asimétrica negativa, y por lo tanto, la transformación idónea es la potenciación. Se eleva la variable Re_i al cuadrado y al cubo sin resolver el problema de asimetría en la distribución. También se intenta sin éxito corregir la heterocedasticidad aplicando la estimación por Mínimos Cuadrados Ponderados.

Las alternativas adoptadas no resuelven los problemas identificados en la estimación de los parámetros del modelo por el método MCO. Por lo tanto, se recurre a un método de estimación robusto frente al incumplimiento de la forma de la distribución, como es la estimación bayesiana (Arbuckle, 2006). Una de las grandes ventajas de este método de estimación es que no asume a priori ningún tipo de distribución para estimar los parámetros. De esta forma, los intervalos de confianza y el contraste de las relaciones entre las variables del modelo no dependen de una función de distribución determinada. Otra de las ventajas de la estimación bayesiana es que, a diferencia de otros métodos como la regresión lineal o el análisis de componentes principales, no requiere datos completos. Esto hace muy apropiada su aplicación a conjuntos de datos como el del presente estudio, que tiene datos ausentes (*missing values*).

La estimación bayesiana combina los datos observados con cualquier conocimiento anterior sobre el modelo o distribución de los parámetros, para alcanzar

una distribución posterior que resuma el estado del conocimiento sobre los parámetros. En este método de estimación suele ser determinante la definición de la probabilidad previa del valor de los parámetros, dándose principalmente dos opciones (Rasmussen, 2001): seleccionar distribuciones informativas previas basadas en conocimientos teóricos de otras disciplinas o en la experiencia empírica anterior. Esta opción recibe a menudo críticas debido al grado de subjetividad al que está expuesta por el hecho de que es el investigador quien decide la distribución previa. O bien, ponderar todos los valores de cada uno de los parámetros del modelo con la misma probabilidad, lo que se denomina distribución previa uniforme o difusa. En este caso, al no utilizar información previa en las distribuciones, se puede hacer inferencia bayesiana objetiva. Esta última opción es la aplicada en la estimación de los parámetros del modelo planteado en este trabajo. El programa estadístico SPSS AMOS 18, con el que se realiza la estimación bayesiana en este estudio, aplica por defecto a cada parámetro una distribución uniforme en el intervalo [$-3{,}14 \cdot 10^{-38}$, $3{,}4 \cdot 10^{38}$] (Arbuckle, 2006).

En la estimación de los parámetros del modelo se ha modelado el comportamiento de los residuos, considerando que los errores no están correlacionados consigo mismos ni con las variables exógenas, que su media es cero y su varianza constante. Estas restricciones que se tienen en cuenta a la hora de estimar los parámetros del modelo evitan rigideces de las relaciones que se plantean o posibles problemas en las hipótesis de partida del modelo (multicolinealidad, heterocedasticidad, autocorrelación o endogeneidad) que otras metodologías pueden presentar (Lévy et al., 2003), como ocurre en este caso con la regresión lineal múltiple.

4.2.4.3. Medición de las variables

Las variables incluidas en el modelo son aleatorias (a excepción de las dos variables ficticias *Dum1* y *Dum2*). En concreto son variables continuas, es decir, no presentan separaciones o interrupciones en la escala que pueden tomar. Dado que en la estimación bayesiana del modelo se asume una distribución previa difusa, se supone que la distribución de probabilidad de las variables explicativas es uniforme (Arbuckle, 2006). La definición de las variables y su cuantificación se ha realizado de la siguiente forma:

- *Variables económicas*: se miden a través de ratios calculadas a partir de la información de las cuentas anuales de las empresas y son: la *rentabilidad*

económica (Re_i) calculada mediante la ratio beneficio antes de intereses e impuestos (BAIT) entre el valor del activo total de la empresa (Rivero y Cuervo, 1986), la *rotación del activo* (ROT_i) medida mediante el valor de la cifra de ventas entre el valor del activo total (Rivero y Cuervo, 1986), la *eficiencia en los consumos de explotación* (ECE_i) determinada por medio de la ratio consumos de explotación entre el valor de las ventas, la *eficiencia en los gastos de personal* (EGP_i) resultado de dividir la cifra de gastos de personal entre el valor de las ventas, la *eficiencia en los gastos de amortización* (EGA_i) calculada por medio de la ratio gastos de amortización entre la cifra de ventas, al igual que utilizó Luna (2002) el valor de las ventas para estandarizar el valor de las partidas de gasto en su análisis económico de la maricultura en España, y la *eficacia comercial* (EC_i) medida a través del precio medio de venta del producto en €/kg. Respecto a la *escala de producción* (A_i), en este trabajo -al igual que en el de Oca et al. (2002)- se utiliza la producción real en kilogramos obtenida de la base de datos del MARM, eliminándose así el sesgo que la eficacia comercial puede ejercer sobre el valor de las ventas como aproximación de la dimensión empresarial.

- *Variables técnico-biológicas*: por un lado, la *calidad del pienso* (CP_i) medida a través de la variable *proxy* del coste medio del kilogramo de pienso. Su valor se calcula como el coste de los aprovisionamientos en euros entre la cantidad consumida de kilogramos de pienso (Moñino et al., 2002). Por el otro, la *eficiencia de engorde* (TC_i) medida por medio de la tasa de conversión del alimento. Su valor representa los kilogramos de pienso consumidos para obtener un kilogramo de biomasa de pescado, como en Hernández et al. (2003).
- *Variable medioambiental*: la *temperatura del agua* (T_i) se mide como la temperatura media anual del agua en grados Celsius (ºC).

4.2.5. Resultados

Los resultados de un análisis descriptivo de las variables explicativas del modelo y de sus coeficientes de correlación simple de Pearson (Tabla 28) muestran una gran dispersión en los valores de las variables técnico-económicas, lo que indica una discrecionalidad muy importante por parte de los gestores de las empresas de cría de dorada y lubina.

Las múltiples correlaciones contrastadas entre las variables explicativas señalan la existencia de interacciones entre ellas, asociadas a la estrategia productiva y comercial. Las interacciones sirven de base para plantear modelos más complejos que permitan comprender cuáles son los principales factores que determinan el rendimiento de la actividad.

Tabla 28. Media, desviación típica y correlaciones simples de las variables explicativas.

Variables	**Media**	**Des.Tip**	(*ECE*)	(*EGP*)	(*EGA*)	(*ROT*)	(*A*)	(*EC*)	(*CP*)	(*TC*)	(*T*)
(*ECE*)	0,59	0,55	1								
(*EGP*)	0,20	0,19	0,026	1							
(*EGA*)	0,19	0,30	-0,254***	0,071	1						
(*ROT*)	0,69	0,62	0,124	-0,182*	-0,327***	1					
(*A*)	359.249	391.059	0,116	-0,146	-0,195*	0,016	1				
(*EC*)	4,93	2,02	0,019	-0,130	-0,145	0,216**	-0,244**	1			
(*CP*)	2,40	3,10	0,189*	-0,268***	-0,114	0,183*	0,092	0,364***			
(*TC*)	3,07	3,22	-0,211*	-0,021	-0,071	0,131	-0,199**	0,467**	-0,267**	1	
(*T*)	19,95	1,43	0,192	-0,208*	-0,050	-0,179	-0,369***	0,081	0,158	-0,050	1

Niveles de significación: *** Nivel de significación del 1 %. ** Nivel de significación del 5 %. * Nivel de significación del 10 %.

Es necesario destacar algunos de los resultados mostrados en la Tabla 28. Existe una gran variedad en la calidad del pienso utilizado por los gestores de las empresas de cultivo de dorada y lubina en sus estrategias de alimentación ($\overline{CP}$ = 2,40; σ = 3,10). La utilización de piensos de más calidad contribuye a obtener una mayor eficiencia en el proceso de engorde (r_{xy} = -0,267** para $x = CP$ e $y = TC$)[5]. Sin embargo, no se alcanza un mayor rendimiento económico puesto que reduce la eficiencia en los consumos de explotación (r_{xy} = 0,189* para $x = CP$ e $y = ECE$), es decir, genera un mayor coste de alimentación. Por el contrario, el uso de alimento de menos calidad genera una menor eficiencia del engorde, pero una mayor eficiencia en los consumos de explotación. Esta última opción permite establecer precios de venta más competitivos (r_{xy} = 0,364*** para $x = CP$ e $y = EC$). Las empresas con una mayor escala de producción, alcanzan un grado más elevado de eficiencia en el proceso de engorde (r_{xy} = -0,199** para $x = A$ e $y = TC$) y comercializan su producto a un precio más competitivo (r_{xy} = -0,244** para $x = A$ e $y = EC$).

En la Tabla 29 se resumen los resultados obtenidos en la estimación del modelo empírico para el caso de las empresas españolas de dorada y lubina. La bondad de ajuste

[5] El término r_{xy} representa el valor del coeficiente de correlación simple de Pearson que cuantifica la fuerza de la relación lineal entre dos variables cuantitativas denominadas *x* e *y*.

del modelo estimado por el método bayesiano es buena, ya que el valor *p* prospectivo de la distribución posterior[6] es igual a 0,5. Las variables exógenas incluidas en el modelo explican el 57,3 por ciento de la varianza de la variable dependiente, dado que el indicador de la bondad de ajuste del modelo $\overline{R}^2 = 0{,}573$. El contraste de significación conjunta del modelo se realiza a partir de un análisis de la varianza en el que se especifican las siguientes hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = \beta_{10} = \beta_{11} = 0$$

$$H_1: No\ H_0$$

La hipótesis nula afirma que el valor poblacional de *R* es cero. El estadístico *F* que se utiliza para realizar el contraste de hipótesis sigue una distribución *F* de Snedecor con *k-1* grados de libertad en el numerador y *n-k* grados de libertad en el denominador[7]. Si $F_0 \geq F_{k-1,\ n-k;\ \alpha}$ se rechaza la H_0 al nivel de significación α y por lo tanto el modelo es estadísticamente significativo. El resultado obtenido (F_0 = 11,341 > $F_{10,\ 130;\ 0,01}$ = 2,460) permite rechazar la hipótesis nula H_0 a un nivel de significación del 1 por 100. Por lo tanto, se puede afirmar que las variables explicativas del modelo explican conjuntamente una parte significativa de la variabilidad de la rentabilidad económica de las empresas de dorada y lubina. En consecuencia, en el cultivo de estas dos especies se acepta la hipótesis principal *HP*.

El siguiente paso es interpretar los resultados obtenidos en la estimación de los parámetros que representan las relaciones de causalidad entre las variables explicativas y la variable dependiente Re_i. Se observa que las relaciones teóricas definidas por los parámetros estimados son significativas usando niveles de significación inferiores o iguales al 10 por 100, salvo en el caso de las variables *dummy Dum1* y *Dum2* y de la *Calidad del pienso* (CP_i). Al no ser significativas las relaciones definidas por las variables *dummy* se puede rechazar la existencia de efectos específicos del ciclo económico que pudieran estar afectando a la rentabilidad de las empresas y que por lo tanto, impidieran el análisis conjunto de los datos. A continuación se exponen los resultados de los contrastes de significación estadística individual de los parámetros del modelo, para las empresas de cultivo de dorada y lubina en España. En la estimación

[6] Los valores de significación (*p-values*) predictivos posteriores fluctúan entre 0 y 1. Valores iguales a 0,5 indican un buen ajuste del modelo, mientras que valores próximos a 0 o 1 muestran un mal ajuste (Lee y Song, 2003).

[7] La *k* representa el número de variables regresoras en el modelo propuesto. En esta ocasión *k* = 11. La *n* representa el número de observaciones presentes en el conjunto de datos analizado. En este caso *n* =141.

bayesiana, los intervalos de confianza utilizados en el contraste de hipótesis se obtienen a partir de la función de distribución de probabilidad *a posteriori* de cada uno de los parámetros del modelo (Berger, 1985; Lee, 1989 y Arbuckle, 2006). En este estudio, las funciones de distribución a posteriori se obtienen a través del programa informático SPSS AMOS 18.

Tabla 29. Solución estandarizada del modelo.

Variables			**Coeficientes estandarizados Bayes**
(Re)	←	*Temperatura del agua* (*T*)	0,384*
(Re)	←	*Calidad del pienso* (*CP*)	-0,262
(*Re*)	←	*Eficiencia de engorde* (*TC*)	-0,256**
(*Re*)	←	*Eficacia comercial* (*EC*)	0,356**
(*Re*)	←	*Rotación del activo* (*ROT*)	0,419***
(*Re*)	←	*Eficiencia consumos explotación* (*ECE*)	-0,674***
(*Re*)	←	*Eficiencia gastos personal* (*EGP*)	-0,192*
(*Re*)	←	*Eficiencia gastos amortizaciones* (*EGA*)	-0,182*
(*Re*)	←	*Escala* (*A*)	0,293*
(*Re*)	←	*Dum1*	0,017
(*Re*)	←	*Dum2*	0,090
Indicadores de bondad de ajuste del modelo			**Valor del indicador**
$\overline{R}^2$			0,573
F			11,341***
Valor- p distribución posterior (PPP)			0,5

Niveles de significación: *** Nivel de significación del 1 %. ** Nivel de significación del 5 %. * Nivel de significación del 10 %.

Hipótesis medioambiental (*H.1.1*): para realizar la prueba de significación de la hipótesis *H.1.1* se establecen las siguientes hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) afirma que la influencia de la variable temperatura del agua (T_i) en la rentabilidad económica (Re_i) de las empresas de piscicultura marina es nula. El intervalo de confianza obtenido es $P\ (0{,}204 \leq \beta_1 \leq 8{,}863) = 0{,}90$. El valor recogido en H_0 se encuentra fuera del intervalo de confianza o región de aceptación de H_0. Por lo

tanto, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación del 10 por 100. Se contrasta una relación significativa entre la temperatura del agua y la rentabilidad económica que obtiene la empresa. Además, el signo de los valores incluidos en el intervalo de confianza señala que la relación entre estas variables es positiva. Esta relación coincide con la relación esperada a partir de la evidencia empírica previa. En función de los resultados de la prueba de significación, se acepta la hipótesis *H.1.1*. El valor del coeficiente de regresión estandarizado (β_1 = 0,384) indica que esta variable, junto con la rotación del activo (ROT_i) y la eficiencia en los consumos de explotación (ECE_i), es la que influye en mayor medida en la rentabilidad económica de estas empresas.

Hipótesis técnico/biológicas (*H.2.1* y *H.2.2*): en primer lugar, se especifican las siguientes hipótesis estadísticas para el contraste de la hipótesis *H.2.1*:

$$H_0: \beta_2 = 0$$
$$H_1: \beta_2 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) afirma que la calidad del pienso (CP_i) utilizado para alimentar a los peces no influye en la rentabilidad económica (Re_i) de las empresas de piscicultura marina. El intervalo de confianza obtenido es P (-3,252 $\leq \beta_2 \leq$ 0,198) = 0,90. El valor recogido en H_0 se encuentra dentro de la región de aceptación de H_0. Por lo tanto, no existe evidencia empírica suficiente para rechazar la hipótesis nula a un nivel de significación del 10 por 100. En consecuencia, el contraste no es estadísticamente significativo y no se puede afirmar que la hipótesis *H.2.1* sea cierta.

Para realizar la prueba de significación de la hipótesis *H.2.2* se definen las siguientes hipótesis estadísticas:

$$H_0: \beta_3 = 0$$
$$H_1: \beta_3 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) asegura que la eficiencia de engorde (TC_i) de peces no tiene ninguna relación con la rentabilidad económica (Re_i) de las empresas de piscicultura marina. El intervalo de confianza obtenido es P (-2,800 $\leq \beta_3 \leq$ -0,046) = 0,95. El valor recogido en H_0 se encuentra fuera de la región de aceptación de H_0. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación del 5 por 100. La aceptación de la hipótesis alternativa H_1 permite afirmar que existe una relación significativa entre la eficiencia de engorde de los peces y la rentabilidad económica de la actividad. Además, el signo de los valores incluidos en el intervalo de confianza señala que la relación entre

estas variables es positiva[8]. Esta relación coincide con la relación esperada a partir de la evidencia empírica previa. En función de los resultados de la prueba de significación, se acepta la hipótesis *H.2.2*. Sin embargo, el valor del coeficiente de regresión estandarizado (β_3 = -0,256) indica que este factor tiene un bajo poder explicativo de la variable dependiente.

Hipótesis económicas (*H.3.1*, *H.3.2*, *H.3.3*, *H.3.4*, *H.3.5* y *H.3.6*): los aspectos económicos son los que inciden en mayor medida en la rentabilidad económica de las empresas de cría de dorada y lubina. Para realizar la prueba de significación de la hipótesis *H.3.1* se definen las siguientes hipótesis estadísticas:

$$H_0: \beta_4 = 0$$

$$H_1: \beta_4 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) especifica que el efecto de la eficacia comercial (EC_i) sobre la variable dependiente (Re_i) es nulo. El intervalo de confianza obtenido es P (0,107 $\leq \beta_4 \leq$ 1,051) = 0,95. El valor recogido en H_0 se encuentra fuera de la región de aceptación de H_0. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación del 5 por 100. Se contrasta una relación significativa entre la eficacia comercial y la rentabilidad económica de la empresa. Además, el signo de los valores incluidos en el intervalo de confianza señala que la relación entre estas variables es positiva. Esta relación concuerda con la relación esperada planteada en la Figura 19. Tomando como base la evidencia empírica obtenida se acepta la hipótesis *H.3.1*.

En el caso de la hipótesis *H.3.2* se especifican las siguientes hipótesis estadísticas para realizar la prueba de significación:

$$H_0: \beta_5 = 0$$

$$H_1: \beta_5 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) afirma que la rotación del activo (ROT_i) tiene una incidencia nula sobre la rentabilidad económica (Re_i) de las empresas de piscicultura marina. El intervalo de confianza obtenido es P (4,907 $\leq \beta_5 \leq$ 19,631) = 0,99. El valor recogido en H_0 se encuentra fuera de la región de aceptación de H_0. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación del 1 por 100. Se contrasta así una relación significativa entre la rotación del activo y la rentabilidad económica de estas

[8] En este punto es necesario recordar que las ratios que miden la eficiencia se han calculado de manera que a menor valor de la ratio, mayor grado de eficiencia. Esta situación se repite a continuación en las pruebas de significación de las hipótesis *H.3.3*, *H.3.4* y *H.3.5*.

empresas. Además, el signo de los valores incluidos en el intervalo de confianza señala que la relación entre estas variables es positiva. Esta relación coincide con la relación esperada a partir de la evidencia empírica previa. En función de los resultados de la prueba de significación, se acepta la hipótesis *H.3.2.*

Para realizar la prueba de significación de la hipótesis *H.3.3* se especifican las siguientes hipótesis estadísticas:

$$H_0: \beta_6 = 0$$

$$H_1: \beta_6 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) afirma que la influencia de la eficiencia en los consumos de explotación (ECE_i) en la rentabilidad económica (Re_i) de las empresas de piscicultura marina es nula. El intervalo de confianza obtenido es P (-31,416 $\leq \beta_6 \leq$ -13,468) = 0,99. El valor recogido en H_0 se encuentra fuera de la región de aceptación de H_0. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación del 1 por 100. Se contrasta una relación significativa entre la eficiencia en los consumos de explotación y la rentabilidad económica que obtiene la empresa. Además, el signo de los valores incluidos en el intervalo de confianza señala que la relación entre estas variables es positiva. Esta relación coincide con la relación esperada a partir de la evidencia empírica previa. En función de los resultados de la prueba de significación, se acepta la hipótesis *H.3.3.* El valor del coeficiente de regresión estandarizado (β_6 = -0,674) indica que la eficiencia en los consumos de explotación es la variable más importante a la hora de explicar la variabilidad de la rentabilidad económica.

En el caso de la hipótesis *H.3.4* se especifican las siguientes hipótesis estadísticas para realizar la prueba de significación:

$$H_0: \beta_7 = 0$$

$$H_1: \beta_7 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) afirma que la incidencia de la eficiencia en los gastos de personal (EGP_i) sobre la rentabilidad económica (Re_i) de las empresas de piscicultura marina es nula. El intervalo de confianza obtenido es P (-35,862 $\leq \beta_7 \leq$ -0,912) = 0,90. El valor recogido en la H_0 se encuentra fuera de la región de aceptación de la H_0. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación del 10 por 100. Se contrasta una relación significativa entre la eficiencia en los gastos de personal y la rentabilidad económica que obtiene la empresa. El signo de los valores incluidos en el intervalo de confianza señala que la relación entre estas variables es positiva. Esta

relación concuerda con la relación esperada a partir de la evidencia empírica previa. En función de los resultados de la prueba de significación, se acepta la hipótesis *H.3.4.*

Para realizar la prueba de significación de la hipótesis *H.3.5* se especifican las siguientes hipótesis estadísticas:

$$H_0: \beta_8 = 0$$

$$H_1: \beta_8 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) afirma que la incidencia de la eficiencia en los gastos de amortización (EGA_i) sobre la rentabilidad económica (Re_i) de las empresas de piscicultura marina es nula. El intervalo de confianza obtenido es P (-21,873 $\leq \beta_8 \leq$ -0,439) = 0,90. El valor recogido en H_0 se encuentra fuera de la región de aceptación de H_0. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación del 10 por 100. Se contrasta una relación significativa entre la eficiencia en los gastos de amortización y la rentabilidad económica que obtiene la empresa. El signo de los valores incluidos en el intervalo de confianza señala que la relación entre estas variables es positiva. Esta relación coincide con la relación esperada a partir de la evidencia empírica previa. En función de los resultados de la prueba de significación, se acepta la hipótesis *H.3.5.*

Finalmente, para realizar la prueba de significación de la hipótesis *H.3.6* se especifican las siguientes hipótesis estadísticas:

$$H_0: \beta_9 = 0$$

$$H_1: \beta_9 \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0) afirma que la influencia de la escala de producción (A_i) sobre la rentabilidad económica (Re_i) de las empresas de piscicultura marina es nula. El intervalo de confianza obtenido es P (0,00001 $\leq \beta_9 \leq$ 0,00003) = 0,90. El valor recogido en H_0 se encuentra fuera de la región de aceptación de H_0. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación del 10 por 100. Se contrasta una relación significativa entre la escala de producción y la rentabilidad económica que obtiene la empresa. Al mismo tiempo, la relación entre las dos variables es positiva, dado que los valores incluidos en el intervalo de confianza obtenido son positivos. Esta relación coincide con la relación esperada a partir de la evidencia empírica previa. En función de los resultados de la prueba de significación, se acepta la hipótesis *H.3.6.*

4.2.6. Conclusiones

El presente trabajo propone un modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina que integra factores medioambientales, técnico-biológicos y económicos que condicionan la rentabilidad y, con ello, la creación de valor de las empresas de este sector de actividad. El desarrollo del modelo explicativo posee dos justificaciones: la primera de carácter práctico, para conseguir evidencias empíricas que permitan explicar las causas por las que las empresas de esta actividad no obtienen unos resultados congruentes con el crecimiento de la demanda de los productos que ofertan. La segunda, de carácter teórico, para identificar e integrar en un mismo modelo los avances específicos realizados en cada una de las áreas de conocimiento que influyen sobre el resultado de la actividad piscícola. Los resultados obtenidos de su aplicación al cultivo de dorada y lubina en España aportan evidencias empíricas que pueden ser de utilidad para gestores de empresas e instituciones reguladoras, con el fin de conseguir el desarrollo sostenible de la piscicultura. El conjunto de datos analizados es una subpoblación que no representa una muestra representativa de la población, por lo que los resultados del estudio no pueden generalizarse al conjunto de las empresas españolas de dorada y lubina y únicamente son válidos para las empresas que cumplen los criterios que definen la subpoblación. A continuación, se exponen las principales conclusiones del estudio.

El empleo de perspectivas multidisciplinares resulta útil para aclarar el proceso de creación de valor en las empresas de cultivo de dorada y lubina. El modelo de relaciones lineales planteado permite explicar el 57,3 por ciento de la varianza de la rentabilidad económica de la actividad, incluyendo las variables que representan los distintos ámbitos de conocimiento, permitiendo aislar el efecto de cada variable sobre la rentabilidad, y replicando las relaciones teóricas esperadas a partir de otras investigaciones específicas de cada ámbito. El resultado de dicha estimación evidencia la importancia de tener en cuenta todos los ámbitos analizados, si bien, resalta los aspectos ambientales y económicos como los más influyentes en la rentabilidad de las empresas de cultivo de estas dos especies.

Las condiciones medioambientales existentes en la ubicación de la explotación, y en concreto la temperatura del agua, condicionan en gran medida la rentabilidad económica de las empresas de cría de dorada y lubina. El resultado obtenido concluye

que una buena parte de las expectativas de éxito de estas empresas depende de la capacidad para localizar las instalaciones de cultivo en entornos cuyas condiciones medioambientales favorezcan la cría de estas especies.

Los aspectos técnico-biológicos, cuya importancia es vital para el inicio de la explotación acuícola de una especie, pierden importancia a medida que los procesos de producción se estandarizan, como en el caso de la dorada y lubina. El resultado alcanzado indica que las empresas piscícolas dedicadas al cultivo de estas especies no obtienen ventajas competitivas asociadas a factores técnicos. La explicación a este sorprendente resultado se puede encontrar en la normalización y difusión de las tecnologías de producción, piensos e infraestructura de las instalaciones, que son ofertadas sin restricciones en el mercado por empresas globalizadas.

La dimensión de la empresa y su estrategia competitiva, determinada por la rotación del activo y el margen comercial, son los factores más relevantes para explicar la rentabilidad económica de las empresas de cultivo de dorada y lubina. Esta conclusión es coherente con la realidad empresarial del sector piscícola. La importancia de estos factores tiene su origen en el entorno económico globalizado en el que compiten las empresas en la actualidad, que condiciona la competencia en los mercados. En el caso español, las importaciones de dorada, lubina y otras especies sustitutivas han incrementado la competencia en el mercado. Como consecuencia, los precios de comercialización han disminuido hasta niveles que en muchos casos están por debajo del coste de producción. La principal respuesta de las empresas a la pérdida de competitividad ha sido un cambio en la estrategia competitiva consistente en la venta de una mayor cantidad de producto con un margen comercial menor, es decir, en aplicar una estrategia de liderazgo en costes. Al mismo tiempo, se produce un proceso de concentración empresarial que pretende aprovecharse de las economías de escala existentes en el cultivo de estas dos especies. Esta situación, unida a la pérdida de importancia de los aspectos técnico-biológicos, revela que, en la actualidad, la creación de valor con esta actividad es fundamentalmente un problema económico. Este problema requiere la capacitación de la dirección para abordar la complejidad que supone la gestión de esta actividad.

Finalmente, es necesario señalar que, a pesar de que los malos resultados económicos obtenidos por las empresas de cultivo de dorada y lubina en el periodo de análisis justifican la realización de este trabajo, el filtro empleado en la selección de las

empresas objeto de estudio (aquéllas con actividad continua y estabilidad patrimonial) supone una limitación a la hora de interpretar los resultados que únicamente son válidos para explicar la rentabilidad de las empresas económicamente viables.

Por otro lado, el uso de perspectivas multidisciplinares requiere la obtención de datos de diferentes fuentes de información con restricciones y periodicidades distintas. Un buen ejemplo son los datos de temperatura del agua, procedentes de boyas que aportan datos diarios, y los datos económicos, extraídos de la información contable anual. Ello obliga a un importante esfuerzo de homogeneización de la información que limita en parte su interpretación. Se justifica así el empleo de metodologías experimentales en la mayor parte de los trabajos que, aunque no sean directamente aplicables a la explicación de los problemas reales de la actividad, proporcionan mayor robustez a los resultados.

4.3. Explanatory model of the profitability of marine fish farming companies. Empirical application to the breeding of seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) in Spain (Summary in English)

The aim of this study is to analyze how the biological, technical, environmental and economic factors affect the profitability of fish farming companies. The empirical test is applied to Spanish companies of seabass and seabream farming during the period 2005/2007.Techniques of multivariate analysis are used. Results show how technical and biological aspects lose importance as production processes are standardized, while the environmental and economic aspects increase their relevance.

4.3.1. Introduction

Fish farming is replacing the traditional supply of fisheries in the world and nowadays, it is a sustainable alternative to meet the demand for fish (FAO, 2009). The rapid growth of fish farming contrasts with the volatility of the economic results of the companies. These economic difficulties lead to sectorial crisis, such as the one of seabream and seabass in the European Union between 2001 and 2002 (Gasca-Leyva et al., 2003) or salmon in Chile in 2007 (Mardones et al., 2009).

Economic problems create the need to investigate the reason due to which aquaculture companies do not get a return in accordance with the investments made and the growing demand of their product. The answer to this question is complex, given the difficulty of the decision-making process in an activity where diverse factors -economic, technical, biological, and environmental- interacts (Luna, 2002).

Despite the complexity of management in this sector, there are few studies that apply a multidisciplinary approach to the study of aquaculture. A research that aims to analyze the profitability of farming necessarily has to be addressed from a multidisciplinary perspective.

Based on the problems identified and the state of research, this work proposes a model to explain the profitability of marine fish farming. The model is developed from a multidisciplinary perspective through the integration of economic, technical, biological, and environmental variables identified in the scientific literature. The main objective of the work is to understand which are the main factors that determine the

performance of the activity. The results of the study will provide useful information to managers of aquaculture companies to achieve the long-term profitability of the activity.

4.3.2. Theoretical framework

The economic result of aquaculture is determined by a combination of both internal factors (biological, technical and organizational) and external factors (environmental and market) (Gasca-Leyva et al., 2003 and Paquotte, 1999). Therefore, the sustainability of marine aquaculture is not only based on the biological viability, which is a necessary starting point to get the breeding and fattening of the species under controlled conditions, but also on the technical and economic feasibility.

The review of the scientific literature on fish farming has identified a significant number of studies that considered the profitability of the activity as an indicator of the economic impact of the factor analysed. It should be noted those studies that considered the profitability to analyse the effect of: the economic performance of different types of feed (Urban Jr. and Prueder, 1991; Moñino et al., 2002; Sánchez Lozano et al., 2007 and Petersen et al., 2011b), the economic viability of the commercial exploitation of a species or product (Jeffs and Hooker, 2000; Oca et al., 2002; Keys et al., 2004; Poot-López and Gasca-Leyva, 2009; Shamshak and Anderson, 2009; García and García, 2010 and Zúñiga, 2010), the impact of environmental conditions (Hatch et al., 1998; León et al., 2006, Hernández et al., 2007), the production system (Losordo and Westerman, 1994; Thongrak et al., 1997, Goode et al., 2002; Lever et al., 2004; Taylor et al., 2006 , Liu and Sumaila, 2007 and Buck et al., 2010) or the location of the farm (Moksness et al., 1998, Gasca-Leyva et al., 2002; Irz and McKenzie, 2003; Bozoglu and Ceyhan, 2009; Miao et al., 2009; Petersen and Phuong, 2010 and Huang et al., 2011) on the economic results of the cultivation process.

Despite the importance of the companies' profitability for the development of the aquaculture industry, there are not many studies conducted from the business perspective. In Spain, García-Arthus (2002) and Luna (2002) studied the profitability of aquaculture enterprises from their accounting information. The only use of accounting information is, together with the application of techniques of univariate analysis, their main limitation. The application of a technique of multivariate analysis in the econometric estimation of an ad-hoc linear model would be a methodological development regarding to previous studies.

Another objective of the scientific literature review is to identify which are the main factors that are influencing the economic performance of fish farming. The design of the model is made from the variables that represent these factors and that have proved to be relevant in previous works, which theoretically justifies their use. The use of these variables is limited by the restrictions on information of the aquaculture companies.

Profitability has become the most common financial indicator to measure the success or failure of business management (Acosta et al., 2002). Following García-Arthus (2002) and Luna (2002), in this research it is used the return on assets (ROA) as an indicator of success in business management. From an economic perspective, the ROA is influenced by operational efficiency, the degree of freedom in setting the sales price and the assets turnover (Azofra, 1995). The firm size influences in the profitability of seabream companies. The study of Gasca-Leyva et al. (2002) confirmed the presence of economies of scale in floating cages production. The size of fish farming companies is commonly associated with the capacity, that is measured through aspects such as production capacity in m^3 (Gasca-Leyva et al., 2002) or the actual amount of product obtained (Oca et al., 2002).

The feeding process by influencing the fattening process and production costs has been one of the most technical aspects investigated. Feed conversion rate is used to measure the fattening process efficiency (McCormick et al., 1989; Klaoudatos and Conides, 1996; Björnsson et al., 2001; Van Ham et al., 2003 and Handeland et al., 2008), with which it has an inverse relationship.

In the line proposed by Gasca-Leyva et al. (2002), environmental conditions in which the production is developed should be considered as a strategic aspect because they are conditioned, in part, by the location, which is decided by the company. The most researched environmental factor is water temperature, considered by many authors as the most influential environmental aspect on the feed conversion rate and growth and, consequently, on the profitability of the activity (Brett and Groves, 1979; Corey et al., 1983; Calderer, 2001; Gasca-Leyva et al., 2002; Hernández et al., 2003 and Hernández et al., 2007).

4.3.3. Model and hypotheses

Table 30 shows the statistical hypotheses proposed to meet the objectives of this research. The model proposed to explain the profitability of marine fish farming companies is shown in Figure 20. It must be said that all variables affecting the economic performance of the activity do not appear in the model. However, their absence does not mean that this study considers that these variables are less important. Their absence corresponds, on the one hand, to the use of those variables identified as the most relevant in the prior literature, and on the other, to a limitation in the availability of information.

Figure 20. Explanatory model of the profitability of marine fish farming companies.

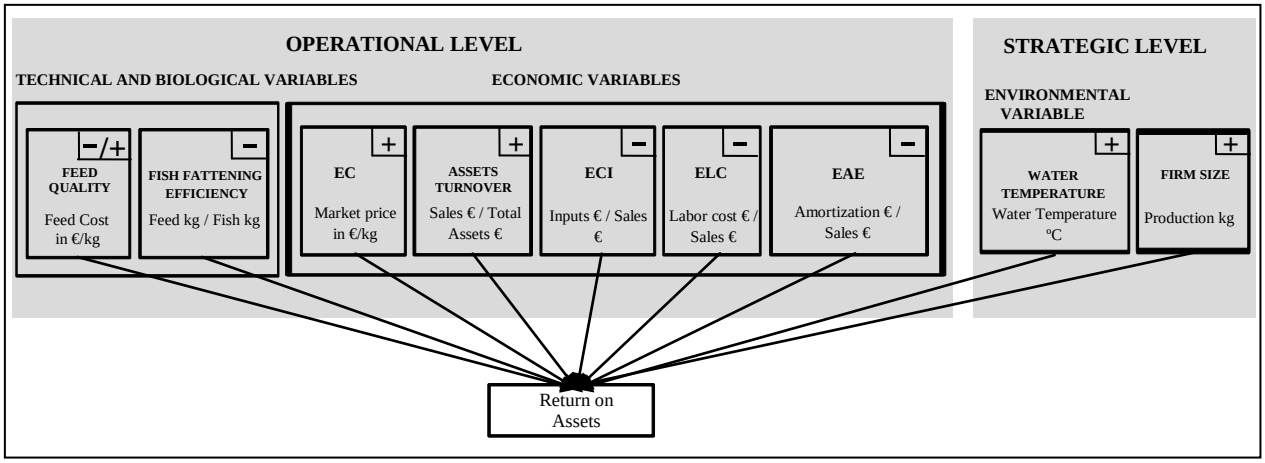


Table 30. Hypotheses to be tested in the proposed model.

Main Hypothesis M.H	The profitability of a marine fish farming company is the result of the combined influence of environmental, technical / biological, and economic factors.
Environmental H.1.1	Water temperature has a positive influence in the profitability of marine fish farming companies.
Technical / biological H.2.1	The quality of the feed is positively or negatively associated with the profitability of marine fish farming companies.
Technical / biological H.2.2	The efficiency in fish fattening is positively related to the profitability of marine fish farming companies.
Economic H.3.1	The effectiveness of the commercialization (EC) is positively related to the profitability of marine fish farming companies.
Economic H.3.2	The asset turnover is positively related to the profitability of marine fish farming companies.
Economic H.3.3	The efficient consumption of inputs (ECI) is positively related to the

	profitability of marine fish farming companies.
Economic H.3.4	Efficiency in labor costs (ELC) is positively related to the profitability of marine fish farming companies.
Economic H.3.5	Efficiency in amortization expenses (EAE) is positively related to the profitability of marine fish farming companies.
Economic H.3.6	Firm size is positively related to the profitability of marine fish farming companies.

4.3.4. Material and methods

4.3.4.1. Population and data collection

The empirical model is tested using data from Spanish companies of seabass and seabream farming, given the importance of these two species in the Spanish sector of fish farming. The study analyzed a subset of the population composed of all those companies dedicated to seabass and seabream fattening in Spain, that developed a continued activity in the period 2005/2007, and that do not sell other products than these two fish species. The resulting subpopulation of 47 companies is not a representative sample of the population, which is a limitation to consider when interpreting the results.

Data comes from various sources, economic, environmental, and technical-biological, given the multidisciplinary nature of the study. Economic information was obtained from SABI database. Technical and biological data were extracted from database ACUIDIR, belonging to the Fishery Ministry. Finally, environmental information was obtained from the scientific network of buoys of the Spanish Ports Authority.

4.3.4.2. Methodology

The model proposed in Figure 20 represents a series of linear relationships between a set of exogenous variables and an endogenous variable. It is therefore an ad-hoc linear relationship model that is specified analytically in a single equation as follows:

$$Re_i = \propto_1 + \beta_1 T_i + \beta_2 CP_i + \beta_3 TC_i + \beta_4 EC_i + \beta_5 ROT_i + \beta_6 ECE_i + \beta_7 EGP_i + \beta_8 EGA_i + \beta_9 A_i + \beta_{10} Dum1_i + \beta_{11} Dum2_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

where Re_i = *Return on assets*, is the dependent variable in the Equation (3). Its explanatory variables are; T_i = *Water temperature*, CP_i = *Feed quality*, TC_i = *Efficiency*

in fish fattening, EC_i = Effectiveness of the commercialization, ROT_i = Assets turnover, ECE_i = Efficient consumption of inputs, EGP_i = Efficiency in labor costs, EGA_i = Efficiency in amortization expenses, and A_i = *Firm size*. The dummy variables, *Dum2 Dum1*, represent the year of observation in order to control the possible existence of specific effects of the economic cycle affecting the profitability of companies. The term ε_i, represents the perturbation of the model.

A first estimation of the multiple linear regression model was obtained using the ordinary least squares method or MCO. The statistical program SPSS Statistics 19 was applied in the estimation process. The residual analysis confirmed the presence of heteroscedasticity and the absence of normality in the distribution function thereof.

The alternatives taken did not solve the problems identified in the estimation of the model parameters by OLS. Therefore, it was used a robust estimation method against the absence of normal distribution, as the Bayesian estimation (Arbuckle, 2006). The statistical program SPSS AMOS 18 was used to apply the Bayesian estimation.

4.3.4.3. Measurement of the variables

- *Economic variables*:
  - *Return on assets* (Re_i): Earnings before interest and taxes (EBIT) / Total assets, (Rivero y Cuervo, 1986).
  - *Assets turnover* (ROT_i): Sales / Total assets, (Rivero y Cuervo, 1986).
  - *Efficient consumption of inputs* (ECE_i): Inputs consumption / Sales, (Luna, 2002).
  - *Efficiency in labor costs* (EGP_i): Labor cost / Sales, (Luna, 2002).
  - *Efficiency in amortization expenses* (EGA_i): Amortization expenses / Sales, (Luna, 2002).
  - *Effectiveness of the commercialization* (EC_i): Average market price in €/kg.
  - *Firm size* (A_i): Total production in kg, (Oca et al., 2002).
- *Technical / biological variables*:
  - *Feed quality* (CP_i): Measured by a proxy variable, the average cost of feed in €/kg, (Moñino et al., 2002).
  - *Efficiency in fish fattening* (TC_i): Measured by the feed conversion rate. The ratio is defined as the kg of feed / kg of fish, (Hernández et al., 2003).

- *Environmental variables* (T_i): Annual average water temperature in Celsius (ºC).

4.3.5. Results

Results of a descriptive analysis of the explanatory variables and their coefficients of correlation (Table 31) show a large scatter in the values of the technical-economic variables, indicating an important discretionality in the decisions of the managers in the seabream and seabass companies.

There is a great variety in the quality of the feed used by managers of seabream and seabass companies in their feeding strategies ($\overline{CP} = 2.40$; $\sigma = 3.10$). The use of higher quality feed contributes to greater efficiency in the process of fattening (r_{xy} = -0.267** for $x = CP$ and $y = TC$). However, it is not achieved higher economic efficiency because it reduces efficiency in inputs consumption (r_{xy} = 0.189* for $x = CP$ and $y = ECE$), that is, it generates a higher feed cost. By contrast, the use of lower quality food generates a smaller fattening efficiency, but a more efficient inputs consumption. This last option allows managers to set more competitive selling prices (r_{xy} = 0.364*** for $x = CP$ and $y = EC$). Companies with the largest production capacity reach a higher degree of efficiency in the process of fattening (r_{xy} = -0.199** for $x = A$ and $y = TC$) and sell their product at a competitive price (r_{xy} = -0.244** for $x = A$ and $y = EC$).

Table 31. Mean, standard deviation and simple correlations of the explanatory variables.

Variables	Mean	σ	(*ECE*)	(*EGP*)	(*EGA*)	(*ROT*)	(*A*)	(*EC*)	(*CP*)	(*TC*)	(*T*)
(*ECE*)	0.59	0.55	1								
(*EGP*)	0.20	0.19	0.026	1							
(*EGA*)	0.19	0.30	-0.254***	0.071	1						
(*ROT*)	0.69	0.62	0.124	-0.182*	-0.327***	1					
(*A*)	359,249	391,059	0.116	-0.146	-0.195*	0.016	1				
(*EC*)	4.93	2.02	0.019	-0.130	-0.145	0.216**	-0.244**	1			
(*CP*)	2.40	3.10	0.189*	-0.268***	-0.114	0.183*	0.092	0.364***			
(*TC*)	3.07	3.22	-0.211*	-0.021	-0.071	0.131	-0.199**	0.467**	-0.267**	1	
(*T*)	19.95	1.43	0.192	-0.208*	-0.050	-0.179	-0.369***	0.081	0.158	-0.050	1

Significance levels: *** Significance level of 1%. ** Significance level of 5%. * Significance level of 10%.

Table 32 summarizes the results of the estimation of the empirical model for the case of Spanish seabream and seabass companies. There was a good fit of the model estimated by Bayesian method, because the prospective p-value of the posterior

distribution was equal to 0.5. The exogenous variables included in the model explained the 57.3 per cent of the variance of the dependent variable ($\overline{R}^2 = 0.573$).

The significance of the model was made from an analysis of the variance. The *F* test applied confirmed that the model is statistically significant and, therefore, the explanatory variables together explain a significant portion of the variability in the profitability of seabream and seabass companies. Accordingly, in the cultivation of these two species, main hypothesis (MH) is accepted.

It is noted that the theoretical relationships defined by the estimated parameters were significant using significance levels lower or equal to 10 per cent, except in the case of *dummy* variables *Dum1* y *Dum2* and feed quality (CP_i). Since the relationships defined by dummy variables are not significant, the existence of specific effects of the business cycle that might be affecting the profitability of analyzed companies can be rejected.

Table 32. Standardized solution of the model.

Variables			**Bayes standarized coefficients**
(*Re*)	←	(*T*)	0.384*
(*Re*)	←	(*CP*)	-0.262
(*Re*)	←	(*TC*)	-0.256**
(*Re*)	←	(*EC*)	0.356**
(*Re*)	←	(*ROT*)	0.419***
(*Re*)	←	(*ECE*)	-0.674***
(*Re*)	←	(*EGP*)	-0.192*
(*Re*)	←	(*EGA*)	-0.182*
(*Re*)	←	(*A*)	0.293*
(*Re*)	←	*Dum1*	0.017
(*Re*)	←	*Dum2*	0.090
Model fit			**Indicator value**
$\overline{R}^2$			0.573
F			11.341***
Posterior distribution p-value (PPP)			0.5

Significance levels: *** Significance level of 1%. ** Significance level of 5%. * Significance level of 10%.

4.3.6. Conclusions

The use of multidisciplinary perspectives is useful to clarify the process of value creation in seabream and seabass companies. The results of the model estimation demonstrate the importance of taking into account all the areas analyzed. However, results also highlight the environmental and economic aspects as the most influential factors in the profitability of the companies that cultivate these two species.

The existing environmental conditions at the location of the farm, and the water temperature in particular, largely determine the profitability of seabream and seabass companies. The study concludes that many of the expectations of success of these companies depend on the ability to locate facilities in locations whose environmental conditions favor the breeding of these species.

Technical and biological aspects, which are so important at the beginning of an industrial scale production, lose importance as production processes are standardized, as in the case of seabream and seabass. The results obtained indicate that the analyzed companies do not obtain competitive advantages associated with technical factors. The explanation for this surprising result can be found in the standardization and dissemination of production technologies, feed types and facilities systems, which are offered without restrictions on the global market.

The size of the company and its competitive strategy are the most relevant factors to explain the profitability of seabream and seabass companies. The importance of these factors has its origin in the global economy in which companies compete today, that influences the market competition. In the Spanish case, imports of seabream, seabass and other substitutive species have increased the competitiveness in the market. The main answer to this loss of competitiveness has been a change in the competitive strategy of the companies. This change in the strategy consists in the sale of larger quantities of product with a lower profit margin, that is, a strategy of cost leadership. At the same time, there is a business concentration process that seeks to benefit from economies of scale in the cultivation of these two species.

This situation, together with the loss of importance of technical and biological aspects, reveals that, at present, the creation of value in this activity is fundamentally an economic problem. This problem requires the improvement of management practices to address the complexity of managing this activity.

4.4. Economic optimisation in seabream (*Sparus aurata*) aquaculture production using a Particle Swarm Optimisation algorithm

The good prospects of gilthead seabream (*Sparus aurata*) farming due to the growth investment and the growth demand of the product are not confirmed by the economic results of the industry. Despite reaching the biological viability and having available the needed technology to grow seabream at a commercial scale, many companies are not profitable due to a loss of competitiveness associated with the increased supply of seabream. The development of more efficient and productive management practices has been one of the main answers of the aquaculture industry to solve this problem. The purpose of this study is the economic optimisation of the seabream farming through the determination of the production strategies that maximise the present profits of the cultivation process. To do this, a particle swarm optimisation algorithm for the economic optimisation of the aquaculture production is applied. The algorithm is based on a bioeconomic model of seabream fattening that uses as decision variables the time at which fingerlings are released, the weight of the fingerlings and the weight of the harvested fish. The biological submodel consists of three interrelated processes, stocking, growth, and mortality, and takes into account the effects of the water temperature, ration size, mortality rate, and maximum biomass density. An economic submodel considers costs and revenues related to the production process. Application of the algorithm to seabream farming in Spain reveals that the activity is profitable and shows competitive differences associated with location. Additionally, the applications of the particle swarm optimisation algorithm could be of interest for the operational management of the production of other important species, such as salmon (*Salmo salar*), catfish (*Ictalurus punctatus*) or tilapia (*Oreochromis niloticus*), and for other sectors related to aquaculture, such as insurance or finance.

4.4.1. Introduction

In recent decades, aquaculture has grown rapidly among the food production sectors. It has become a relevant industry around the world that is able to sustain the demand for fish (FAO, 2010). The gilthead seabream (*Sparus aurata*) production in the Mediterranean Sea has experienced a rapid growth over the last 20 years. Currently, seabream cultivation represents the most important production of fish in this

geographical area. However, the good prospects for seabream farming due to the growth investment and the growth demand of the product are not confirmed by the economic results of the industry. The uncontrolled increase in the supply has caused a loss of competitiveness at many companies. Despite the growing market demand, successive supply shocks have occurred since the beginning of the past decade, e.g., in 2001 and 2002 (Gasca-Leyva et al., 2003). These problems have caused the bankruptcy of many businesses.

These economic problems have shown that biological viability and the necessary technology to implement commercial scale production are not enough to develop an aquaculture production economically sustainable. The development of more efficient and productive management systems has been one of the main solutions of the aquaculture industry to solve this problem. These systems have been developed through the use of Operational Research (OR) methods (Hernández et al., 2007). The OR models applied in aquaculture have been based on accumulated experience in fishing and other primary sector activities, such as agriculture or forestry, to increase the efficiency and profitability of fish farming on an industrial scale (Bjørndal et al., 2004).

Similar to other animal breeding industries, aquaculture production is based in the daily growth of individuals. Modelling this biological process is complex due to the broad range of factors that influence fish growth, which are both internal, such as feeding rates or fingerling weight, and external, such as water temperature or the social behaviour of individuals. In this complex scenario, bioenergetics models measure the daily growth of fish as the energy gain from the difference between the energy input and output. In recent years, many applications of these models to aquaculture management have been described in the literature (Cacho et al., 1991 and Forsberg, 1999).

By modelling the complex interactions between economic and biological systems, it is possible to make the most efficient decisions about aspects such as the diet composition, feeding rates, and harvesting time (León et al., 2001). Thus, bioeconomic models have played a crucial role in OR methods (Bjørndal et al., 2004). Many applications of bioeconomic models to aquaculture management have been described in the literature. Examples for particular species can be found in Bjørndal (1990), Cacho et al. (1990), Leung and Shang (1989), Rizzo and Spagnolo (1996), and Sparre (1976), for salmon (*Salmo salar*), catfish (*Ictalurus punctatus*), freshwater prawns, European seabass (*Dicentrarchus labrax*), and trout (*Oncorhynchus mykiss*), respectively. These

models are integrated via a biological submodel of fish growth and an economic submodel that links the process of production to markets through the costs of inputs, the prices of outputs, and resource constraints.

In recent decades, there have been several optimisation techniques applied to OR in aquaculture, such as dynamic optimisation (Rauch et al., 1975; Karp et al., 1986; Bjørndal, 1988; Arnason, 1992 and Mistiaen and Strand, 1999), dynamic programming (McNown and Seireg, 1983; Leung, 1986 and Leung and Shang, 1989) linear programming (Gates and Mueller, 1975; Forsberg, 1996 and Yu and Leung, 2005), and nonlinear programming (Rizzo and Spagnolo,1996). There are examples in the literature of OR models that optimise management strategies and profitably considering biological relationships in a more general context. Bjørndal (1988) analysed the optimal harvest strategy for aquaculture under different conditions related to the sale price and the main costs of production, including the feed, in depth based on a static optimisation problem. Arnason (1992) extended his analysis to an explicitly dynamic framework involving both feeding schedules and the harvesting time. Other results in the same framework were obtained including the possibility of a previous harvest (Heaps, 1993), a price dependent function related to the weight of the fish (Mistiaen and Strand, 1999), or the influence of factors such as ration size and water temperature (Hernández et al., 2007). A review of OR techniques applied to fisheries and aquaculture in the past forty years is available in Bjørndal et al. (2004).

Although these studies have contributed significantly to the economic optimisation of production strategy, the complex interactions of technical, biological, environmental and economic aspects in fish farming limit the application of classical optimisation methods. A useful method when the optimisation problem is nonlinear, complex, and multidimensional is Particle Swarm Optimisation (PSO). PSO is a metaheuristic technique based on evolution of populations for problem solving, that was originally developed by Kennedy and Eberhart (1995) and Eberhart and Kennedy (1995).

The purpose of the present study is the economic optimisation of the seabream aquaculture production through the determination of the production strategies that maximise the present profits of the farming process. The methodology used is a PSO algorithm based on a bioeconomic model for seabream fattening in floating cages. The algorithm is applied to the simulation optimisation of the seabream production in Spain.

This country is one of the main producers of this species. However, at present, Spanish seabream industry has profitability problems due to increased market competitiveness. The use of PSO algorithms to optimise seabream aquaculture production in economic terms helps to improve knowledge on aquaculture management. This methodology is an innovation in the OR discipline in aquaculture.

The study is divided into four sections, including this introduction. In the Material and Methods section, the bioeconomic model, the PSO algorithm, and the data used in the simulation of seabream production in Spain are explained in detail. The Results and Discussion are presented in the next section. The conclusions of the work are briefly summarized in the final section.

4.4.2. Material and methods

Aquaculture management is not an exception to the applicability of optimization techniques. Many strategic and operational decisions in fish farming can be optimised by mathematical modelling, e.g., seeding strategy, feeding rates, harvesting time, and harvest weight. However, the complexity of the aquaculture production process makes difficult to find the optimal solution or an approximation of the optimal solution in reasonable computation times. The aim of a metaheuristic method is to find efficiently near optimal solutions (Osman and Laporte, 1996). A metaheuristic method sacrifices the guarantee of finding universal solutions for the sake of getting good solutions in a time period significantly shorter (Blum and Roli, 2003). That means that the optimal solutions reached in this study by the PSO algorithm are not universal. Instead, the use of PSO algorithms allows to overcome the local optimal solutions and achieve a global optimal solution efficiently, i.e., in a reasonable computational time.

4.4.2.1. A bioeconomic model for seabream aquaculture

The bioeconomic model is integrated via a biological submodel of the process of farming in sea cages, interrelated with an economic submodel that quantifies the process to consider the economic implications of any change in the farming and market parameters. The purpose of the bioeconomic analysis is to find a harvesting time that maximises the present operational profits in a given time horizon (Asche and Bjørndal, 2011). For this period, it is necessary to determine the number of batches and, for each batch, the times, weights, and densities of seeding and harvesting. The use of scientific

knowledge accumulated in the literature avoids the need for developing complex and costly experiments to determine the model equations.

The bioeconomic model for seabream used in this study includes some changes with respect to that developed by Hernández et al. (2003). The model takes into account the rotation problem proposed by Bjørndal (1988). According to Bjørndal, when fish are actually harvested, space is made available for new fish. This is important, as the available space in fish farms is limited. Producers can increase the value of biomass by replacing slower growing old fish with faster growing young fish. Therefore, it is not sufficient to merely consider a single harvesting time. The problem in question represents an infinite series of investments rather than a one time investment. Thus, the problem is reduced to finding the optimal rotation time for a batch of fish, i.e., the time for harvesting one batch and releasing the next. In the present study, the model considers multi batch production in a finite period of time. This means that the seeding time in each batch is influenced by the previous harvesting time. Accordingly, the complexity of the optimisation of the production process increases.

The breeding process over time is described by the fish weight (w), number of fish (N), time (t), production costs (C), and revenues (R). For each batch, the decision variables are the seeding time (t_0), the weight of fingerlings released (w_0), and the weight of fish harvested (w_h). Because the water temperature and feeding rates are considered deterministic, the time of seeding and the weight of fingerlings define a single trajectory of growth until reaching the selected harvest weight.

Model assumptions

The model includes three essential factors that influence fish growth: fish weight, water temperature, and feed quantity. To isolate it from the influence of other factors, the model is formulated according to the following assumptions.

a) Water quality is optimal, and the locations selected by managers exhibit optimal water composition parameters.

b) Sea cage fish farming is an open system, which means that producers cannot address the control of any of the abiotic factors affecting the growth process, e.g., temperature, light, salinity, and oxygen, in an economically efficient way (Brett, 1979).

c) The feed composition is fixed throughout the fish farming process. Therefore, diet quality is not considered a decision variable for fish producers (Hernández et al., 2003).

d) The optimal feeding trajectory for different species under different conditions has been analysed in depth in numerous previous studies (Cacho et al., 1991; Arnason, 1992; Heaps, 1993 and Mistiaen and Strand, 1999) and is not the focus of this study. Therefore, it is assumed that the ration sizes recommended by feed suppliers are at optimal levels.

e) Feeding rates depend on water temperature and fish weight. Accordingly, the harvesting time and harvesting weight are not independent variables, so that only one parameter can be selected. The present study considers harvesting weight as a decision variable. Therefore, harvesting time is determined by the time when fish are at the commercial size selected.

f) The growth model does not incorporate density dependence. Density levels and other related limiting factors are assumed to be appropriate, so that growth is unaffected.

g) Assuming that cages are located appropriately, it is assumed that the maximum biomass density is equal to the maximum insurable biomass density (Luna, 2002).

h) Another relevant parameter in the breeding process that has not been considered in this work is the dispersion in the weight of individuals (Tian et al., 2000), which occurs because during the breeding process, fish do not ingest the same amount of food and do not have the same energy requirements.

The model considers another set of assumptions, most of which are associated with economic issues and searching of generic results, which are detailed below.

a) It supposes a continuous availability of fingerlings over the year. In practice, the absence of this availability could be a restriction to production planning (Gates and Mueller, 1975).

b) The model does not propose to analyse the effect of changes in prices seasonality on the production planning. For this reason, the seasonality in market prices will be constant during the fish farming process.

c) It has been assumed that all of the fish are harvested at the same time, so that at the time of seeding in a batch, the cage is completely empty.

d) There are no restrictions on labour, technology, or environmental conditions that may affect seeding and harvesting.

e) The model only considers operational decisions. Therefore, only variable costs are included in the analysis, specifically fingerling costs and feed costs. It is supposed that the remaining costs (i.e., labour, maintenance, harvesting, management, taxes, and financial costs) are not directly influenced by the production level and can be assigned using a distribution key.

The biological model

The biological model simulates the breeding process that takes place over time: fingerlings are released, and fish are fed depending on their weight and the water temperature. Over time, the number of fish changes due to natural mortality, and as a result, only a certain proportion of the fish stocked reach market size (Bjørndal, 1988).

Fish growth is influenced by many parameters, including genetic and environmental factors. The biological model follows the principles of fish physiology (Brett and Groves, 1979), which were first considered in modelling the growth of salmonids by Stauffer (1973) and subsequently applied to other species (Corey et al., 1983 and Muller-Feuga, 1990). Following the principles of fish physiology, any attempt to develop a fish growth model must include at least three factors: the feed ration, weight, and water temperature, as the most important independent variables (Stauffer, 1973). The model proposed in this research consists of three interrelated processes: seeding, fattening, and mortality.

The number of fingerlings released is calculated to obtain the maximum biomass density (D_{max}) at harvesting time. This requires taking into account natural mortality during the breeding process and the average weight at harvesting time. The number of fingerlings released in each batch (b) can be expressed as follows:

$$N_{s,b} = \frac{D_{max}}{w_{h,b} s_{h,b}} \tag{4}$$

N_s is the number of fingerlings released; w_h is the average weight of fish harvested; and s_h is the survival rate at harvesting time.

Fish growth is obtained from feeding, which is a function of the water temperature and the average weight of the fish (Brett and Groves, 1979). The change in weight over time, i.e., growth, is simulated using the following expression:

$$w_{t+1} = w_t \, (1 + SGR(T_t, w_t)) \tag{5}$$

w_t is the average weight of the fish at the beginning of interval t; T is the water temperature; and $SGR(T_t,w_t)$ is the specific growth rate in interval t, which depends on the weight of the fish and the water temperature. As in the work addressing the optimal management of seabass aquaculture developed by Rizzo and Spagnolo (1996), information on the specific growth rate is obtained from the average[9] values in the feeding tables provided by feed suppliers. These tables, depending on fish weight and water temperature, indicate the optimal feed ration and the resulting growth rate. These data allow simulation of fish growth using the same information often employed by fish farmers (although managers correct the information provided by feed suppliers to suit the specific conditions of their farm). Therefore, the average weight of the individuals at time t, w_t, is then given by

$$w_t = w_0 \prod_{k=0}^{t-1} (1+SGR(T_k,w_k)) \tag{6}$$

w_t is equal to the weight when the fish is released (w_0), multiplied by the cumulative growth rate up to time t-1. The suffix k is a variable representing each time interval between the times of seeding (t_0) and harvesting (t_h). The time interval considered is one day. At harvesting time, the average fish weight, w_h, is given by

$$w_h = w_0 \prod_{k=0}^{h-1} (1+SGR(T_k,w_k)) \tag{7}$$

The survival of individuals depends on the biomass density, fish weight, and environmental conditions. In some studies, such as that of Arnason (1992), the mortality rate is assumed to be constant over time. In this study, due to limiting the concentration of individuals to a particular value, the mortality in a given period is expressed as follows:

$$m_t = MOR(T_t,w_t) \tag{8}$$

m_t is mortality at time t, which starts at weight w_t and temperature T_t. Survival at the beginning of t can be expressed as follows:

$$s_t = 1 - \prod_{k=0}^{t-1} m_k \tag{9}$$

[9] The range of feed types available for fattening seabream is very broad. Each feed has a price, a ration size and an associated daily growth rate according to its composition and energy value. Therefore, to avoid including additional complexity in the model and because the objective is not to determine the most appropriate feed, an average value has been used. The types of feed used in this analysis come from the following companies: PROaqua (Mistral 21), Skretting (Basic and Power), DIBAQ (Ecoprime and Ecomar) and Acuibream (5, 6, 7, and 8).

The selection of the parameters associated with the decision variables causes interactions in the biological processes. The seeding date determines the water temperature during the fish farming process. Temperature, together with the weight of the fingerlings released, determines the growth and mortality of the fish. Finally, the chosen harvest weight determines the harvesting time.

The economic model

The economic model is a maximisation problem based on an objective function to be optimised considering the income and the production costs. The goal of fish farmers is to maximise the present value of profits at *time zero* in a finite period of time and can be expressed as follows:

$$Max\ \pi = \sum_{b=1}^{B} (R_b DF(t_{h,b}) - C_b DF(t_{0,b})) \quad (10)$$

R_b represents revenues in each batch; and C_b is operating costs in each batch. To calculate the present monetary value, each cash flow value is multiplied by the corresponding discount factor *DF* (*t*), calculated as

$$DF^{t} = (1+i)^{-t/360} \quad (11)$$

i is the annual discount rate or cost of capital, which is used as the rate of return. It is considered that there are 12 months of 30 days each, for a year of 360 days. The present time (*time zero*) is taken as the seeding time of the first batch.

Revenues for a batch are expressed as follows:

$$R_b = N_{h,b}\, w_{h,b}\, p_h(w_{h,b}) q_h(t_{h,b}) \quad (12)$$

N_h is the number of fish harvested; p_h is the market price depending on harvesting weight; and q_h is a function that returns a factor to include the effect of seasonality of sales price. The number of fish harvested in a batch is expressed in Equation (13).

$$N_{h,b} = N_{s,b}\, s_{h,b} \quad (13)$$

s_h is the survival rate at harvesting time.

The sale price is different according to commercial sizes (usually a minimum of 4 categories) and the time of the year in which fish are sold.

In the calculation of the profits, the only costs considered are the fingerlings and feed. Thus, the total cost of each batch is given by the equation

$$C_b = C_{r,b} + C_{f,b} \tag{14}$$

C_r is the cost of fingerlings, and C_f is the cost of feed. The cost of fingerlings for a batch b is given by the expression

$$C_{r,b} = N_{s,b}\, p_s(w_{0,b})\, q_s(t_{0,b}) \tag{15}$$

p_s is the weight dependent function that returns the price of fingerlings per unit; and q_s is the function that returns a factor to include the effect of seasonal variation on fingerling price.

The feed cost (C_f) represents a large percentage of the total aquaculture production costs (Botsford et al., 1975 and Rauch et al., 1975). Feed cost depends on feed price and the amount of food provided to fish. Feed prices change depending on fish weight. The amount of food is the result of multiplying the number of fish in the cage at feeding time by the ration size. Feed suppliers provide the ration size for each fish weight at each temperature. It is assumed that the fish are fed at least once a day and growth is calculated for each time interval of the period. The feed cost of a batch can be expressed as follows:

$$C_{f,b} = \sum_{t=0}^{h-1} N_{t,b}\, w_{t,b}\, F(w_{t,b}, T_{t,b})\, p_f(w_{t,b})\, DF(t_b) \tag{16}$$

N_t is the number of fish at time interval t; F is the function that returns the feeding rates (expressed as a percentage of fish weight); and p_f returns the feed price. A discount factor is also included because it is assumed that the feed is paid for when it is provided to the fish. Therefore, the cost of food in each time interval is discounted to $t = 0$, so $DF(t_b)$.

4.4.2.2. A Particle Swarm Optimisation algorithm

PSO algorithms are population based metaheuristic techniques inspired by the social behaviour during flight observed in flocks of birds or the movements occurring during fish schooling. Optimisation using PSO algorithms was initially developed to simulate social behaviour. These algorithms were subsequently investigated in depth by many authors[10] and successfully applied in many research fields[11] (Poli et al., 2007).

[10] For more information about studies that develop the PSO algorithm proposed by Kennedy and Eberhart (1995) and Eberhart and Kennedy (1995), see Poli et al. (2007).

[11] For the interested reader, a complete list of PSO applications in different areas of knowledge is available in Poli et al. (2007).

These methodologies belong to a group of optimisation techniques in the field of Artificial Intelligence known as Swarm Intelligence (SI) (Bonabeau et al., 1999). SI techniques are less well known than other metaheuristic techniques based on populations, such as Genetic Algorithms (GA). However, some experimental studies show the best effectiveness of SI in addressing combinatorial optimisation problems (Mouser and Dunn, 2005 and Uysal and Bulkan, 2008).

PSO algorithms represent an iterative and stochastic process that always works with a group of individuals (population or swarm) referred to as particles, placed in a search space of some problem or function. The particles move in successive iterations through cooperation and competition between individuals in the population. Each particle evaluates the objective function in its current position and therefore represents a possible solution to the problem. The initial positions of the particles in the search space at the beginning of the PSO procedures are randomly selected. Then, they are displaced through their domain looking for an optimum taking into account global and local influences, the latest coming from the neighbourhood of each particle. To update the position of the particles in each iteration all particles have a position x_i that contains the current state of the particle in the search space and a velocity (v_i) that indicates the direction of displacement of the particle and the length thereof. The velocity vector is determined based on experimental knowledge of the particle and the information exchanged with neighbouring particles. In the first case, each particle remembers the best position in the search space that it has found thus far (pb_i). The result of the information exchanged by a set of neighbours is reflected in the best position found thus far in this neighbourhood (pg_i). The neighbourhood considered can include the full set of particles. The computation of the best positions is performed based on the corresponding adjustment function, which quantifies the quality of the particle as a solution of the problem considered.

The evolution for each particle *i* is given by:

$$v_i^{t+1} = wv_i^t + \varphi_1 r_1^t (pb_i^t - x_i^t) + \varphi_2 r_2^t (pg_i^t - x_i^t) \tag{17}$$

$$x_i^{t+1} \leftarrow x_i^t + v_i^{t+1} \tag{18}$$

where φ_1 and φ_2 are parameters for weighting the importance of the personal experience of the particle and the global experience of the neighbourhood, respectively; *w*, is called inertial weight and decide how much the old velocity will affect the new one; and

parameters r_1 (t) and r_2 (t) are two random numbers with uniform distribution [0,1] included to enrich the searching space. The update of the velocities given by the above expression involves three components, often referred to in PSO terminology as the *inertial* component, *cognitive* component, and *social* component. The *inertial* component is modelled by the factor wv_i^t and remembers the previous address of the particle and prevents drastic changes in direction. The *cognitive* component, also known as "nostalgia", is modelled by the factor $\varphi_1 r_1^t(pb_i^t - x_i^t)$ and directs the particle towards the best solution in the past. The *social* component, also known as "envy" is modelled by the factor $\varphi_2 r_2^t(pg_i^t - x_i^t)$ and directs the particle towards the best position found by its neighbouring particles. The iterative process continues with successive iterations until a termination criterion is met, such as performing a number of consecutive iterations without improvement, reaching an "acceptable" solution assuming a priori knowledge about the problem, or a radius of the swarm close to zero, which implies that all of the particles come together at one position. As happens in other metaheuristics, the PSO algorithm is influenced by a number of control parameters: swarm size, neighbourhood size, *inertia, cognitive,* and *social* weights and number of iterations. Therefore, implementing a PSO algorithm requires a careful selection of these parameters.

Intensive farming of seabream involves different phases ranging from reproduction to fattening until reaching the desired commercial size. The different phases require different technologies, facilities, inputs, and food, among other factors, and can be considered to represent separate activities. There are currently different degrees of integration of the cultivation process, but a majority of companies still specialise in reproduction, larval rearing of fingerlings and pre fattening (hatchery) or fattening.

This study is performed during the final stage of marine cage culture, i.e., the fattening of fingerlings until reaching commercial size. Considering the bioeconomic model assumptions, the production strategy is defined in this study as the sequence of seeding and harvesting operations that generates an economic result. Each particle of the population in the search space represents a production strategy. According to the general scheme of all PSO algorithms, each particle, i, has an associated position vector, x_i, that represents the corresponding production strategy. The structure of each of these vectors is described for each of the t iterations of the algorithm as follows:

$$x_i^t = (re_{i,1}^t, pd_{i,1}^t, pa_{i,1}^t; re_{i,2}^t, pd_{i,2}^t, pa_{i,2}^t; re_{i,3}^t, pd_{i,3}^t, pa_{i,3}^t;\ldots; re_{i,n}^t, pd_{i,n}^t, pa_{i,n}^t) \quad (19)$$

where n is the maximum number of batches performed in the time horizon under the plan. For b batches, b = 1, 2, 3,..., n, and

a) $re_{i,b}^t$ represents the number of days with respect to the previous harvest process, i.e., the number of days between the harvesting of batch *b-1* and the release of fingerlings in batch b.

b) $pd_{i,b}^t$ represents the desired harvest weight of the fish.

c) $pa_{i,b}^t$ represents the fingerling weight.

Each position of the particle determines a profit, considered as the sum of the profits of all batches, provided that these processes are performed entirely within the established time horizon. If the harvest time of a batch corresponds to a later date, the profit of this process is void.

The objective function is obtained by substituting Equations (11) to (16) in (10), so the profits can be expressed in terms of seven variables. The state of production at any time, t, is described by state variables w_t, N_t, m_t, and T_t. The decision variables t_0, w_0, and w_h determine the production strategy for the fish farm and therefore the resulting profits. Fish farmers, in this case the algorithm, must decide the values of the decision variables for each batch. The PSO algorithm was implemented into computer using a specific software program for its application to the aquaculture that has been developed with Java programming language. The software is based on a client server architecture which relies on a MySQL database.

4.4.2.3. Simulation optimization of seabream production in Spain

The PSO algorithm was applied to the production of gilthead seabream in floating cages for two locations, the Canary Islands and the Mediterranean (Spanish east coast). It is necessary to differentiate between the two main production areas due to the different environmental conditions under which cultivation is developed. The optimal production strategy was obtained for both locations for a hypothetical fish farm under the same cultivation conditions, with the exception of water temperature. The parameters that define the characteristics of the seabream farm proposed and the settings for the decision variables are shown in Table 33.

Table 33. Simulation parameters. Characteristics of the seabream farm and settings for the control variables.

Parameter	Value
Maximum biomass density	20 kg/m^3
Cage production capacity	100 m^3
Maximum number of days between harvesting and seeding	60 days
Feasible harvest sizes	[300 , 600] g
Available juvenile weights	[3 , 10] g
Time horizon	5 years from January 1st, 2009
Annual interest rate	5%

The price of fingerlings was consulted for the major hatcheries in Spain. The seasonality of fingerling price was not considered. The average selling prices corresponded to the monthly average values observed for the seabream in Mercamadrid in 2009. The seasonality of the average selling price was calculated as the monthly variation of the average annual price using data from Mercamadrid. Information on water temperatures comes from the weather buoy network of the Spanish Port Authority. The water temperature data come from the buoys that operate on the Mediterranean coast and the Canary Islands. These data, with 24 daily references, cover a period ranging from the onset of activity of each buoy to March 1st, 2009. Full details on the data used are presented in Appendix B and Appendix C.

Table 34. Value of the control parameters of PSO algorithm.

Parameter	Value
Number of particles	80
Neighbourhood size (particles)	20
Inertia weight (w)	1.0
Weight of the cognitive component (φ_1)	0.4
Weight of the social component (φ_2)	1.0
Termination criteria (number of consecutive iterations without improvement)	15

The algorithm parameters are shown in Table 34. These values are a particular problem due to their influence on the behaviour of the PSO algorithm. Presently, there are no set standard values for these parameters. The usual criterion is to set the values

according to the dimension of the search space and the perceived difficulty of the problem (Poli et al., 2007).

4.4.3. Results and discussion

The increased competition in the seabream market resulted in a reduction in the operative margins that has affected the profitability of companies. In recent years, many companies have not achieved a positive economic return. However, the results of the simulation developed in this study (Table 35) indicate that this activity is economically profitable. The characteristics of the facility designed for the simulation, reflects the economic reality in which seabream companies develop their daily activity. Since biological process and technology are standardized and producers have universal access to technology, the results of this study indicate that the poor economic performance of many companies involved in seabream farming stems from the poor management of the production process.

The application of the PSO algorithm also allows to identify the production strategies that maximise operational profits. Seabream markets are very seasonal due to the influence of the environmental conditions in the cultivation process (Luna, 2002). Previous studies showed a positive effect of an increase in the average water temperature over the harvesting size (Hernández et al., 2007). Traditionally, seabream farming companies develop a production strategy according to which the industry increases the supply to the markets, avoiding feeding the fish during the periods of cold water. The main consequence of the increase in seabream supply is a decrease in market price. On the contrary, at the time that water temperature begins to rise, producers begin to reduce the supply with the corresponding increase in market price. However, given the assumptions and parameters simulated in this example, the optimal production strategy that maximise the operational profits in both locations is to harvest and market the product at the time of year in which sales prices are higher (Figure 21). To achieve this goal, it is necessary to continue feeding the fish during the period in which growth decreases and to harvest when the growth rate increases and the other fish farmers reduce the supply of seabream.

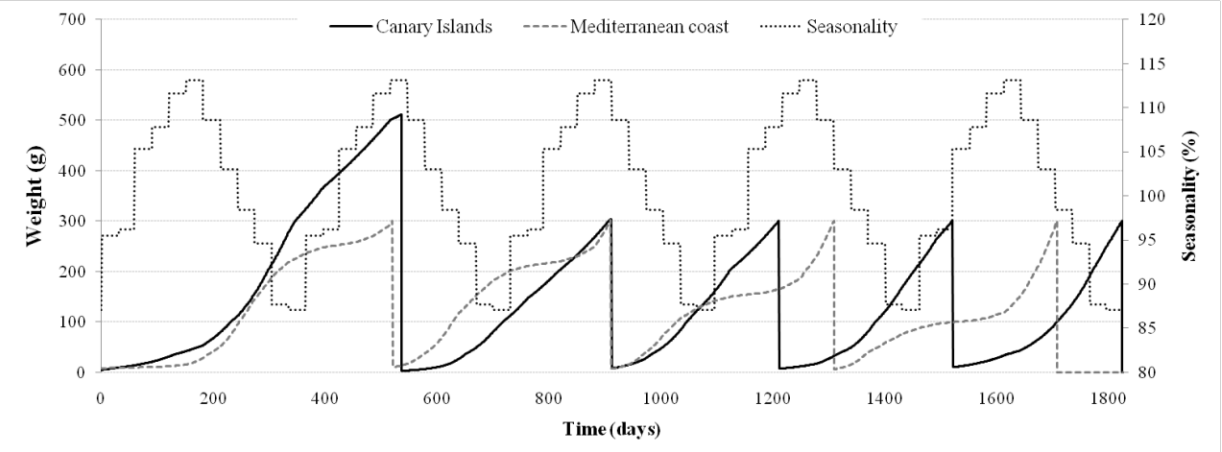
Table 35. Optimal strategies for the production of seabream in the Canary Islands and on the Spanish Mediterranean coast.

Location	Variable	Batch 1	Batch 2	Batch 3	Batch 4	Batch 5
Canary Islands	Stock. Date	1/1/2009	20/6/2010	2/7/2011	25/4/2012	3/3/2013
	Harv. Date	20/6/2010	29/6/2011	25/4/2012	01/3/2013	29/12/2013
	Batch (days)	535	374	298	310	301
	Stock.Weight (g)	5	3	8	7	10
	Fingerlings	4,139	6,866	6,885	6,891	6,916
	Harv. Weight (g)	512	304	300	301	300
	Individuals	3,909	6,575	6,661	6,638	6,664
	Profits (€)	6,277	5,452	4,806	4,725	3,041
Mediterranean	Stock. Date	1/1/2009	4/6/2010	28/6/2011	30/7/2012	-
	Harv. Date	4/6/2010	28/6/2011	30/7/2012	31/8/2013	-
	Batch (days)	519	389	398	397	-
	Stock.Weight (g)	8	10	7	6	-
	Fingerlings	7,057	6,881	6,938	6,961	-
	Harv. Weight (g)	300	302	301	300	-
	Individuals	6,650	6,626	6,645	6,663	-
	Profits (€)	4,725	4,791	4,724	4,464	-

The simulation results showed that under the production conditions simulated, the optimal production strategy for seabream farming in the Canary Islands (Figure 21) includes the development of five batches over the time horizon of five years. In the first batch, fingerlings with a weight of five grams are released in early January. The cultivation process is developed over 535 days. At harvesting time, the fish weight is 512 g, and the sale price is 13.1 per cent above average price. The next batch, using fingerlings of three grams, is released the same day as the previous harvest to achieve a harvest weight of 304 g in 374 days. The harvesting of this batch is also performed in June, which is the month of the year in which the sales price is highest. The third batch is initiated three days after the second harvest. Fingerlings of eight grams are seeded, and the fish reach a harvest weight of 300 g after 298 days of cultivation. At harvest time, the sales price is 7.8 per cent higher than the average price. The next batch begins the same day. Fingerlings with a weight of seven grams are released to achieve a harvest weight of 301 g in 310 days. The harvesting time is in March, when the corresponding price premium is 5.3 per cent above average price. The last batch of the time horizon analysed begins two days later. Fingerlings of 10 g are seeded, and the fish reach a

harvest weight of 300 g after 301 days of cultivation. The present value of the operational profits obtained using this strategy in the period of analysis is 243 €/m^3.

Figure 21. Evolution of the seabream weight (w) and the seasonality of its price (q_h) in the Canary Islands and on the Spanish Mediterranean coast along the five years period simulated.



In the case of seabream production in the Mediterranean, the optimal production strategy (Figure 21) involves the development of four batches in the time horizon considered. In the first batch, fingerlings of eight grams are released to reach a harvest weight of 300 g in 519 days. As in the Canary Islands, the harvesting of this batch is performed in June, in which the sales price is the highest, at 13 per cent higher than average. The second batch involves the release of fingerlings of 10 g on the same day as the previous harvest to reach a harvest weight of 302 g in 389 days. The third batch is initiated at the end of June. Fingerlings of seven grams are seeded, and the fish reach a harvest weight of 301 g after 398 days of cultivation. The last batch of the time horizon analysed begins on the same day as the third batch is harvested. Fingerlings with a weight of six grams are released to achieve a harvest weight of 300 g in 397 days. The present value of the operational profits obtained with this strategy in the period of analysis is 187.06 €/m^3.

In this study the quantity of production is limited by the maximum biomass density. The maximum amount of seabream that can be produced in each batch is 2,000 kg. The maximum quantity of production per batch can be achieved with different harvest weights and thus with different number of individuals harvested. Several previous studies concluded that those batches that produce larger fish reach higher operational profits due to its higher value in the market (Gasca-Leyva et al., 2003 and Hernández et al., 2007). The results of the present study are consistent with those

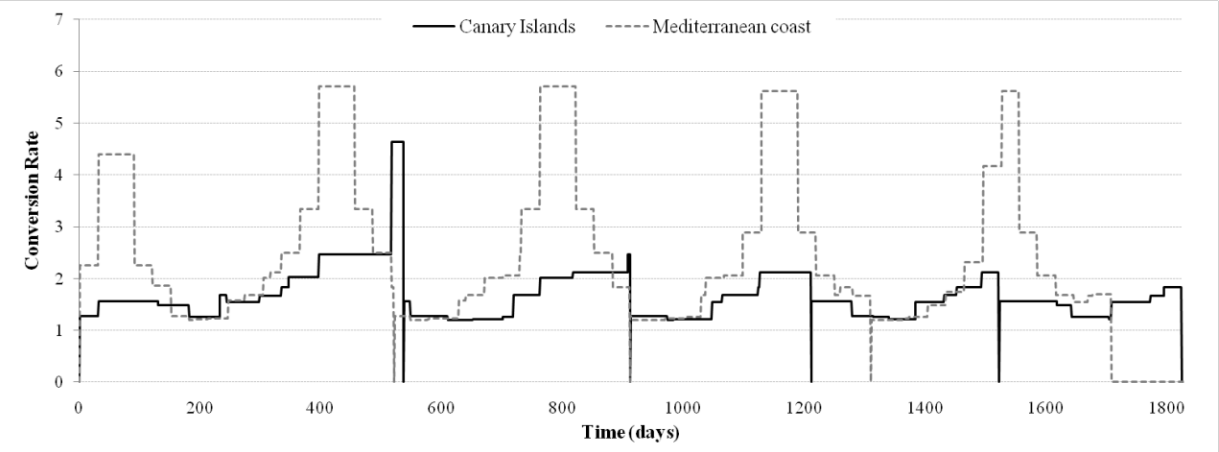
obtained in these previous studies. The batch that produced the larger size (Batch 1 in the Canary Islands) got the greater operational profit, compared to the other batches. However, the rotation problem which is a main issue in the optimal management of aquaculture and forestry was not analysed in these previous studies as noted in the conclusions of the study by Hernández et al. (2007). The consideration in this study of a multi batch production has allowed analysing the effect of productivity on the operational profitability. Considering the entire production period instead of just one batch, the best economic results were obtained by producing the maximum number of batches in the period analysed, not by producing larger sizes. Consequently, strategies that maximise the present value of the operational profits were those that achieved a higher productivity in the period analysed.

4.4.3.1. Effects of environmental conditions on the firm's competitiveness

For the example simulated, the operational profits differ between the Canary Islands and the Mediterranean despite working under the same production parameters and during the same period of time. The environmental parameters associated with the locations, particularly the water temperature, cause the productivity and economic results of the two sites to differ. In the Canary Islands, the average annual water temperature is 21.1 ºC, with a maximum of 23.9 ºC in October and a minimum of 19.50 ºC in March and April, whereas in the Mediterranean, the average water temperature is 18.5 ºC, with a maximum of 25 °C in August and a minimum of 13.50 ºC in February. Thus, there is a lower dispersion of the water temperature in the Canary Islands than in the Mediterranean, which exhibit standard deviations of 1.5 and 4.05, respectively. The lower variability of water temperature in the Canary Islands prevents the occurrence of periods of the year in which the metabolic activity of the fish decreases and fish growth is low or zero, as found in other locations. During the summer months, the water temperature is similar in the two locations, and therefore, the food conversion rate is also similar. However, the water temperature is higher during the rest of the year in the Canary Islands, with differences in excess of six degrees being observed, such as in January. As a result of the different temperatures, the feed conversion rates associated with seabream production are different between the Canary Islands and the Mediterranean (Figure 22). The average feed conversion rates, expressed as the ratio of

the provided food and the harvested biomass (feed supplied/weight gain), are 1.69 and 1.82, respectively.

Figure 22. Evolution of the feed conversion rate during the production of seabream in the Canary Islands and on the Spanish Mediterranean coast along the five years period simulated.



In this context, fish growth occurs more rapidly in the waters of the Canary Islands than in the Mediterranean. This rapid growth occurs because the evolution of growth in the farm sited in the Canary Islands is continuous throughout the year (Figure 21). In contrast, in the farm located in the Mediterranean waters, fish growth is cyclical, occurring rapidly during the summer months and more slowly in the winter months. At the same time, in a context where the optimal strategy that maximise profits requires feeding the seabream during the winter months, firms with higher average water temperature during the winter months are more efficient due to the better feed conversion rate that they achieve. Therefore, the positive effect of the environmental conditions on seabream growth gives the producers in the Canary Islands two main competitive advantages. Firstly, the desired weight is reached faster, which increases the productivity. Secondly, achieving the same biomass requires less feed. The analysis conducted here confirms the existence of competitive advantages related to the location of the cultivation of seabream. These competitive advantages influence the production strategies that optimise the operational economic performance of seabream companies. These results are consistent with previous works (Gasca-Leyva, 1999; Hernández et al., 2003 and Hernández et al., 2007), which validates both the algorithm and the bioeconomic model applied in this study.

4.4.4. Conclusions

The economic problems of seabream companies in Spain are not derived from a lack of profitability of this activity. The optimal production strategies obtained in the simulation for the two main cultivation areas in Spain, the Canary Islands and the Mediterranean, are profitable. The lack of competitiveness of many companies in the seabream industry does not come from biological or technical aspects, but stems from the difficulty of the economic and management decision-making process. The application of more efficient and productive management techniques like the applied in the present study would help to maximise the economic performance of the activity and recover lost competitiveness.

To produce a batch in the most efficient way (requiring less time and less feed) fish farmers usually feed fish under higher temperatures due to the better conversion rates, avoiding feeding in periods of cooler waters, which are associated with lower conversions rates. This situation generates a high seasonality of supply and output prices. In this context, optimal strategies require feeding the fish during the period of higher supply and lower market prices, and harvest the seabream when the other producers reduce their supply and as a result, market prices are higher.

The inclusion of the rotation problem in the bioeconomic model allows to consider a multi batch production instead of only one batch. When only one batch is considered, the cultivation of larger fish sizes generates greater operational profits. However, if it is considered a time horizon, the best economic results are obtained through the strategies that achieve the maximum number of batches, not by producing larger sizes. Consequently, strategies that maximise the present value of the operational profits are those that obtain a greater productivity.

The comparison of the two locations shows the existence of competitive differences arising from their environmental conditions. The facility located in the Canary Islands exhibits better economic performance compared to that located in the Mediterranean due to the higher productivity achieved. The higher average water temperature generates more favourable environmental conditions for the growth of individuals in the Canary Islands than in the Mediterranean.

Some limitations of the study should be noted. Currently, the algorithm optimises only the economic performance of a cage or production unit. The difficulty of the

optimisation problem increases exponentially when more than one cage is introduced. Furthermore, it is assumed that at the beginning of each batch, the cage is empty and that during the cultivation process, there is no possibility of performing partial harvests. Additionally, although this research did not consider the impact of variability in market prices across years, this factor plays a key role in determining the economic performance of such aquaculture activities (Forsberg and Guttormsen, 2006). All of these issues should be addressed in further research.

Despite the above limitations, the study also suggests other research directions. In particular, the optimal geographical location of an aquaculture farm, taking into account the role of the environmental conditions and the distance to the markets as sources of competitive advantages. Finally, the algorithm used could be of interest for the economic optimisation in the production of other important farmed species such as salmon, catfish, or tilapia, and for other sectors related to aquaculture, such as insurance or finance.

Acknowledgements

This work was made possible through the collaboration of the Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment and the Spanish Port Authority. Dr. Trond Bjørndal, Centre for the Economics and Management of Aquatic Resources, Portsmouth (UK), and Dr. José Manuel Fernández Polanco, University of Cantabria, Spain, critically read the manuscript.

4.5. Optimización económica de la producción acuícola de dorada (*Sparus aurata*) utilizando un algoritmo de optimización de enjambre de partículas (Versión en español)

Las buenas perspectivas del cultivo de dorada (*Sparus aurata*) debido al crecimiento de la inversión y al aumento de la demanda del producto no son confirmadas por los resultados económicos de la industria. A pesar de alcanzar la viabilidad biológica y tener acceso a la tecnología necesaria para el cultivo de dorada a escala comercial, muchas compañías no son rentables debido a una pérdida de competitividad asociada al incremento en el suministro de dorada. El desarrollo de prácticas de gestión más eficientes y productivas ha sido una de las principales respuestas de la industria acuícola para tratar de resolver este problema. El propósito de este trabajo es la optimización económica del cultivo de dorada a través de la determinación de las estrategias de producción que maximicen el valor actual de los beneficios del proceso de cultivo. Para llevarlo a cabo, se utiliza un algoritmo de enjambre de partículas (PSO) para la optimización económica de la producción acuícola. El algoritmo está basado en un modelo bioeconómico de engorde de dorada que utiliza como variables de decisión el instante del tiempo en el que se siembran los alevines, el peso de los alevines y el peso de los peces despescados. El submodelo biológico consiste en tres procesos interrelacionados, siembra, crecimiento y mortalidad, que tienen en cuenta los efectos de la temperatura del agua, el tamaño de la ración de alimento y la densidad máxima de la biomasa. El submodelo económico considera los costes y los ingresos relacionados con el proceso de producción. Una aplicación al cultivo de dorada en España revela que la actividad es rentable y muestra diferencias competitivas asociadas con la localización. Adicionalmente, el uso del algoritmo PSO puede ser de interés para la gestión operativa de la producción de otras importantes especies como el salmón (*Salmo salar*), el pez gato (*Ictalurus punctatus*) o la tilapia (*Oreochromis niloticus*), así como para otros sectores relacionados con la acuicultura como los seguros o las entidades financieras.

4.5.1. Introducción

En las últimas décadas, la acuicultura ha crecido rápidamente entre los sectores de producción de alimentos. Se ha convertido en una industria relevante alrededor del

mundo que es capaz de sostener la demanda de pescado (FAO, 2010). La producción de dorada (*Sparus aurata*) en el mar Mediterráneo ha experimentado un rápido crecimiento a lo largo de los últimos 20 años. En la actualidad, el cultivo de dorada representa la producción más importante de peces en esta zona geográfica. Sin embargo, las buenas expectativas para el cultivo de dorada generadas por el crecimiento de la inversión y el crecimiento de la demanda del producto no son confirmadas por los resultados económicos de la industria. El crecimiento descontrolado del suministro a los mercados ha causado una pérdida de competitividad en muchas empresas. A pesar de la creciente demanda de mercado, se han producido sucesivas situaciones de sobreoferta desde comienzos de la pasada década, como por ejemplo en 2001 y 2002 (Gasca-Leyva et al., 2003). Estos problemas han causado la quiebra de muchas empresas.

Estos problemas económicos han mostrado que la viabilidad biológica y la tecnología necesaria para desarrollar la producción a escala comercial no son suficientes para desarrollar una producción acuícola económicamente sostenible. El desarrollo de sistemas de gestión más eficientes y productivos ha sido una de las principales soluciones de la industria para resolver este problema. Estos sistemas han sido desarrollados a través del uso de técnicas de Investigación Operativa u *Operational Research* (OR) (Hernández et al., 2007). Los modelos de OR aplicados a la acuicultura han sido basados en la experiencia acumulada en la pesca y otras actividades del sector primario, como la agricultura o la silvicultura, para incrementar la eficiencia y la rentabilidad del cultivo de peces a una escala industrial (Bjørndal et al., 2004).

Al igual que otras industrias de cría de animales, la producción acuícola se basa en el crecimiento diario de los individuos. El modelado de este proceso biológico es complejo debido al amplio rango de factores que influyen en el crecimiento de los peces, los cuales son tanto internos, como las tasas de alimentación o el peso de los alevines, como externos, como por ejemplo la temperatura del agua o el comportamiento social de los individuos. En este complejo escenario, los modelo bioenergéticos miden el crecimiento diario de los peces como la ganancia de energía procedente de la diferencia entre la energía suministrada al individuo a través del alimento y la energía que éste gasta en su actividad diaria. En los últimos años, numerosas aplicaciones de estos modelos a la gestión de la acuicultura han sido descritas en la literatura (Cacho et al., 1991 y Forsberg, 1999).

A través de la modelización de las complejas interacciones entre los sistemas económicos y biológicos, es posible tomar las decisiones más eficientes sobre aspectos como la composición de la dieta, el tamaño de las raciones de alimento o el momento de despesque (León et al., 2001). Por lo tanto, los modelos bioeconómicos han jugado un papel crucial en las técnicas de OR (Bjørndal et al., 2004). En la literatura previa se han descrito muchas aplicaciones de modelos bioeconómicos a la gestión acuícola. Diversos ejemplos para diferentes especies se pueden encontrar en Bjørndal (1990), Cacho et al. (1990), Leung y Shang (1989), Rizzo y Spagnolo (1996), y Sparre (1976), para el salmón (*Salmo salar*), el pez gato (*Ictalurus punctatus*), el langostino de agua dulce (*Macrobrachium*), la lubina (*Dicentrarchus labrax*), y la trucha (*Oncorhynchus mykiss*), respectivamente. Estos modelos están integrados a través de un submodelo biológico de crecimiento del pez y un submodelo económico que une el proceso de producción con los mercados a través del coste de los insumos, el precio de venta de los productos y las limitaciones de los recursos.

En las últimas décadas se han aplicado varias técnicas de optimización a la investigación operativa en acuicultura, como la optimización dinámica (Rauch et al., 1975; Karp et al., 1986; Bjørndal, 1988; Arnason, 1992 y Mistiaen y Strand, 1999), la programación dinámica (McNown y Seireg, 1983; Leung, 1986 y Leung y Shang, 1989), la programación lineal (Gates y Mueller, 1975; Forsberg, 1996 y Yu y Leung, 2005) y la programación no lineal (Rizzo y Spagnolo, 1996). Existen ejemplos en la literatura sobre investigación operativa que optimizan las estrategias de gestión y la rentabilidad mediante la consideración de las relaciones biológicas en un contexto más general. Bjørndal (1988) analizó en profundidad la estrategia óptima de despesque en acuicultura bajo diferentes condiciones relacionadas con el precio de venta y los principales costes de producción, basándose en un problema de optimización estático. Arnason (1992) amplió este trabajo a un marco dinámico incluyendo tanto las estrategias de alimentación, como el momento del despesque. Otros resultados en el mismo marco de actuación fueron obtenidos incluyendo la posibilidad de despesques previos (Heaps, 1993), una función del precio dependiente del peso de los peces (Mistiaen y Strand, 1999), o la influencia de factores como la ración de alimento o la temperatura del agua (Hernández et al., 2007). Una revisión de las técnicas de investigación operativa aplicadas a la pesca y la acuicultura en los últimos cuarenta años está disponible en el trabajo de Bjørndal et al. (2004).

Aunque estos estudios han contribuido enormemente a la optimización económica de las estrategias de producción, las complejas interacciones de factores técnicos, biológicos, medioambientales y económicos en el cultivo de peces limita la aplicación de los métodos clásicos de optimización. Un método útil cuando el problema de optimización es no lineal, complejo y multidimensional son los algoritmos de enjambre de partículas (PSO). PSO es una técnica metaheurística para la solución de problemas basada en la evolución de las poblaciones, que fue originalmente desarrollada por Kennedy y Eberhart (1995) y Eberhart y Kennedy (1995).

El propósito del presente estudio es la optimización económica del cultivo de dorada a través de la determinación de las estrategias de producción que maximizan los beneficios actuales del proceso de cultivo. La metodología utilizada es un algoritmo PSO basado en un modelo bioeconómico de engorde de dorada en jaulas flotantes. El algoritmo se aplica a la optimización de la simulación de la producción de dorada en España. Este país es uno de los principales productores de esta especie. Sin embargo, en la actualidad, la industria española de cultivo de dorada tiene problemas de rentabilidad debido a la creciente competitividad en los mercados. El uso de un algoritmo PSO para optimizar la producción acuícola de dorada en términos económicos contribuye a mejorar el conocimiento sobre gestión acuícola. Esta metodología es una novedad en la disciplina de la investigación operativa en acuicultura.

El estudio se divide en cuatro secciones, incluyendo esta introducción. En la sección de Materiales y Métodos se explican en detalle el modelo bioeconómico, el algoritmo PSO y los datos utilizados en la simulación de la producción de dorada en España. Los resultados y la discusión de los mismos se realizan en la siguiente sección. Las conclusiones del trabajo se sintetizan en la sección final.

4.5.2. Materiales y métodos

La gestión acuícola no es una excepción en la aplicabilidad de las técnicas de optimización. Muchas decisiones estratégicas y operativas en el cultivo de peces pueden ser optimizadas mediante la modelización matemática, por ejemplo, la estrategia de alimentación, las raciones de alimento, el momento de despesque y el peso de despesque. Sin embargo, la complejidad del proceso de producción acuícola dificulta encontrar la solución óptima o una aproximación de la misma en tiempos de computación razonables. El objetivo de las técnicas metaheurísticas es encontrar de

manera eficiente soluciones casi óptimas (Osman y Laporte, 1996). Un método metaheurístico sacrifica la garantía de obtener una solución universal por el bien de obtener buenas soluciones en un periodo de tiempo significativamente más corto (Blum y Roli, 2003). Esto significa que las soluciones óptimas alcanzadas en este trabajo por el algoritmo PSO no son universales. En su lugar, el uso del algoritmo PSO permite superar las soluciones óptimas locales y lograr una solución global óptima de manera eficiente, es decir, en un tiempo de computación razonable.

4.5.2.1. Modelo bioeconómico para el cultivo de dorada

El modelo bioeconómico está integrado por un submodelo biológico del proceso de cultivo en jaulas marinas, el cual está interrelacionado con un submodelo económico que cuantifica el proceso para considerar las implicaciones económicas de cualquier cambio en los parámetros de cultivo y de mercado. El propósito del análisis bioeconómico es encontrar el momento de despesque que maximice el valor presente de los beneficios operacionales en un horizonte temporal dado (Asche y Bjørndal, 2011). En este periodo, es necesario determinar el número de lotes y para cada lote, los tiempos, pesos y densidades de siembra y despesque. El uso del conocimiento científico acumulado en la literatura evita la necesidad de desarrollar complejos y costosos experimentos para determinar las ecuaciones del modelo.

El modelo bioeconómico de cultivo de dorada utilizado en este estudio incluye varios cambios respecto al que desarrollaron Hernández et al. (2003). El modelo tiene en cuenta el problema de rotación propuesto por Bjørndal (1988). De acuerdo con Bjørndal, cuando los peces son despescados, vuelve a haber espacio disponible para cultivar nuevos peces. Este hecho es importante, dado que el espacio en las granjas es limitado. Los productores pueden incrementar el valor de la biomasa mediante la sustitución de los peces que crecen más lento, por peces más jóvenes que crezcan más rápido. Por lo tanto, no es suficiente considerar únicamente un lote. El problema en cuestión representa una serie infinita de lotes, en lugar de un solo lote. Así, el problema se reduce a encontrar el tiempo de rotación óptimo para un lote de pescado, es decir, el tiempo para la cosecha de un lote y la siembra del siguiente. En el presente trabajo, el modelo considera la producción multi-lote en un periodo de tiempo finito. Esto significa que el tiempo de siembra en cada lote está influido por el instante de tiempo en el que se

haya despescado el anterior lote. En consecuencia, la complejidad de la optimización del proceso de producción se incrementa.

El proceso de cría a lo largo del tiempo es descrito por el peso del pez (w), el número de peces (N), el tiempo (t), los costes de producción (C) y los ingresos (R). Para cada lote, las variables de decisión son el momento de siembra (t_0), el peso de los alevines sembrados (w_0), y el peso de los peces despescados (w_h). Debido a que la temperatura del agua y las tasas de alimentación son consideradas determinísticas, el momento de siembra y el peso de los alevines definen una trayectoria única de crecimiento hasta alcanzar el peso de despesque seleccionado.

Supuestos del modelo

El modelo incluye tres factores esenciales que influyen en el crecimiento del pez: el peso del pez, la temperatura del agua y la cantidad de alimento. Para aislar al modelo de la influencia de otros factores, el modelo se formula de acuerdo a los siguientes supuestos.

a) La calidad del agua es óptima, y las localizaciones seleccionadas por los gestores registran unos parámetros de composición del agua óptimos.

b) El cultivo de peces en jaulas marinas es un sistema abierto, lo que significa que los productores no pueden abordar el control de ninguno de los factores abióticos que afectan al proceso de crecimiento, como por ejemplo la temperatura del agua, la luz, la salinidad o el oxígeno, de una forma económicamente eficiente (Brett, 1979).

c) La composición del alimento es fija a lo largo del proceso de cultivo. Por lo tanto, la calidad de la dieta no es considerada una variable de decisión para los productores (Hernández et al., 2003).

d) La trayectoria óptima de alimentación para diferentes especies bajo diferentes condiciones ha sido analizada en profundidad en numerosos trabajos previos (Cacho et al., 1991; Arnason, 1992; Heaps, 1993 y Mistiaen y Strand, 1999) y por lo tanto no es objeto de estudio en este trabajo. Por lo tanto, se asume que los tamaños de la ración de alimento recomendados por los proveedores de piensos están en niveles óptimos.

e) Las tasas de alimentación dependen de la temperatura del agua y del peso del pez. En consecuencia, el momento de despesque y el peso de despesque no son variables

independientes, así que solo uno de los parámetros puede ser seleccionado. El presente estudio considera los pesos de despesque como una variable de decisión. Por lo tanto, los momentos de despesque son determinados por el momento en el que los peces alcanzan el tamaño de comercialización deseado.

f) El modelo de crecimiento no es dependiente de la densidad de individuos en la jaula. Se supone que los niveles de densidad y otros factores limitantes son apropiados, así que el crecimiento no se ve afectado.

g) Suponiendo que las jaulas están bien localizadas, se asume que la densidad máxima de la biomasa es igual a la densidad máxima de la biomasa asegurable (Luna, 2002).

h) Otro parámetro relevante en el proceso de cría que no ha sido considerado en este trabajo es la dispersión del peso de los individuos (Tian et al., 2000), que se produce debido a que durante el proceso de cría, no todos los individuos ingieren la misma cantidad de alimento, ni todos ellos tienen los mismos requerimientos de energía.

El modelo considera otro conjunto de supuestos, la mayoría de los cuales están asociados a cuestiones económicas y a la búsqueda de soluciones genéricas.

a) Se supone una disponibilidad continua de alevines durante el año. En la práctica, la ausencia de esta disponibilidad puede ser una restricción en la planificación de la producción (Gates y Mueller, 1975).

b) El modelo no tiene el propósito de analizar el efecto de los cambios en la estacionalidad de los precios en la planificación de la producción.

c) Se ha supuesto que todos los peces son despescados en el mismo momento, lo que implica que en el momento de siembra de un lote, la jaula está completamente vacía.

d) No hay restricciones en las condiciones laborales, tecnológicas o medioambientales que puedan afectar a los procesos de siembra y despesque.

e) El modelo solo considera los costes operacionales. Por lo tanto, solo se incluyen en el análisis costes variables, en concreto, el coste de los alevines y el coste del alimento. Se supone que el resto de costes (coste laboral, de mantenimiento, de despesque, de gestión, de impuestos y financieros) no están directamente afectados por el nivel de producción y pueden asignarse mediante una clave de reparto.

El modelo biológico

El modelo biológico simula el proceso de cría que tiene lugar a lo largo del tiempo, en el que tras sembrar los alevines, los peces son alimentados en función de su peso y de la temperatura del agua. A lo largo del tiempo, el número de peces cambia debido a la mortalidad natural, y como resultado, solo una proporción de los peces sembrados alcanza el tamaño comercial (Bjørndal, 1988).

El crecimiento de los peces está influenciado por numerosos parámetros, entre otros los factores genéticos y medioambientales. El modelo biológico sigue los principios de la fisiología de peces (Brett y Groves, 1979), que fue considerada por primera vez en la modelización del crecimiento de salmónidos por Stauffer (1973) y posteriormente aplicada a otras especies (Corey et al., 1983 y Muller-Feuga, 1990). Siguiendo los principios de la fisiología de peces, cualquier intento de desarrollar un modelo de crecimiento de peces debe incluir al menos tres factores: la ración de alimento, el peso y la temperatura del agua, como las variables independientes más importantes (Stauffer, 1973). El modelo propuesto en esta investigación consiste en tres procesos interrelacionados: siembra, engorde y mortalidad.

El número de alevines sembrados es calculado para obtener la densidad máxima de la biomasa (D_{max}) en el momento de despesque. Esto requiere tener en cuenta la mortalidad natural durante el proceso de cría y el peso medio en el momento de despesque. El número de alevines sembrados en cada lote (b) puede expresarse como sigue:

$$N_{s,b} = \frac{D_{max}}{w_{h,b} s_{h,b}} \tag{20}$$

donde N_s es el número de alevines sembrados; w_h es el peso medio de los peces despescados; y s_h es la tasa de supervivencia en el momento del despesque.

El crecimiento del pez se obtiene de la alimentación, que es función de la temperatura del agua y del peso medio del pez (Brett y Groves, 1979). El cambio en el peso a lo largo del tiempo, es decir, el crecimiento, se simula utilizando la siguiente expresión:

$$w_{t+1} = w_t \, (1 + SGR(T_t, w_t)) \tag{21}$$

donde w_t es el peso medio del pez al comienzo del intervalo t; T es la temperatura del agua; y $SGR(T_t, w_t)$ es la tasa específica de crecimiento en el intervalo t, la cual depende del peso del pez y de la temperatura del agua. Al igual que en el trabajo sobre la gestión

óptima del cultivo de lubina desarrollado por Rizzo y Spagnolo (1996), la información específica sobre las tasas de crecimiento se obtiene de la media[12] de los valores de las tablas de alimentación proporcionadas por los proveedores de pienso. Estas tablas, dependiendo del peso del pez y de la temperatura del agua, indican la ración óptima de alimento y la tasa de crecimiento resultante. Estos datos permiten la simulación del crecimiento del pez utilizando la misma información habitualmente empleada por los piscicultores (a pesar de que los gestores corrigen la información proporcionada en las tablas para ajustarla a las condiciones específicas de su granja). Por lo tanto, el peso medio de los individuos en el momento *t*, w_t, es expresado en la Ecuación 22.

$$w_t = w_0 \prod_{k=0}^{t-1} (1+SGR(T_k,w_k)) \tag{22}$$

w_t es igual al peso de los alevines (w_0), multiplicado por la tasa de crecimiento acumulativa hasta el momento *t*-1. El sufijo *k* es una variable que representa cada intervalo de tiempo entre los momentos de siembra (t_0) y despesque (t_h). El intervalo de tiempo considerado es un día. En el despesque, el peso medio de los peces es, w_h , expresado en la Ecuación 23.

$$w_h = w_0 \prod_{k=0}^{h-1} (1+SGR(T_k,w_k)) \tag{23}$$

La supervivencia de los individuos depende de la densidad de la biomasa, del peso del pez y de las condiciones medioambientales. En algunos estudios, como el de Arnason (1992), la tasa de mortalidad se asume constante a lo largo del tiempo. En este trabajo, dada la limitación de la concentración de los individuos a un valor determinado, la mortalidad en un periodo se expresa como recoge la Ecuación 24.

$$m_t = MOR(T_t,w_t) \tag{24}$$

m_t es la mortalidad en el momento *t*, que comienza con el peso w_t y la temperatura T_t. La tasa de supervivencia al comienzo de *t* puede expresarse como sigue:

$$s_t = 1 - \prod_{k=0}^{t-1} m_k \tag{25}$$

La selección de los parámetros asociados con las variables de decisión genera interacciones en el proceso biológico. El momento de siembra determina la temperatura

[12] La oferta de alimentación disponible para el engorde de la dorada es muy amplia. Por lo tanto, para evitar la inclusión de una mayor complejidad en el modelo y porque el objetivo no es determinar el alimento más apropiado, se utiliza un promedio de los valores de varios piensos. Los tipos de pienso utilizados en este análisis son los siguientes: PROaqua (Mistral 21), Skretting (Basic y Power), DIBAQ (Ecoprime y Ecomar) y Acuibream (5, 6, 7, y 8).

del agua durante el proceso de cultivo. La temperatura, junto con el peso de los alevines sembrados determina el crecimiento y la mortalidad de los peces. Finalmente, el peso de despesque seleccionado determina el momento del despesque.

El modelo económico

El modelo económico es un problema de maximización basado en una función objetivo que se optimiza considerando los ingresos y los costes de producción. El objetivo de los piscicultores es maximizar el valor presente de los beneficios en el momento cero en un periodo de tiempo finito y puede expresarse como sigue:

$$Max\ \pi = \sum_{b=1}^{B} (R_b DF(t_{h,b}) - C_b DF(t_{0,b})) \tag{26}$$

R_b representa los ingresos en cada lote; y C_b representa los costes operacionales de cada lote. Para calcular el valor monetario actual, cada flujo de caja es multiplicado por su correspondiente factor de descuento $DF\ (t)$, calculado como

$$DF^{\,t} = (1+i)^{-t/360} \tag{27}$$

i es la tasa de descuento anual o el coste de capital, el cual se utiliza como la tasa de retorno. Se considera que hay 12 meses de 30 días, en un año de 360 días. El momento presente (*time zero*) se sitúa en el momento de siembra del primer lote.

Los ingresos de un lote se expresan como sigue:

$$R_b = N_{h,b}\, w_{h,b}\, p_h(w_{h,b}) q_h(t_{h,b}) \tag{28}$$

N_h es el número de peces despescados; p_h es el precio de mercado que depende del peso de despesque; y q_h es la función que devuelve un factor para incluir el efecto de la estacionalidad de los precios de venta. El número de peces despescados en cada lote se expresa como recoge la Ecuación 29.

$$N_{h,b} = N_{s,b}\, s_{h,b} \tag{29}$$

s_h es la tasa de supervivencia en el momento del despesque.

El precio de venta difiere de acuerdo con el tamaño comercial del pez y con el momento del año en el cual los peces son vendidos. En el cálculo de los beneficios, los únicos costes considerados son el coste de los alevines y el del alimento. Por lo tanto, el coste total de cada lote es expresado por la siguiente ecuación:

$$C_b = C_{r,b} + C_{f,b} \tag{30}$$

C_r es el coste de los alevines, y C_f es el coste del alimento. El coste de los alevines en un lote *b* es dado por la siguiente expresión:

$$C_{r,b} = N_{s,b}\, p_s(w_{0,b})\, q_s(t_{0,b}) \tag{31}$$

p_s es la función dependiente del peso que devuelve el precio de los alevines; y q_s es la función que devuelve un factor para incluir la variación estacional del peso de los alevines.

El coste de del alimento (C_f) representa un alto porcentaje del total de los costes de producción (Botsford et al., 1975 y Rauch et al., 1975). El coste de alimentación depende del precio del pienso y de la cantidad de alimento suministrada a los peces. Los precios del pienso cambian en función del peso del pez. La cantidad de alimento suministrada es el resultado de multiplicar el número de peces en la jaula en el momento de su alimentación por la ración de alimento. Los proveedores de pienso proporcionan la ración de alimento para cada peso del pez en cada temperatura. Se considera que los peces son alimentados al menos una vez al día y el crecimiento es calculado para cada intervalo de tiempo durante el periodo analizado. El coste de alimentación de un lote puede ser expresado como sigue:

$$C_{f,b} = \sum_{t=0}^{h-1} N_{t,b}\, w_{t,b}\, F(w_{t,b}, T_{t,b})\, p_f(w_{t,b})\, DF(t_b) \tag{32}$$

N_t es el número de peces en el momento *t*; *F* es la función que devuelve las tasas de alimentación (expresadas como un porcentaje del peso del pez); y p_f devuelve el precio del pienso. También se incluye un factor de descuento dado que se asume que el pienso se paga cuando se suministra a los peces. Por lo tanto, el coste del alimento en cada uno de los intervalos se descuenta a $t = 0$, así que $DF(t_b)$.

4.5.2.2. El algoritmo de enjambre de partículas

Los algoritmos PSO son una técnica metaheurística basada en poblaciones inspirada por el comportamiento social observado durante el vuelo en bandadas de pájaros o los movimientos que se producen en los bancos de peces. La optimización a partir de algoritmos PSO fue inicialmente desarrollada para simular el comportamiento social. Estos algoritmos fueron investigados en profundidad posteriormente por

numerosos autores[13] y fueron aplicados con éxito en numerosos campos de investigación[14] (Poli et al., 2007). Estas metodologías pertenecen a un grupo de técnicas de optimización en el campo de la inteligencia artificial conocidas como inteligencia de enjambre o SI por sus siglas en inglés (Bonabeau et al., 1999). Las técnicas SI son menos conocidas que otras técnicas metaheurísticas basadas en poblaciones, como los algoritmos genéticos o GA por sus siglas en inglés. Sin embargo, algunos estudios experimentales muestran la mayor efectividad de las técnicas SI en la solución de problemas de optimización combinatoria (Mouser y Dunn, 2005 y Uysal y Bulkan, 2008).

Los algoritmos PSO representan un proceso iterativo y estocástico que siempre trabaja con un grupo de individuos (población o enjambre) denominados partículas, que se sitúan en un espacio de búsqueda de un problema o función. Las partículas se mueven en sucesivas iteraciones a través de la cooperación y de la competencia entre las mismas. Cada partícula evalúa la función objetivo en su posición actual y por lo tanto, representa una posible solución al problema. Las posiciones iniciales de cada partícula en el espacio de búsqueda al inicio del proceso iterativo son seleccionadas aleatoriamente. Posteriormente, se desplazan por el espacio de búsqueda con el objetivo de encontrar un óptimo, teniendo en cuenta influencias locales y globales, estas últimas procedentes del vecindario de cada una de las partículas. Para actualizar la posición de las partículas en cada una de las iteraciones todas las partículas poseen un vector de posición (x_i) que contiene la posición actual de la partícula en el espacio de búsqueda y un vector de velocidad (v_i) que indica la dirección de desplazamiento de la partícula y la longitud del mismo. El vector de velocidad se determina en base al conocimiento experimental de la partícula y a la información intercambiada con las partículas vecinas. En el primer caso, cada partícula recuerda la mejor posición que ha encontrado en el espacio de búsqueda hasta el momento (pb_i). El resultado de la información intercambiada por un conjunto de partículas vecinas se refleja en la mejor posición encontrada en el vecindario hasta el momento (pg_i). El vecindario considerado puede incluir el conjunto total de partículas. La computación de las mejores posiciones se basa

[13] Para más información sobre los estudios que desarrollan el algoritmo PSO propuesto por Kennedy y Eberhart (1995) y Eberhart y Kennedy (1995), ver Poli et al. (2007).
[14] Para el lector interesado, una lista completa de las aplicaciones de los PSO en diferentes áreas de conocimiento puede consultarse en Poli et al. (2007).

en el correspondiente ajuste de la función, que cuantifica la calidad de la partícula como solución al problema considerado.

La evolución de cada partícula *i* es expresada por:

$$v_i^{t+1} = wv_i^t + \varphi_1 r_1^t (pb_i^t - x_i^t) + \varphi_2 r_2^t (pg_i^t - x_i^t) \quad (33)$$

$$x_i^{t+1} \leftarrow x_i^t + v_i^{t+1} \quad (34)$$

donde φ_1 y φ_2 son parámetros de ponderación de la importancia de la experiencia personal de la partícula y la experiencia global del vecindario respectivamente; *w*, es denominada como el peso de inercia y decide en qué medida la anterior velocidad de la partícula afectará a la nueva; y los parámetros r_1 (*t*) y r_2 (*t*) son dos números aleatorios con una distribución uniforme [0,1] incluidos para enriquecer el espacio de búsqueda. La actualización de las velocidades dadas por la anterior expresión involucra tres componentes, habitualmente denominados en la terminología PSO como la componente de inercia, la componente cognitiva y la componente social. La componente de inercia se modela mediante el factor wv_i^t y recuerda la anterior dirección de la partícula y previene cambios drásticos en la dirección de la misma. La componente cognitiva, también conocida como nostalgia, se modela a través del factor $\varphi_1 r_1^t (pb_i^t - x_i^t)$ y dirige a la partícula hacia la mejor solución encontrada hasta la fecha. La componente social, también conocida como envidia, se modela a través del factor $\varphi_2 r_2^t (pg_i^t - x_i^t)$ y dirige la partícula hacia la mejor solución encontrada por sus partículas vecinas. El proceso iterativo continua con sucesivas iteraciones hasta que se alcanza el criterio de parada, como por ejemplo, realizar un determinado número consecutivo de iteraciones sin obtener una solución mejor, alcanzar una solución aceptable al problema establecida de antemano, o que el radio del enjambre se aproxime a cero, lo que implica que todas las partículas se aproximan a una misma posición. Como ocurre en otras técnicas metaheurísticas, los algoritmos PSO son influenciados por distintos parámetros de control: el tamaño del enjambre, el tamaño del vecindario, el valor de las componentes inercia, social y cognitiva y por el número de iteraciones. Por lo tanto, la ejecución de un algoritmo PSO requiere una cuidadosa selección de dichos parámetros.

El cultivo intensivo de dorada involucra diferentes fases que van desde la reproducción hasta el engorde del pez hasta alcanzar el tamaño de comercialización deseado. Las diferentes fases requieren diferentes recursos productivos, entre otros,

tecnologías, instalaciones, suministros y alimentos, por lo que pueden considerarse como diferentes actividades. En la actualidad, existen diferentes grados de integración del proceso de cultivo, pero la mayoría de las empresas todavía están especializadas bien en la actividad de reproducción, cría de larvas, cría de alevines y pre-engorde, agrupadas todas ellas en la instalación conocida como *hatchery*, o bien en la actividad de engorde.

Este estudio se desarrolla durante la última etapa del cultivo marino en jaulas, es decir, el engorde de los alevines hasta alcanzar el tamaño de comercialización. Considerando los supuestos del modelo bioeconómico, en este estudio se define la estrategia de producción como la secuencia de operaciones de siembra y despesque que generan un resultado económico. Cada partícula de la población en el espacio de búsqueda representa una estrategia de producción. De acuerdo con el esquema general de un algoritmo PSO, cada partícula, i, tiene asociado un vector de posición, x_i, que representa la correspondiente estrategia de producción. La estructura de cada uno de estos vectores se describe para cada una de las iteraciones del algoritmo como se expresa en la Ecuación 35.

$$x_i^t = (re_{i,1}^t, pd_{i,1}^t, pa_{i,1}^t; re_{i,2}^t, pd_{i,2}^t, pa_{i,2}^t; re_{i,3}^t, pd_{i,3}^t, pa_{i,3}^t;\ldots; re_{i,n}^t, pd_{i,n}^t, pa_{i,n}^t) \quad (35)$$

donde n es el número máximo de lotes producidos durante el horizonte temporal considerado. Para un número b de lotes, b = 1, 2, 3,..., n, y

a) $re_{i,b}^t$ representa el número de días transcurridos desde el despesque anterior, es decir, el número de días entre el despesque del lote b-1 y la siembra de los alevines en el lote b.

b) $pd_{i,b}^t$ representa el peso objetivo de despesque del pez.

c) $pa_{i,b}^t$ representa el peso de los alevines.

Cada posición de la particula determina un beneficio, considerado como la suma de los beneficios de todos los lotes cultivados, con la condición de que todos los lotes hayan sido desarrollados por completo en el periodo de análisis considerado. Si el despesque de un lote corresponde a una fecha posterior, los beneficios de ese proceso de cultivo no son incluidos.

La función objetivo se obtiene al sustituir las Ecuaciones 27 a 32 en la Ecuación 26, de manera que los beneficios pueden expresarse en términos de siete variables. El

estado de la producción en cualquier momento t es descrito por las variables de estado w_t, N_t, m_t, y T_t. Las variables de decisión t_0, w_0, y w_h definen la estrategia de producción de la granja y por lo tanto, los beneficios resultantes. Los piscicultores, en este caso el algoritmo, deben decidir los valores de las variables de decisión en cada lote. El algoritmo PSO fue implementado en el ordenador utilizando un programa específico para esta aplicación a la acuicultura que fue desarrollado con lenguaje de programación JAVA. El software se basa en una arquitectura cliente servidor que se basa en una base de datos MySQL.

4.5.2.3. Simulación de la optimización de la producción de dorada en España

El algoritmo PSO se aplicó a la producción de dorada en jaulas de cultivo marinas en dos localizaciones, las Islas Canarias y el mar Mediterráneo (costa este española). Es necesario diferenciar entre las dos principales áreas de producción debido a las diferentes condiciones medioambientales bajo las que se desarrolla el cultivo. Se determinó la estrategia de producción óptima en las dos localizaciones para una hipotética instalación de cultivo de dorada bajo las mismas condiciones de producción, a excepción de la temperatura del agua. Los parámetros que definen las características de la instalación de cultivo de dorada utilizada y los rangos de las variables de decisión se muestran en la Tabla 36.

El precio de los alevines fue consultado a las principales *hatcheries* en España. La estacionalidad del precio de los alevines no fue considerada. Los precios medios de venta utilizados fueron los valores medios mensuales registrados en la comercialización de dorada en Mercamadrid durante el año 2009. La estacionalidad de los precios medios de venta fue calculada como la variación mensual con respecto al precio medio anual utilizando los datos de Mercamadrid. La información de las temperaturas del agua procede de la red de boyas meteorológicas de Puertos del Estado. Los datos de temperatura proceden de las boyas que operan en la costa mediterránea y en las Islas Canarias. Estos datos, con 24 referencias diarias, cubren un periodo desde la puesta en marcha de cada una de las boyas hasta el 1 de Marzo de 2009. La información completa sobre los datos utilizados se presenta en el Apéndice B y en el Apéndice C.

Tabla 36. Parámetros de simulación. Características de la instalación de cultivo de dorada y los valores de las variables de decisión.

Parámetro	Valor
Densidad máxima de la biomasa	20 kg/m^3
Capacidad de producción de la jaula	100 m^3
Máximo número de días entre el despesque y la siembra	60 días
Tamaños factibles de cosecha	[300 , 600] g
Pesos de los alevines disponibles	[3 , 10] g
Horizonte temporal	5 años desde el 1 de Enero, 2009
Tasa de interés anual	5%

Los parámetros del algoritmo son especificados en la Tabla 37. Estos valores representan un problema particular debido a su influencia en el comportamiento del algoritmo. En la actualidad, no hay un conjunto de valores estandarizados para estos parámetros. El criterio habitual es fijar estos valores de acuerdo con la dimensión del espacio de búsqueda y con la dificultad percibida del problema (Poli et al., 2007).

Tabla 37. Valor de los parámetros de control del algoritmo PSO.

Parámetros	Valor
Número de partículas	80
Tamaño del vecindario (partículas)	20
Componente de inercia (w)	1,0
Peso del componente cognitivo (φ_1)	0,4
Peso del componente social (φ_2)	1,0
Criterio de parada (número consecutivo de iteraciones sin una mejora de la solución)	15

4.5.3. Resultados y discusión

El incremento de la competitividad en el mercado de dorada provocó una reducción en los márgenes operativos que ha afectado a la rentabilidad de las empresas. En los últimos años, muchas compañías no han obtenido un rendimiento económico positivo. Sin embargo, los resultados de las simulaciones desarrolladas en este estudio (Tabla 38) indican que esta actividad es económicamente rentable. Las características de la instalación diseñada para la simulación, reflejan la realidad económica en la que las

compañías desarrollan su actividad. Dado que el proceso biológico y la tecnología están estandarizados, los malos resultados económicos de muchas empresas del sector de producción de dorada derivan de la mala gestión del proceso de producción.

La aplicación de los algoritmos PSO permite identificar las estrategias de producción que maximizan los beneficios operacionales. Los mercados de dorada son muy estacionales debido a la influencia de las condiciones medioambientales en el proceso de cultivo (Luna, 2002). Estudios previos mostraron un efecto positivo del incremento de la temperatura media del agua sobre el tamaño de despesque (Hernández et al., 2007). Tradicionalmente, las empresas de cultivo de dorada desarrollan una estrategia de producción según la cual la industria incrementa la oferta a los mercados para impedir alimentar a los peces durante los periodos de aguas frías. La principal consecuencia de este incremento en la oferta de dorada es una reducción en el precio de mercado. Por el contrario, en los periodos en que la temperatura del agua comienza a crecer, los productores comienzan a reducir la oferta con el correspondiente incremento en el precio del mercado. Sin embargo, dados los supuestos y parámetros simulados en este ejemplo, la estrategia de producción óptima que maximiza los beneficios operacionales en ambas localizaciones consiste en despescar y comercializar el producto en el periodo del año en el cual los precios de venta son más altos (Figura 23). Para alcanzar este objetivo, es necesario continuar alimentando a los peces durante el periodo en el cual el crecimiento decrece y despescar cuando la tasa de crecimiento se incrementa y el resto de piscicultores reduce la oferta de dorada.

Los resultados de la simulación mostraron que bajo las condiciones de producción simuladas, la estrategia óptima de producción para el cultivo de dorada en las Islas Canarias (Figura 23) incluye el desarrollo de cinco lotes a lo largo de un horizonte temporal de cinco años. En el primer lote, se siembran a comienzos de enero alevines con un peso de cinco gramos. El proceso de cultivo se desarrolla durante 535 días. En el momento del despesque, el peso de los peces es de 512 g, y el precio de venta es un 13,1 por ciento superior al precio medio. El siguiente lote, que utiliza alevines de tres gramos, se siembra el mismo día en que el lote previo fue despescado, para tras 374 días de cultivo, despescar individuos de 304 g. El despesque de este lote también se lleva a cabo en Junio, que es el mes del año en el que los precios de venta son mayores. El tercer lote se inicia tres días después del despesque del segundo lote. En esta ocasión se siembran alevines de ocho gramos y los peces alcanzan un peso de despesque de 300 g

después de 298 días de cultivo. En el momento del despesque, los precios son un 7,8 por ciento más altos que el precio medio. El siguiente lote comienza el mismo día. Se siembran alevines de siete gramos que tras 310 días de cultivo alcanzan un peso de 301 g. El momento del despesque es en el mes de marzo, cuando el precio es un 5,3 por ciento superior al precio medio anual. El último de los lotes cultivados en el horizonte temporal analizado comienza dos días después del anterior despesque. Se siembran alevines de 10 g, los cuales alcanzan un peso de 300 g después de 301 días de cultivo. El valor presente de los beneficios operacionales tras la aplicación de esta estrategia es de 243 €/ m^3.

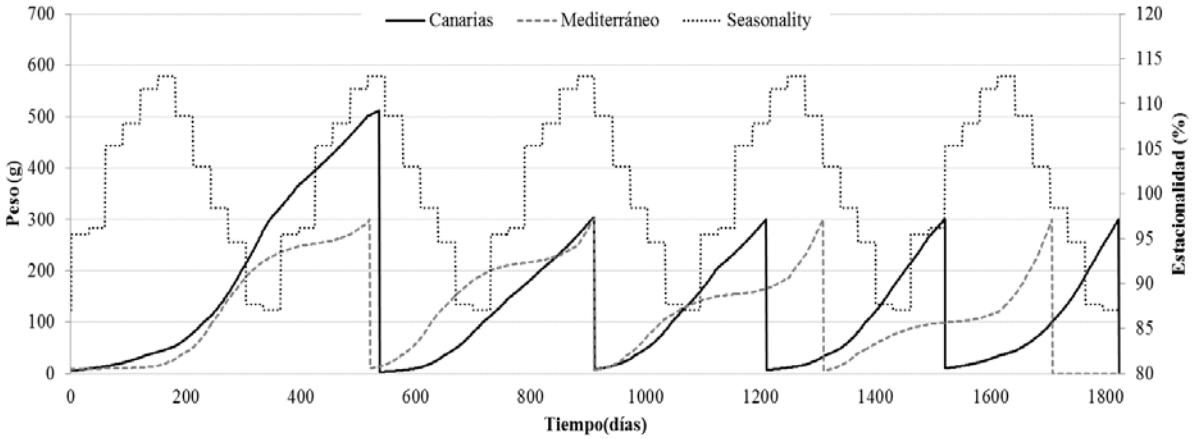
Tabla 38. Estrategias óptimas para la producción de dorada en las Islas Canarias y en la costa mediterránea española.

Localización	Variable	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5
Islas Canarias	Fecha siembra	1/1/2009	20/6/2010	2/7/2011	25/4/2012	3/3/2013
	Fecha cosecha	20/6/2010	29/6/2011	25/4/2012	01/3/2013	29/12/2013
	Lote (días)	535	374	298	310	301
	Peso siembra (g)	5	3	8	7	10
	Alevines	4.139	6.866	6.885	6.891	6.916
	Peso cosecha (g)	512	304	300	301	300
	Individuos	3.909	6.575	6.661	6.638	6.664
	Beneficios (€)	6.277	5.452	4.806	4.725	3.041
Mediterráneo	Fecha siembra	1/1/2009	4/6/2010	28/6/2011	30/7/2012	-
	Fecha cosecha	4/6/2010	28/6/2011	30/7/2012	31/8/2013	-
	Lote (días)	519	389	398	397	-
	Peso siembra (g)	8	10	7	6	-
	Alevines	7.057	6.881	6.938	6.961	-
	Peso cosecha (g)	300	302	301	300	-
	Individuos	6.650	6.626	6.645	6.663	-
	Beneficios (€)	4.725	4.791	4.724	4.464	-

En el caso de la producción de dorada en el mar Mediterráneo, la estrategia de producción óptima (Figura 23) implica el desarrollo de cuatro lotes en el horizonte temporal considerado. En el primer lote, se siembran alevines de ocho gramos para despescar, tras 519 días de cultivo, peces de 300 g. Como en el caso de las Islas Canarias, el despesque de este primer lote se realiza en junio, que es el mes en el que los precios de venta son más altos, concretamente, un 13 por ciento más altos que la media.

El segundo lote implica la siembra de alevines de 10 g en el mismo día que el despesque anterior, y se despescan peces de 302 g después de 389 días. El tercer lote se inicia al final del mes de junio. En esta ocasión se siembran alevines de siete gramos, y los peces alcanzan un peso de despesque de 301 g después de 398 días de cultivo. El último lote que se cultiva en el horizonte temporal analizado comienza el mismo día que el despesque del tercer lote. El peso de los alevines es de seis gramos, y tras 397 días de cultivo alcanzan un peso de 300 g. El valor actual de los beneficios operacionales que se obtienen con esta estrategia de cultivo es de 187,06 €/m^3.

Figura 23. Evolución del peso de la dorada (w) y de la estacionalidad de su precio (q_h) en las Islas Canarias y en la costa mediterránea española durante los cinco años del periodo simulado.



En este estudio la cantidad de producción está limitada por la cantidad máxima de biomasa permitida. La cantidad máxima de dorada que puede producirse en cada lote es de 2.000 kg. La cantidad máxima de producción en cada lote puede alcanzarse con diferentes pesos de despesque y por lo tanto, con diferente número de peces despescados. Varios estudios previos concluyeron que aquellos lotes que producen mayores tamaños de los peces obtienen mayores beneficios operacionales debido a su mayor valor en el mercado (Gasca-Leyva et al., 2003 y Hernández et al., 2007). Los resultados del presente estudio son coherentes con las conclusiones obtenidas en los citados trabajos. El lote que produce peces de mayor tamaño (Lote 1 en la producción de las Islas Canarias) obtuvo el mayor beneficio operacional, en comparación con otros lotes. Sin embargo, el problema de la rotación, que es una de las cuestiones principales en la optimización de la gestión acuícola y en la silvicultura no fue considerado en estos estudios previos, como indica en sus conclusiones Hernández et al. (2007). La consideración en el presente trabajo de un sistema de producción multi-lote ha permitido analizar el efecto de la productividad en la rentabilidad operacional.

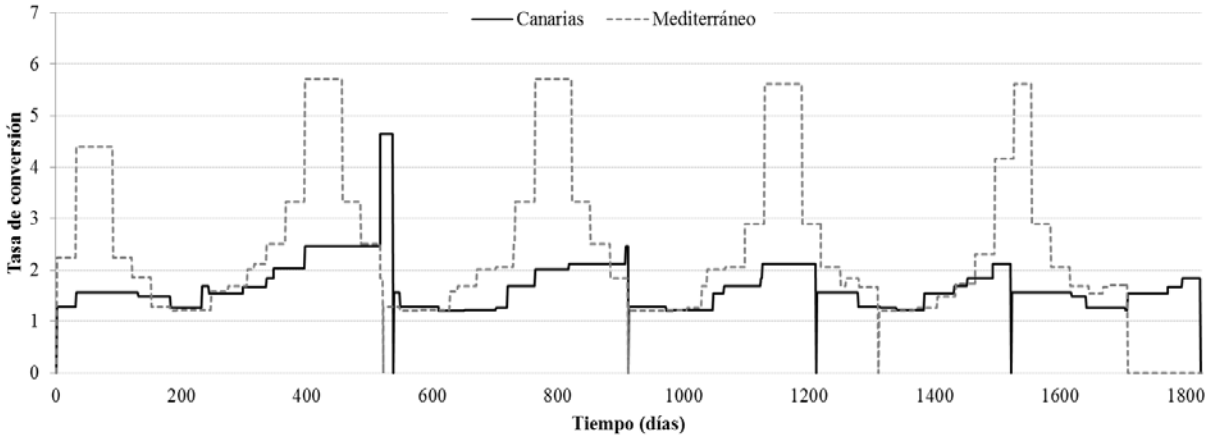
Considerando el periodo de análisis completo, en lugar de solo un lote, el mejor resultado económico fue obtenido mediante la producción del máximo número de lotes en el horizonte temporal analizado, no mediante la producción de tallas más grandes. En consecuencia, las estrategias que maximizan el valor presente de los beneficios operacional fueron aquellas que alcanzaron un mayor nivel de productividad en el periodo analizado.

4.5.3.1. Efectos de las condiciones medioambientales en la competitividad empresarial

Para el ejemplo simulado, los beneficios operacionales difieren entre las Islas Canarias y el Mediterráneo, a pesar de que el cultivo se desarrolla bajo los mismos parámetros de producción durante el mismo periodo de tiempo. Los parámetros medioambientales asociados con las localizaciones, particularmente la temperatura del agua, provocan que la productividad y los resultados económicos en las dos localizaciones sean distintos. En las Islas Canarias, la temperatura media anual del agua es de 21,1 ºC, con una temperatura máxima de 23,9 ºC en octubre y una mínima de 19,50 ºC en marzo y abril, mientras que en el Mediterráneo, la temperatura media del agua es de 18,5 ºC, con un registro máximo de 25 ºC en agosto y un mínimo de 13,50 ºC en febrero. Por lo tanto, existe una menor dispersión de la temperatura del agua en las Islas Canarias que en el Mediterráneo, al registrarse desviaciones estándar de 1,5 ºC y 4,05 ºC respectivamente. La menor variabilidad de la temperatura del agua en las Islas Canarias evita la existencia de periodos en los que la actividad metabólica de los peces disminuye y el crecimiento es bajo o nulo, como ocurre en otras localizaciones. Durante los meses de verano, la temperatura del agua es similar en ambas localizaciones, y por lo tanto, la tasa de conversión del alimento es también similar. Sin embargo, la temperatura del agua es más alta durante el resto del año en las Islas Canarias, con diferencias de hasta 6 ºC como las observadas en enero. Como resultado de las diferentes temperaturas, las tasas de conversión del alimento asociadas a la producción de dorada en ambas localizaciones son distintas (Figura 24). Las tasas medias de conversión del alimento, expresadas como el ratio del alimento suministrado y la biomasa despescada (alimento suministrado/peso ganado) son 1,69 y 1,82 respectivamente.

En este contexto, el crecimiento se produce más rápido en aguas de las Islas Canarias que en el Mediterráneo. Este rápido crecimiento ocurre debido a que la evolución del crecimiento en la granja localizada en las Islas Canarias es continuo durante el año (Figura 23). En contraste, en la instalación localizada en las aguas del Mediterráneo, el crecimiento de los peces es cíclico, siendo rápido durante los meses de verano, y más lento en los de invierno. Al mismo tiempo, en un contexto donde la estrategia óptima que maximiza los beneficios requiere la alimentación de la dorada durante el invierno, las empresas con una temperatura media del agua más alta en el periodo invernal son más eficientes, debido a la mejor tasa de conversión del alimento que obtienen. Por lo tanto, el efecto positivo de las condiciones medioambientales sobre el crecimiento de la dorada proporciona a los productores en las Islas Canarias dos ventajas competitivas. En primer lugar, alcanzan el peso comercial deseado en menos tiempo, lo que incrementa la productividad. En segundo lugar, para obtener la misma biomasa de pescado necesitan menos cantidad de pienso. El análisis aquí desarrollado confirma la existencia de ventajas competitivas asociadas a la localización del cultivo de dorada. Estas ventajas competitivas influyen en las estrategias de producción que optimizan el rendimiento económico operativo de las empresas de dorada. Estos resultados son coherentes con los de trabajos previos (Gasca-Leyva, 1999; Hernández et al., 2007 y Hernández et al., 2003), lo cual valida tanto el algoritmo como el modelo bioeconómico aplicado en este trabajo.

Figura 24. Evolución de la tasa de conversión del alimento durante la producción de dorada en las Islas Canarias y en la costa mediterránea española a lo largo del periodo de cinco años simulado.



4.5.4. Conclusiones

Los problemas económicos de las empresas de dorada en España no proceden de la falta de rentabilidad de esta actividad. Las estrategias óptimas de producción obtenidas en la simulación para las dos principales áreas de cultivo en España, las Islas Canarias y el Mediterráneo, son rentables. La falta de competitividad de muchas compañías en la industria de la dorada no procede de los aspectos biológicos o técnicos, sino que se deriva de la dificultad del proceso de toma de decisiones económicas y de gestión. La aplicación de técnicas de gestión más productivas y eficientes como la utilizada en este estudio, ayudaría a maximizar el rendimiento económico de la actividad y recuperar la competitividad perdida.

Para producir un lote de la forma más eficiente (empleando menos tiempo y menos alimento) los piscicultores habitualmente alimentan a los peces en los periodos de mayores temperaturas, dadas las mejores tasas de conversión del alimento que se obtienen, y evitan alimentar a los peces en aguas frías, las cuales se asocian con menores tasas de conversión. Esta situación genera una alta estacionalidad en la oferta y en los precios de venta. En este contexto, las estrategias óptimas requieren alimentar a los peces durante el periodo de mayor oferta y menores precios de mercado, y despescar la dorada cuando el resto de productores reducen su oferta, y como resultado, los precios de venta son mayores.

La inclusión del problema de la rotación en el modelo bioeconómico permite considerar un sistema de producción multi-lote, en lugar de un solo lote. Cuando sólo se considera un lote, el cultivo de peces de mayor tamaño genera mayores beneficios operacionales. Sin embargo, si se considera un horizonte temporal, los mejores resultados económicos se obtienen a través de estrategias que producen el mayor número de lotes, no a través de peces de mayor tamaño. En consecuencia, las estrategias que maximizan el valor presente de los beneficios operacionales son aquellas que generan una mayor productividad.

La comparación de las dos localizaciones analizadas muestra la existencia de diferencias competitivas derivadas de las condiciones medioambientales. La instalación localizada en las Islas Canarias muestra un mejor rendimiento económico en comparación con aquella localizada en el mar Mediterráneo, gracias a la mayor productividad obtenida por la primera. La mayor temperatura media del agua

proporciona unas mejores condiciones medioambientales para el crecimiento de los individuos en las Islas Canarias.

Se deben destacar algunas limitaciones del estudio. En la actualidad, el algoritmo solo optimiza el rendimiento económico de una sola jaula o unidad de producción. La dificultad del problema de optimización se incrementa exponencialmente cuando se considera más de una jaula. Además, se supone que al principio de cada lote, la jaula está vacía y que durante el proceso de cultivo no se pueden hacer despesques parciales. Adicionalmente, a pesar de que esta investigación no consideró el impacto de la variabilidad del precio en los mercados a lo largo de los años, este factor juega un papel clave en la determinación del rendimiento económico en la actividad acuícola (Forsberg y Guttormsen, 2006). Todos estos asuntos deberían ser abordados en investigaciones futuras.

A pesar de las limitaciones arriba mencionadas, el estudio también sugiere otras líneas de investigación. En particular, la localización óptima de una instalación de acuicultura, teniendo en cuenta el papel de las condiciones medioambientales y la distancia a los mercados como fuentes de ventajas competitivas. Finalmente, el algoritmo puede ser una herramienta de interés para la optimización económica de la producción de otras especies acuícolas importantes, como el salmón, el pez gato, la tilapia y para otros sectores relacionados con la acuicultura, como los seguros o las finanzas.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y a Puertos del Estado. También agradecer la lectura crítica del documento al Dr. Trond Bjørndal, director del *Centre for the Economics and Management of Aquatic Resources, Portsmouth* (UK), y al Dr. José Manuel Fernández Polanco, de la Universidad de Cantabria.

4.6. The competitive advantages arising from different environmental conditions in seabream, *Sparus aurata*, production in the Mediterranean Sea

The economic performance of gilthead seabream, *Sparus aurata*, aquaculture in Mediterranean countries is not homogeneous despite the availability of a universalized technology and the absence of trade barriers. Differences in competitiveness among aquaculture facilities result, in part, from economic and environmental factors, which are conditioned by the geographical location of the facility. This paper aims to identify and analyze the competitive advantages derived from the different environmental conditions in which seabream production has been developed along the Mediterranean Sea. A Particle Swarm Optimization algorithm based on a seabream bioeconomic model was applied to the economic optimization of multi-batch aquaculture production. The analysis involved hypothetical fattening farms located in the major areas in which this species is cultured. The water temperature was the only parameter that varied among locations. The average water temperatures in these locations were below the optimum growth temperature, around which growth progressively diminishes. The results of the study showed that the locations with higher average water temperatures and less variable water temperatures allowed the cultivation process to be more economically efficient. The seabream farms located in Greece and Turkey had a competitive advantage in terms of productivity and operating profitability due to more favorable environmental conditions.

4.6.1. Introduction

Aquaculture is a business whose management is highly complex due to the effects of both endogenous and exogenous variables. The interaction of biological, technical, environmental, economic, financial and market factors generates uncertainty about production and about the economic outcomes to be anticipated. Seabream, *Sparus aurata*, fish-farming in the Mediterranean Sea is an example of this complexity. Throughout the eighties and the nineties, techniques and technologies needed to grow seabream at a commercial scale were developed, and production increased exponentially. During this period, producers had unrestricted access to major markets and production technologies. However, despite the growing market demand, successive

supply shocks have occurred since the beginning of the past decade. The overproduction of seabream and seabass, *Dicentrarchus labrax*, motivated a drastic decrease in the market price in 2001 and 2002 (Gasca-Leyva et al., 2003) with a decrease in business performance, especially in Italy and Spain. These problems have had different effects in different production areas and have caused the bankruptcy of many businesses.

The location of production facilities influences business competitiveness due to the economic and environmental factors that affect the production process (Gasca-Leyva et al., 2002). There are many environmental factors that influence fish growth e.g., water temperature, salinity, light, and oxygen concentration dissolved in the water (Brett, 1979). Because environmental factors influence fish growth, they affect the time required for the fish to reach the desired commercial size. For this reason, environmental factors also affect the costs associated with the cultivation process. According to Stauffer (1973), three are the major independent variables involved in growth: ration size, fish weight, and the water temperature. Accordingly, one of the most frequently studied environmental factors is water temperature, viewed by several authorities as the most important environmental influence on growth and the feed conversion rate (Brett and Groves, 1979 and Hernández et al., 2007). This topic has been extensively studied in the case of seabream (Polo et al., 1991 and Mayer et al., 2008). In seabream production, optimum water temperature is near 25 ºC (Calderer, 2001 and Gasca-Leyva et al., 2002). Growth progressively diminishes above and below this temperature, until halting at the minimum temperature of 12 ºC, and the maximum of 32.9 ºC (Ravagnan, 1984 and Barnabe, 1991). Previous studies have examined the influence of location on fish-farming (Benetti et al., 2010) and, in the specific case of seabream, the contrasting impacts of environmental factors on the outcome of farming activity (Gasca-Leyva et al., 2002 and Llorente and Luna, 2012). This information is useful, e.g., for selecting the most appropriate location in environmental terms or for defining the competitive position of a farm relative to other producers or locations.

This paper aims to identify and analyze the competitive advantages associated with seabream production in the Mediterranean Sea as a result of the different environmental conditions in which production is developed in this geographical area. The analysis was conducted by defining a hypothetical fattening farm consisting of offshore cages. The economic, biological, technical, and environmental parameters affecting the cultivation process did not vary among locations, except for the water

temperature. Furthermore, the model used in the analysis was isolated from the influence of other factors with several assumptions. Some factors were not considered e.g., water composition, salinity, light and oxygen. Other factors considered were assumed fixed throughout the farming process because their analysis is not the purpose of the study e.g., feed composition and market price seasonality. Although these assumptions are a limitation of the study, the consideration of different average water temperatures allows to isolate the influence of this environmental factor on fish growth and feed ration for each of the locations.

Seabream production is represented by a bioeconomic model that is affected by biological, technical, environmental and economic factors. The production strategy is defined as a sequence of batches that generates an economic result. The approach used in this study differs from that taken by the previous studies cited above. Benetti et al. (2010) provided a descriptive review of the main site selection criteria that must be considered in offshore aquaculture; oceanographic, biological, and environmental among others. In the specific case of seabream, Gasca-Leyva et al. (2002) developed a bioeconomic model to evaluate the efficient farm size for different management decisions and location scenarios. The model was analyzed with a system dynamics methodology. Llorente and Luna (2012) contrasted how environmental factors among others, affect the profitability of the seabream companies. The empirical test was developed with a multivariate analysis. In the present study, an optimization technique that has not been used previously in aquaculture, termed Particle Swarm Optimization (PSO) (Kennedy and Eberhart ,1995 and Eberhart and Kennedy, 1995), was applied to fish-farming. For a finite time horizon and for given parameter values, PSO determines the optimal production strategy that maximizes operational profits. The initial time in the analysis is the stocking time of the first batch, and the final time in the analysis is the harvesting time of the last batch. The operational profits are calculated as the present value at time zero of the revenues minus the costs of the fingerlings and of feeding. The identification of differences in operating profitability among the locations studied allows the competitive advantages to be determined. Moreover, the analysis of different production strategies helps to explain how the environmental conditions in which seabream production is developed affect the competitiveness of seabream farms. This study also considers the rotation problem proposed by Bjørndal (1988), i.e., the considerations associated with successive culture cycles. In this context, the analysis in

this study furnishes new evidence relevant to the competitive advantages associated with aquaculture production in this production environment.

The paper is divided into four sections, including this introduction. In the Materials and Methods section, the bioeconomic model, the PSO algorithm and the data used are explained in detail. The next section presents the results obtained. The conclusions of the work are briefly summarized in the final section.

4.6.2. Materials and methods

4.6.2.1. The bioeconomic model

The purpose of bioeconomic analysis is to find the harvesting time that maximizes the present value of the operational profits for a given time horizon (Asche and Bjørndal, 2011). The bioeconomic model used in this study is integrated with a biological submodel of the process of farming in sea cages. The biological submodel is interrelated with an economic submodel. A multi-batch production process over a finite period of time is considered. In this formulation, the seeding time in each batch is influenced by the previous harvesting time. For this reason, the optimization of the production process is complex. The decision variables in the optimization problem are the time of seeding, the weight of fingerlings and the harvest weight.

The model includes three essential factors that influence fish growth. These factors are fish weight, water temperature and feed quantity. The model is isolated from the influence of other factors. To achieve this condition, several assumptions are made. These assumptions are described in this section of the paper. Because sea cage fish-farming is an open system, the producers cannot control any of the abiotic factors affecting the growth process in an economically efficient way (Brett, 1979). Feed composition is assumed fixed throughout the fish-farming process. Therefore, diet quality is not considered a decision variable for fish producers (Hernández et al., 2003). The optimal feeding trajectory has been studied in depth in numerous previous papers (Cacho et al., 1991; Heaps, 1993 and Mistiaen and Strand, 1999). Accordingly, it is assumed that the ration sizes recommended by feed suppliers are at optimal levels. The harvesting time and the harvesting weight are not independent variables because the harvesting time is determined by the moment at which fish are in the commercial size selected. Density levels and other limiting factors relating to these levels are

appropriate, so that growth is unaffected. The water quality is optimal. It is assumed that the maximum biomass density is equal to the maximum insurable value (Luna, 2002). Another relevant parameter in the breeding process that has not been considered is the dispersion in the weight of individuals (Tian et al., 2000).

The model assumes a continuous offer of fingerlings over the year (Gates and Mueller, 1975). A fixed seasonal pattern of market prices is assumed for the fish-farming process. It is assumed that all the fish are harvested at the same time. This assumption implies that the cage is completely empty at the time of seeding of each batch. There are no restrictions on labor, technology or environmental conditions that may affect seeding and harvesting. The model only considers operational decisions. Therefore, only variable costs, namely, fingerling costs and feed costs, are included in the analysis. It is assumed that the remaining costs are not directly influenced by the production level and can be assigned using an allocation key, i.e., a basis that is used to allocate costs. The allocation key is a quantity, such as the kilograms of fish produced or the number of fish harvested. Those cost that are not considered variable such as labor, can be assigned to each of the batches in a cultivation process in function for example of the quantity of fish produced in each batch.

The biological model simulates the breeding process over time: the fingerlings are released, and the fish are fed depending on their weight and the water temperature. Over time, the number of fish changes due to natural mortality. As a result, a proportion of the fish stocked reach market size (Bjørndal, 1988). The biological model follows the principles of fish physiology, as first considered in a model of the growth of salmonids (Stauffer, 1973). It consists of three interrelated processes: seeding, fattening and mortality. The nomenclature used in the bioeconomic model is available in Table 39.

The number of fingerlings released is calculated to obtain the maximum biomass density (D_{max}) at harvesting time. This calculation includes considerations of natural mortality during the breeding process and the average weight at harvesting time. The number of fingerlings released in each batch is expressed as in Equation 36 (Table 40).

The growth of the fish is calculated from information on feeding and is a function of the water temperature and the average weight of the fish (Brett and Groves, 1979). The change in weight over time is simulated by the expression in Equation 37. The

Table 39. Nomenclature used in the bioeconomic model.

B	Total number of batches	$p_s(w_{0,b})$	Fingerling price at seeding time in batch *b*
b	Batch	$q_h(t_{h,b})$	Seasonality of sales price at harvesting time in batch *b*
C_b	Cost of production at batch *b*	$q_s(t_{0,b})$	Seasonality of fingerling price at seeding time in batch *b*
$C_{f,b}$	Feeding cost at batch *b*	R_b	Revenues at batch *b*
$C_{r,b}$	Fingerling cost at batch *b*	$SGR\ (T_t\ ,\ w_t)$ $SGR\ (T_k\ ,\ w_k)$	Specific growth rate at time t and *k* respectively
D_{max}	Maximum biomass density	$s_{h,b}$	Survival rate at harvesting time in batch *b*
$DF\ (t)$	Discount factor	s_t	Survival rate at time *t*
$DF\ (t_{h,b})$	Discount factor from harvesting time at batch *b* to *time zero*	$T_t\ ,\ T_k$	Water temperature at time *t* and *k* respectively
$DF\ (t_{0,b})$	Discount factor from seeding time at batch *b* to *time zero*	$T_{k,b}$	Water temperature at time *t* in batch *b*
$DF\ (k_b)$	Discount factor from time *k* to *k* = 0 at batch *b*	t	Interval of time considered
$F(T_{k,b}\ ,\ w_{k,b})$	Feeding rate at time *k*, batch *b*	$t_{h,b}$	Harvesting time at batch *b*
i	Rate of return	$t_{0,b}$	Seeding time at batch *b*
$m_t\ ,\ m_k$	Mortality rate at time *t* and *k* respectively	w_h	Harvesting weight
$N_{s,b}$	Number of fingerlings released at batch *b*	$w_{h,b}$	Harvesting weight at batch *b*
$N_{h,b}$	Number of fish harvested at batch *b*	$w_t\ ,\ w_k$	Fish weight at time *t* and *k* respectively
$N_{k,b}$	Number of fish at time *k* in batch *b*	$w_{k,b}$	Fish weight at time *k* in batch *b*
$p_f\ (w_{k,b})$	Feed price at time *k* in batch *b*	w_0	Fingerling weight at seeding time
$p_h(w_{h,b})$	Sales price at harvesting time in batch *b*	$w_{0,b}$	Fingerling weight at seeding time in batch *b*

information needed to determine the specific growth rate is obtained from the average[15] of the feeding tables provided by feed suppliers (Rizzo and Spagnolo, 1996). These

[15] The feed supply used for fattening seabream is very broad. Therefore, to avoid including more complexity in the model and because the objective is not to determine the most appropriate feed, an average values from several feedstuffs are used.

tables depend on the weight of the fish and the temperature of the water. The tables indicate the optimal feed ration and the resulting growth rate. These data allow the simulation of fish growth based on the same information often used by fish farmers. The average weight of the individuals at time *t*, w_t, is then given by Equation 38. The suffix *k* represents each time interval between the time of seeding (t_0) and the harvesting time (t_h). At the harvesting time, the average fish weight w_h is given by Equation 39.

The survival of individuals depends on the biomass density, the fish weight and the environmental conditions. In certain papers, such as Arnason (1992), the mortality rate is assumed constant over time. In the current study, the concentration of individuals is given a fixed value, mortality in a given period is specified in Equation 40, and the survival at the beginning of *t* is specified in Equation 41.

Table 40. Bioeconomic model for seabream production.

	Biological submodel		Economic submodel
(36)	$N_{s,b}=\frac{D_{max}}{w_{h,b}s_{h,b}}$	(42)	$Max\ \pi = \sum_{b=1}^{B}(R_b\ DF\ (t_{h,b}) - C_b\ DF\ (t_{0,b}))$
(37)	$w_{t+1}= w_t\ (1+SGR(T_t\ , w_t))$	(43)	$DF(t) = (1+i)^{-t/360}$
(38)	$w_t= w_0 \prod_{k=0}^{t-1}(1+SGR(T_k\ , w_k))$	(44)	$R_b= N_{h,b}\ w_{h,b}\ \ p_h(w_{h,b})\ q_h(t_{h,b})$
(39)	$w_h= w_0 \prod_{k=0}^{h-1}(1+SGR(T_k\ , w_k))$	(45)	$N_{h,b}= N_{s,b}\ s_{h,b}$
(40)	$m_t= MOR(T_t\ , w_t)$	(46)	$C_b= C_{r,b} + C_{f,b}$
(41)	$s_t=1-\prod_{k=0}^{t-1} m_k$	(47)	$C_{r,b}= N_{s,b}\ \ p_s(w_{0,b})\ q_s(t_{0,b})$
		(48)	$C_{f,b}= \sum_{k=0}^{h-1} N_{k,b}\ w_{k,b}\ F\ (T_{k,b}\ ,w_{k,b})\ p_f\ (w_{k,b})\ DF\ (k_b)$

The parameters selected for the decision variables produce interactions in the biological processes. The seeding date determines the water temperature during the fish-farming process. The temperature, together with the weight of the fingerlings released, determines the growth and mortality of the fish. Finally, the harvest weight selected determines the harvesting time. Because the water temperature and feeding rates are

considered deterministic, the moment of seeding and the weight of the fingerlings define a single trajectory of growth until the selected harvest weight is attained.

The economic model is a maximization problem based on an objective function. The optimization of the objective function involves the income and the operational costs and can be expressed as in Equation 42. To calculate the present value of the operational profits at *time zero*, each cash flow is multiplied by the corresponding discount factor *DF* (*t*), calculated as in Equation 43. The parameter *i* is the annual cost of capital and is used as the rate of return. It is based on 12 months of 30 days for a year of 360 days. The seeding time of the first batch is defined as *time zero*.

The revenues for a batch are expressed by Equation 44. The parameter $q_h(t_h)$ is a function that returns a factor to include the effect of the seasonality of the sale price. The sale price depends on the commercial size of the fish and on the time of the year at which the fish are sold. The number of fish harvested is expressed by Equation 45.

The total cost of each batch is given by Equation 46, in which C_r is the cost of fingerlings and C_f is the cost of feed. The cost of fingerlings for a batch is given by Equation 47, where $q_s(t_0)$ is the function that returns a factor to include the effect of seasonal variation on the price of fingerlings. The feed cost depends on the feed price and the amount of food provided to the fish. The feed price is a function of fish weight. The amount of food is obtained by multiplying the number of fish that are in the cage at feeding time by the ration size. It is assumed that the fish are fed at least once a day. This assumption is consistent with the period of analysis, which is divided into discrete intervals of one day. The feed cost of a batch is expressed by Equation 48. The parameter $F(T_{k,}, w_{k,})$ is the function that returns the feeding rates, which are expressed as a percentage of fish weight. A discount factor is also included because it is assumed that the feed is purchased when it is provided to the fish. Therefore, the cost of food in each time interval is discounted to $k = 0$, and *DF* (k_b) is the corresponding discount factor.

4.6.2.2. Particle Swarm Optimization algorithm for aquaculture production

PSO algorithms are population-based metaheuristic techniques. Initially developed to simulate social behavior, they were subsequently investigated in depth by

many authors[16] and successfully applied in many research fields[17] (Poli et al., 2007). The PSO algorithm is an iterative and stochastic process based at each stage on a group of individuals termed particles placed in a search space for a given problem or function. The particles move in successive iterations through cooperation and competition between individuals of the population. To obtain a new position in the search space, a particle moves from one position to another after adding the vector v_i to the vector x_i:

$$x_i \leftarrow x_i + v_i \tag{49}$$

The x_i vector contains the current state of the particle in the search space. The velocity vector (v_i) indicates the direction and length of the displacement of the particle. Each particle adjusts its speed and position according to the following expressions:

$$v_i^{t+1} = v_i^t + \varphi_1 r_1^t (pb_i^t - x_i^t) + \varphi_2 r_2^t (pg_i^t - x_i^t) \tag{50}$$

$$x_i^{t+1} \leftarrow x_i^t + v_i^{t+1} \tag{51}$$

where φ_1 and φ_2 are parameters that weight the importance of the personal experience of the particle and the global experience of the neighborhood, respectively. Parameters r_1^t and r_2^t are two random numbers between zero and one. Parameters pb_i and pg_i are position vectors that represent the best position that each particle and their sets of neighboring particles have found to date in the search space, respectively. In each iteration the position vector pb_i is updated comparing the position reached by the particle at the present iteration with the best position that the particle has achieved so far. At the same time, pg_i is updated comparing the best position reached by the neighboring particles at the present iteration with the best position that the neighboring particles have achieved so far. The update of the velocities given by the above expression involves three components. The *inertial* component, modeled by the factor v_i^t, records the previous address of the particle and prevents drastic changes in direction. The *cognitive* component is modeled by the factor $\varphi_1 r_1^t (pb_i^t - x_i^t)$ and directs the particle towards the best solution in the past. The *social* component is modeled by the factor $\varphi_2 r_2^t (pg_i^t - x_i^t)$ and directs the particle towards the best position found by its neighboring particles. The iterative process continues with successive iterations until a stopping criterion is met.

[16] For more information about studies that develop the PSO algorithm see (Poli et al., 2007).
[17] For the interested reader, a complete list of PSO applications in different areas of knowledge is available in (Poli et al., 2007).

This study models the final stage of marine cage culture, i.e., the fattening of the fingerlings to commercial size. Each particle of the population in the search space represents a production strategy that generates an economic result. According to the general scheme of all PSO algorithms, each particle i is associated with a position vector x_i that represents the corresponding production strategy. The structure of each of these i vectors is described in each of the t iterations of the algorithm, as follows:

$$x_i^t = \begin{pmatrix} re_{i,1}^t & pa_{i,1}^t & pd_{i,1}^t \\ re_{i,2}^t & pa_{i,2}^t & pd_{i,2}^t \\ re_{i,3}^t & pa_{i,3}^t & pd_{i,3}^t \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ re_{i,n}^t & pa_{i,n}^t & pd_{i,n}^t \end{pmatrix} \tag{52}$$

where n is the maximum number of batches produced in the time horizon associated with the management plan. For b batches, $re_{i,b}^t$ represents the number of days since the previous harvest process, $pa_{i,b}^t$ represents the fingerling weight, and $pd_{i,b}^t$ represents the objective harvest weight of the fish. The position vectors x_i and the velocity vectors v_i^t are initiated with random values within a predetermined range. Each position of the particle evaluates the objective function and determines a profit, considered the sum of the profits of all the batches. These processes must be performed entirely within the established time horizon. If the harvest time of a batch corresponds to a later date, the profit of this process is void. At present, the algorithm optimizes only a single cage.

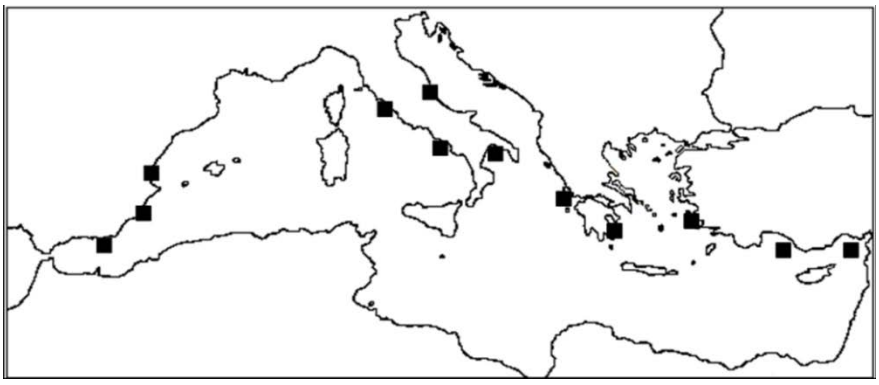
The objective function is obtained by substituting Equations (43) to (48) in (42). Accordingly, the operational profits can be expressed in terms of seven variables. The state of the production at any time t is described by the state variables w_t, N_t, m_t and T_t. The fish farmer, in this case the algorithm, must determine the values of the decision variables (t_0, w_0, w_h) for each batch. The harvest time is obtained in terms of these three decisions. The time of seeding in batch b, $t_{0,b}$, is adjusted by the algorithm considering the harvest time of the previous batch, $t_{h,b\text{-}1}$, and the number of days since the previous harvest process $re_{i,b}^t$. In the case of the first batch, $t_{h,b\text{-}1}$ is replaced by the date of the beginning of the time horizon analyzed.

Models for simulation and optimization were implemented in a software developed ad hoc for this study, using the Integrated Development Environment (IDE) Netbeans.6.7.1 with Java programming language and MySQL database connectivity.

4.6.2.3. Production data and algorithm parameters

The hypothetical fattening farms are located at 12 sites in Spain, Italy, Greece and Turkey (Figure 25). The monthly average water temperatures in degrees Celsius (ºC) for each location were obtained from MEDATLAS 2002 and are presented in Appendix A. The water temperature ranges between 13 ºC registered in eastern Spain and northeastern Italy in February and March, and 27 ºC registered in southeastern Turkey in August and September. Therefore water temperatures used in this study were within the range in which seabream production is possible.

Figure 25. Geographical position of the fish farms at the 12 locations analyzed. Left to right: Southern Spain, southeastern Spain, eastern Spain, northwestern Italy, southwestern Italy, southeastern Italy, northeastern Italy, western Greece, southern Greece, western Turkey, southern Turkey and southeastern Turkey.



The cultivation conditions assumed for the fish farm in the model are an interest rate of five per cent, a maximum biomass density of 20 kilograms kg/m^3 and a cage with a production capacity of 5,000 m^3. The fingerling prices were determined through consultation with different Spanish producers. The data of the feed used in this analysis to obtain the average of the feeding tables provided by feed suppliers are based on information obtained from the following companies: PROaqua (Mistral 21), Skretting (Basic and Power), DIBAQ (Ecoprime and Ecomar) and Acuibream (5, 6, 7, and 8). The assumed sales prices in euro €/kg correspond to the most frequent prices of the seabream during 2009 in Mercamadrid (Spain). The time horizon considered for the analysis is five years, beginning on 1 January 2012. The allowable weight of the fingerlings was set between three to 10 grams, and the harvest weight was set between 300 g and 700 g. Full details on the data are presented in Appendix C.

The algorithm was specified to use a maximum of 15 iterations without finding an improved solution and a population of 80 particles with a neighborhood of 20 particles. That is, the algorithm starts with 80 random position vectors x_i, and each particle at the moment of update its position in the search space exchanges information with the 20 previous and subsequent position vectors, according with a ring neighborhood topology (Li, 2010).

The values of the *inertia*, *cognitive* and *social* weighting parameters were 1.0, 0.4, and 1.0, respectively. These values are a particular problem due to their influence on the behavior of the PSO algorithm. Presently, there are no set standard values for the weighting parameters. The usual criterion is to set the values according to the dimension of the search space and the perceived difficulty of the problem (Poli et al., 2007).

4.6.3. Results and discussion

The results of the optimization of seabream production in the twelve locations analyzed with the selected parameters values reveal different cultivation strategies in the main production areas of the Mediterranean Sea. The number and weight of fingerlings, the number of days of culture and the number and size of the fish harvested differ not only among locations but also among the batches cultured in the same location. The analysis of the production results reveals a contrast between two major production areas, western Mediterranean and eastern Mediterranean. Differences in the water temperature between these two areas produce differences in the cultivation strategies that maximize the operational profits.

4.6.3.1. Optimal seabream production in the western Mediterranean

The production areas in the western Mediterranean (Table 41) include locations in Italy and Spain with an average water temperature between 17.5 ºC and 19 ºC and a standard deviation of water temperature between 2.73 ºC and 4.32 ºC. In this region, the optimal production strategy allowed the development of three batches in the period analyzed except in northeastern Italy, where only two batches could be developed. In this area, the location with the best economic result was southwestern Italy, where the three batches that were developed produced a total of 299,793 kg of seabream and obtained an operational profit of 789,541 €. In contrast, the poorest economic result was obtained for northeastern Italy, where the two batches developed produced a total of

199,640 kg of seabream and obtained an operational profit of 524,151 €. The average production harvested in the western locations at the end of the five years analyzed was 285,018 kg. In economic terms, the average of the operational profits obtained from the production of the farms was 681,895 €.

4.6.3.2. Optimal seabream production in the eastern Mediterranean

The production in the eastern Mediterranean (Table 42) includes locations on the coasts of Greece and Turkey with an average water temperature between 19 ºC and 22 ºC and a standard deviation of temperature between 3.55 ºC and 3.93 ºC. In this area, the optimal production strategy allowed the development of four batches in the period analyzed except in the case of the southeastern Turkish coast, where five batches where produced. In this area, the location that obtain the best economic result was southeastern Turkey, where a total of 499,070 kg of seabream that generated an operational profit of 1,257,886 € were produced. The poorest economic result in this area was obtained in western Greece, where the four batches that were developed produced a total of 397,478 kg of seabream and obtained an operational profit of 857,819 €. The average production harvested in the eastern locations analyzed was 418,195 kg, and the average of the operational profits obtained from this production was 1,013,399 €. These averages are 46 per cent and 48 per cent greater, respectively, than the averages obtained in the western area. The quantity produced and the operational profits in the poorest location of the eastern area were both greater than those of the best location in the western area.

4.6.3.3. Influence of the average water temperature in competitiveness

The best and the worst result for the economic optimization of production were recorded in northeastern Italy and southeastern Turkey, respectively. These facilities correspond to the lowest and the highest average water temperature, respectively, considered in the study. The comparison of the operational profits with the average water temperature for the remaining locations shows that in the example developed, the economic result is greater when the average water temperature is higher. This finding is consistent with previous results obtained by Hernández et al. (2007) that identified a positive effect of an increase in the average water temperature during the year on the size at harvest. Such a size increase can produce a competitive advantage, as larger sizes are generally more valued in the market. However, only a batch cultivation process was

Table 41. Data of the optimal strategies for the locations analyzed in the western Mediterranean.

Location	Variable	Batch 1	Batch 2	Batch 3	Location	Batch 1	Batch 2	Batch 3
Southern Spain	Batch (days)	604	661	468	Southwestern Italy	485	709	416
	Harv. Weight (g)	303	300	300		301	511	302
	Individuals	329,021	332,634	331,712		331,946	195,687	330,732
	Profits (€)	201,400	230,697	181,378		246,207	304,271	239,063
	Total production (kg)		298,997				299,793	
	Total profit (€)		613,475				789,541	
Southeastern Spain	Batch (days)	483	720	410	Southeastern Italy	576	679	418
	Harv. Weight (g)	300	507	300		300	436	300
	Individuals	332,577	197,003	333,190		331,672	228,823	331,980
	Profits (€)	236,232	303,887	231,178		239,722	274,482	231,962
	Total production (kg)		299,611				298,862	
	Total profit (€)		771,297				746,166	
Easter Spain	Batch (days)	518	645	450	Northeastern Italy	877	784	-
	Harv. Weight (g)	300	354	300		396	500	-
	Individuals	332,759	282,449	331,003		251,902	199,773	-
	Profits (€)	220,458	255,660	217,139		256,571	267,580	-
	Total production (kg)		299,116				199,640	
	Total profit (€)		693,257				524,151	
Northwestern Italy	Batch (days)	596	668	459				
	Harv. Weight (g)	300	300	300				
	Individuals	332,148	333,142	331,731				
	Profits (€)	207,736	231,723	195,919				
	Total production (kg)		299,106					
	Total profit (€)		635,378					

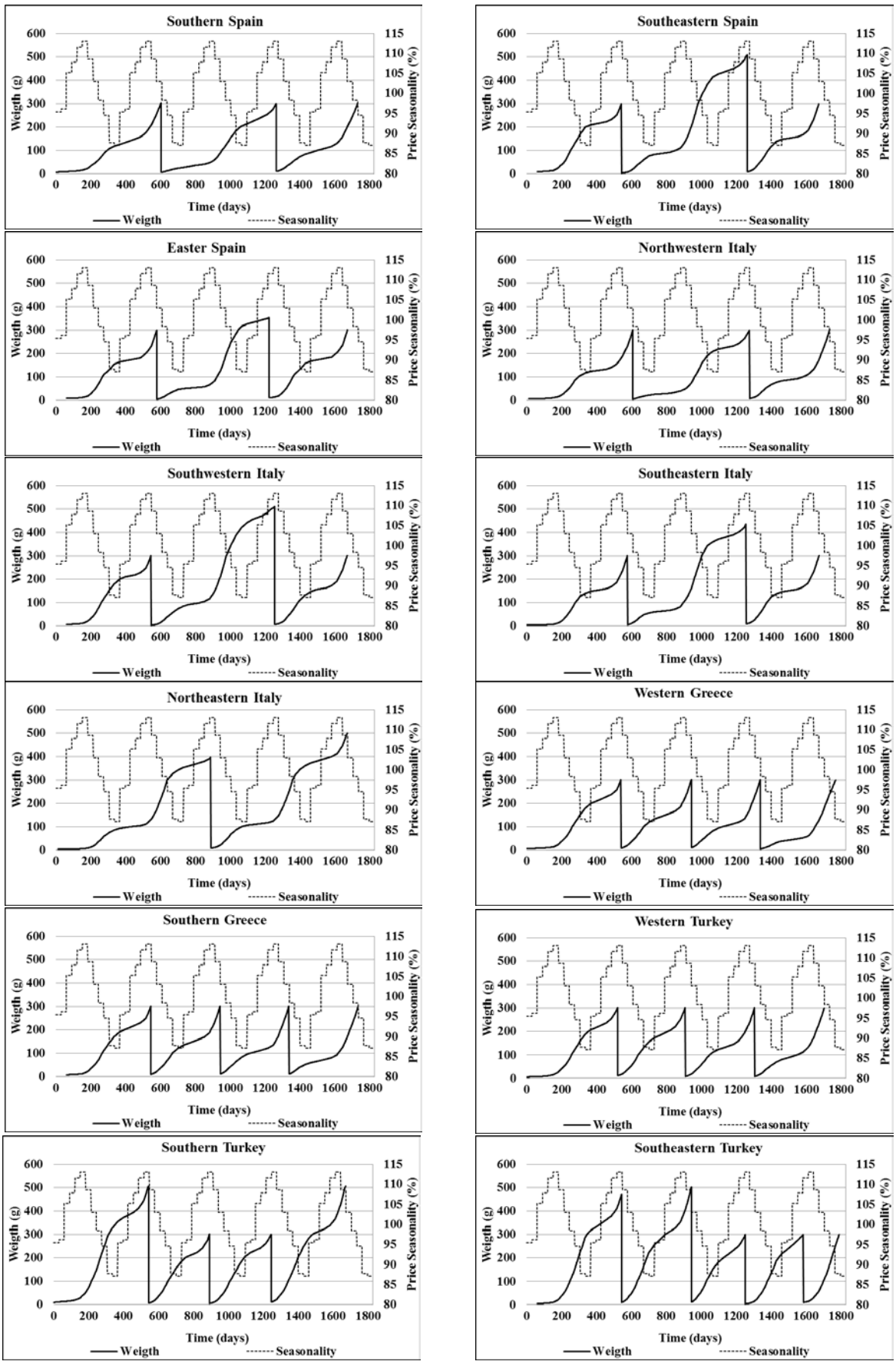
considered in the study of Hernández et al. (2007). Therefore, the maximum amount that could be produced was limited by the size of the cage and by the maximum biomass density. Consequently, the effect of environmental conditions on the productivity of seabream aquaculture was not considered. In this study, under a multi-batch production system and with a finite time horizon, the results show that the positive effect of water temperature on the growth of fish results not only in larger sizes but also in the production of a greater number of batches. Table 41 and Table 42 show that in most cases, as Gasca-Leyva et al. (2002) previously demonstrated, those batches that produced larger fish reached higher operational profits. However, if the period analyzed corresponds to more than a single batch, the operational profits also depend on the quantity of seabream produced. The results of this study differ from previous results because this study showed that the primary competitive advantage enjoyed by the farms that obtained a better economic result is the higher productivity achieved.

Given the parameters used in this example, the optimal production strategy in all locations is to harvest and market the product at the time of year when the product commands a higher price (Figure 26). To achieve this goal, it is necessary to continue feeding the fish during the period in which growth decreases and to harvest when the growth rate increases and the other fish farmers reduce the supply of seabream. All batches in each of the locations produced the maximum amount allowed by the maximum biomass density established. These production levels are close to 100,000 kg in this case. However, despite the use of the same production resources and the same period of time, not all locations produced the same number of batches or harvested the same fish weight (Table 41; Table 42; Figure 26). Eastern Mediterranean seabream farms produced more batches than the farms in the western area during the same period, resulting in a greater operating profitability. Moreover, the operational profits are higher if a farm develops the same number of batches but reaches greater harvest weights because of the higher market price that large sizes commonly command. For example, the greater average water temperature in southern Turkey relative to Greece and western Turkey allowed two of the four batches to be harvested with fish weights of 500 g instead of 300 g. In this case, the production result was similar, approximately 400,000 kg, but the operational profits were higher due to the higher price commanded by 500 g fish.

Table 42. Data of the optimal strategies for the locations analyzed in the eastern Mediterranean.

Location	Variable	Batch 1	Batch 2	Batch 3	Batch 4	Location	Batch 1	Batch 2	Batch 3	Batch 4	Batch 5
	Batch (days)	539	403	395	432		543	348	354	427	-
	Harv. Weight (g)	300	300	300	300		506	300	300	506	-
Western	Individuals	331,236	330,740	330,617	332,335	Southern	197,566	331,192	332,973	197,165	-
Greek	Profits (€)	247,600	236,655	211,885	161,679	Turkey	306,308	258,987	253,464	288,269	-
	Total production (kg)		397,478						398,983		
	Total profit (€)		857,819						1,107,028		
	Batch (days)	485	397	395	397		484	399	308	333	205
	Harv. Weight (g)	300	300	300	300		470	500	300	300	300
Southern	Individuals	331,373	330,464	330,472	332,431	Southeastern	212,025	199,179	333,273	333,058	333,099
Greek	Profits (€)	247,081	233,317	211,583	194,558	Turkey	292,683	291,597	249,203	263,095	161,308
	Total production (kg)		397,422						499,070		
	Total profit (€)		886,539						1,257,886		
	Batch (days)	520	387	397	399						
	Harv. Weight (g)	300	300	300	300						
Western	Individuals	331,971	331,385	330,673	332,702						
Turkey	Profits (€)	252,911	243,512	240,587	220,714						
	Total production (kg)		398,019								
	Total profit (€)		957,724								

Figure 26. Evolution of fish weight and of the seasonality of fish price over the period of analysis.

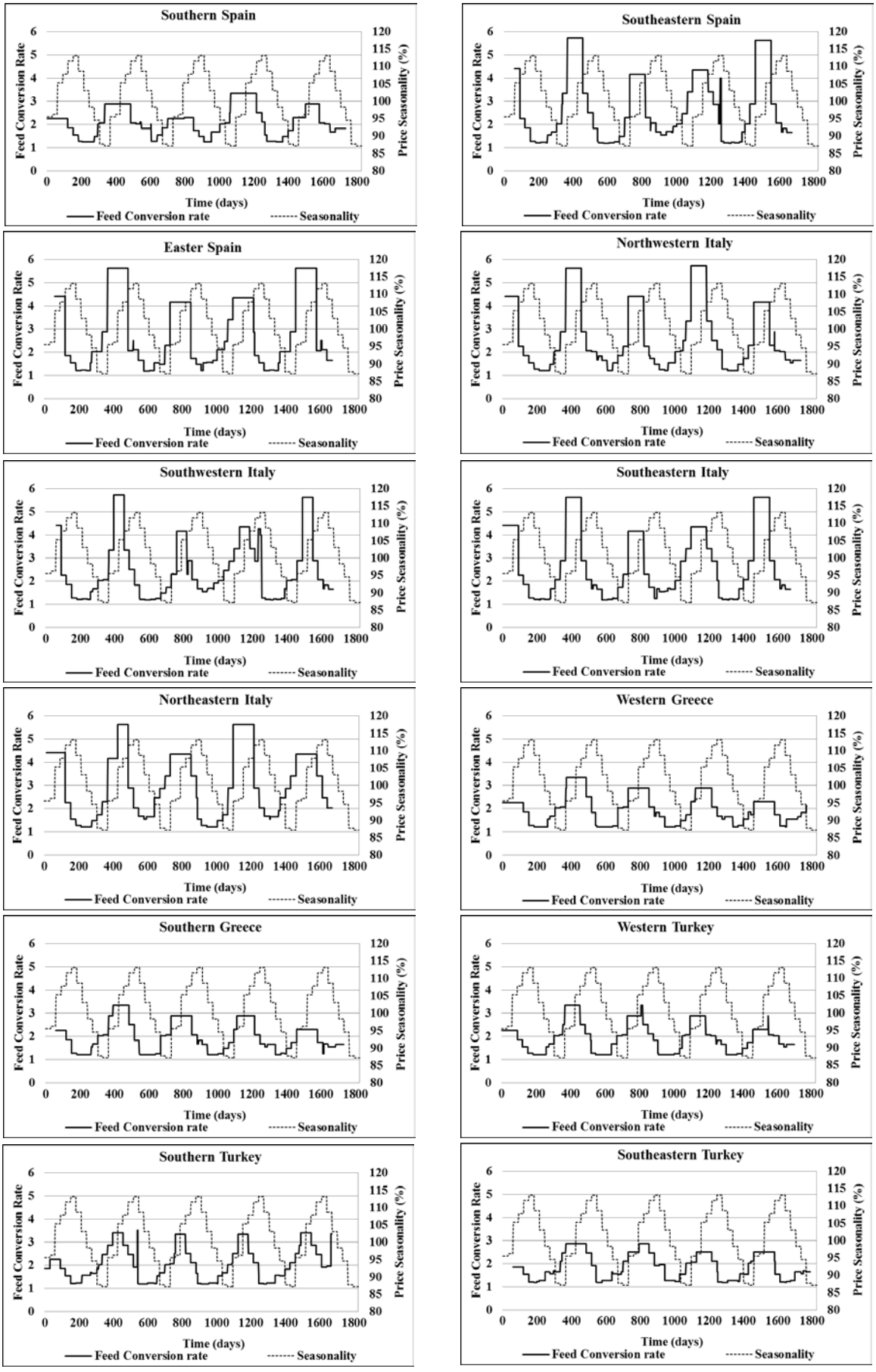


4.6.3.4. Influence of the water temperature variability in competitiveness

Another factor that influenced the production results is the range of water temperatures. The production strategy was affected by the variability in the water temperature during the year due to the effect of the water temperature on the growth rate. During the months of the year with the highest temperatures, the growth of the fish was more rapid. However, fish growth was slower or even stopped during cold-water periods. A lower range of temperatures allowed more continuous growth of the fish during the year. This result is consistent with that obtained by Gasca-Leyva et al. (2002), who found that the lower range of water temperatures in the Canary Islands than in the Mediterranean Sea provides a competitive advantage to the producers located on the islands. This study demonstrates that the different ranges of water temperatures are also a source of differences in the competitiveness of the different seabream production areas in the Mediterranean Sea. An example is furnished by the production in the Spanish and Italian southeast and the Spanish east coast. The average water in all three locations is approximately 18.5 ºC. The variability of water temperature throughout the year at these three locations is the greatest among all the sites studied, with a standard deviation of 4.10 ºC, 4.12 ºC and 4.32 ºC, respectively. The optimal strategy of production is to develop three batches in all three locations. However, the economic result is lower as the variability of the temperature increases, i.e., 771,297 €, 746,166 €, and 693,257 €, respectively.

The analysis of the feed conversion rate, whose evolution is shown in Figure 27, helps to explain how the variability of the water temperature affects seabream production and the economic results. The feed conversion rate is a measure of the fish efficiency in converting feed mass into increased body mass and is calculated as the mass of the food eaten divided by the body mass gain. The lower the value of the rate, the greater the efficiency of cultivation. The evolution of the seasonality of seabream prices provides information about the behavior of the industry. The graphs in Figure 27 show that if the feed conversion rate begins to increase due to lower water temperatures, the market price of seabream also begins to decrease. This result is consistent with the tendency of the industry to increase the supply of product to avoid feeding the fish in the months that seabream grows less rapidly. In contrast, at the time that temperature

Figure 27. Evolution of the feed conversion rate and of the seasonality of its price.



begins to increase and the feed conversion rate is reduced, producers begin to reduce the supply of seabream. As a result, the market price increases.

If the optimal strategy for all the locations requires feeding the fish during the period of cold water temperatures, the results show that the firms with higher average water temperatures during the winter months are more efficient due to the better feed conversion rate that they achieve. As seen in the graphs, the feed conversion rate increases during the winter in those locations of the western Mediterranean where the water temperature is colder and the monthly average is less than 15 ºC. These locations include southeastern Spain, eastern Spain, northwestern Italy, southwestern Italy, southeastern Italy, and northeastern Italy. During the periods of cold water temperatures in these locations, the feed conversion rates reached almost six grams of feed per g of fish produced. In contrast, the feed conversion rates were maintained throughout the year in the eastern Mediterranean at approximately one to three grams of feed per gram of fish produced. These results indicate that aquaculture companies in the eastern Mediterranean achieve faster growth of the seabream due to higher water temperatures during the winter months. This growth advantage allows them to develop a greater number of batches and / or to harvest heavier fish than the competitors of these companies located in the western Mediterranean.

4.6.4. Conclusions

Given the assumptions and parameters of the simulation analyzed in this work, the results of the analysis show that the differences in water temperature between the major seabream production areas in the Mediterranean Sea are a source of competitive advantages for fish farms. The consideration of multi-batch production provides information about the effect of environmental conditions on productivity and operating profitability. This relationship has not been considered in previous works. A higher average water temperature produces more rapid growth of the individual fish, resulting in more batches and in higher harvesting weights that yield greater economic returns due to the higher market price. In particular, the greatest operating profitability for a given time period results from the production of the highest possible number of batches. A lower variability of water temperature during the year implies that the temperature decrease during the winter is smaller, resulting in a better feed conversion rate. Therefore, in a context of an optimal production strategy that requires feeding the fish

during periods of colder waters, those locations with a higher average temperature during the winter months have a competitive advantage associated with the greater efficiency of the feeding process.

The production and economic results determined by this study served to identify two principal areas for seabream cultivation in the Mediterranean Sea. The farms located on the Mediterranean coasts of Greece and Turkey operate under better environmental conditions, and these conditions create a competitive advantage relative to the farms located on the Mediterranean coasts of Spain and Italy. The higher average water temperature allows the eastern seabream farms to achieve a higher level of productivity than their competitors in the western Mediterranean through the cultivation of a greater number of batches. This positive effect of environmental conditions yields a greater operating profitability for the eastern farms. Moreover, the lower variability of water temperature in the eastern Mediterranean farms allows their feed conversion rate to remain stable throughout the year, whereas a stable feed conversion rate is not achieved by the farms located in Spain and Italy. In addition to the more rapid growth of the fish, the superior feed conversion rate during the winter periods allows the farms in Greece and Turkey to be more cost-effective than their competitors.

Several limitations of our study should be noted. As indicated by Hernández et al. (2007), the water temperature is a particular environmental condition influencing growth in marine cages. For this reason, the conclusions of this study cannot be extrapolated directly to any other environmental variables. The positive effects from an increased average water temperature on the operational profits are valid until reach the optimum water temperature for seabream growth. From this optimum temperature, growth progressively decreases, and the conclusions of this study are not applicable. The distance to the markets is an additional variable not considered in the model. However, this cost can be assigned to the product with an allocation key, and it should be considered in future studies to analyze the relationship between the competitive advantages resulting from environmental conditions and those resulting from the distance to the seabream markets. The greatest distance to the European markets from the farms in the eastern Mediterranean can represent a competitive disadvantage that outweighs the increased competitiveness produced by the superior environmental conditions. A comparison of the effects of these two factors would help to identify the areas of the Mediterranean Sea that are the most suitable locations for seabream farms.

Acknowledgments

The authors acknowledge the support provided by the personnel of the Centre for the Economics and Management of Aquatic Resources (CEMARE) notably its Director, Trond Bjørndal.

4.7. Análisis de las ventajas competitivas generadas por las diferentes condiciones medioambientales en la producción de dorada (*Sparus aurata*) en el mar Mediterráneo (Versión en español)

El rendimiento económico del cultivo de la dorada (*Sparus aurata*) en los países mediterráneos no es homogéneo a pesar de la disponibilidad de una tecnología de producción universalizada y de la ausencia de barreras comerciales. Las diferencias de competitividad entre las empresas proceden en parte de los factores económicos y medioambientales, los cuales están condicionados por la localización geográfica de las instalaciones de producción. Este estudio tiene por objetivo identificar y analizar las ventajas competitivas derivadas de las diferentes condiciones medioambientales en las cuales se ha desarrollado el cultivo de dorada a lo largo del mar Mediterráneo. Para ello se utiliza un algoritmo de optimización de enjambre de partículas basado en un modelo bioeconómico del cultivo de dorada para la optimización económica de un proceso multi-lote de producción acuícola. El análisis considera 12 hipotéticas granjas de engorde localizadas en las principales áreas en las que se cultiva esta especie. La temperatura del agua es el único parámetro que varía entre localizaciones. Las temperaturas medias del agua registradas en estas localizaciones se encuentran por debajo de la temperatura óptima de crecimiento, alrededor de la cual el crecimiento del individuo disminuye progresivamente. Los resultados del estudio muestran que las localizaciones con una mayor temperatura media del agua y con una menor variabilidad de la misma permiten el desarrollo de procesos de cultivo más eficientes desde el punto de vista económico. Las granjas de cultivo localizadas en Grecia y en Turquía tienen una ventaja competitiva en términos de productividad y rentabilidad operativa debido a unas condiciones medioambientales más favorables.

4.7.1. Introducción

La acuicultura es una actividad empresarial cuya gestión es muy compleja debido a los efectos que tanto variables endógenas como exógenas tienen sobre la misma. La interacción de factores biológicos, técnicos, medioambientales, económicos y financieros genera incertidumbre sobre los resultados de la producción, así como sobre los rendimientos económicos esperados. El cultivo de la dorada en el mar Mediterráneo es un ejemplo de esta complejidad. Durante los años ochenta y los años noventa se

desarrollaron y perfeccionaron las técnicas y tecnologías necesarias para el cultivo de la dorada a escala comercial, y la producción creció exponencialmente. Durante este periodo, los productores tuvieron acceso ilimitado a los principales mercados de comercialización y las principales tecnologías de producción. Sin embargo, a pesar de una demanda de producto creciente, se han producido sucesivas situaciones de sobreoferta desde los comienzos de la pasada década. La sobreproducción de dorada y lubina (*Dicentrarchus labrax*) generó drásticas caídas en los precios de comercialización en los años 2001 y 2002 (Gasca-Leyva et al., 2003), lo que propició reducciones en la rentabilidad de las empresas, especialmente aquellas localizadas en España e Italia, donde numerosas empresas abandonaron la actividad. Estos problemas han tenido diferentes consecuencias en las distintas áreas de producción.

La localización de las instalaciones de producción influye sobre la competitividad empresarial como consecuencia de los factores económicos y medioambientales que inciden sobre los procesos de producción (Gasca-Leyva et al., 2002). Existen numerosos factores medioambientales que influyen sobre el crecimiento de los peces, por ejemplo, la temperatura del agua, la salinidad, la luz, o la concentración de oxígeno disuelta en el agua (Brett, 1979). Dado que los factores medioambientales influyen en el crecimiento del pez, también afectan al tiempo que se requiere para que el pez alcance el tamaño comercial deseado. Por esta razón, los factores medioambientales también afectan a los costes asociados con el proceso de cultivo. Según Stauffer (1973), tres son las principales variables que intervienen en el crecimiento: el tamaño de la ración de alimento, el peso del pez y la temperatura del agua. En consecuencia, una de las variables medioambientales más estudiadas es la temperatura del agua, considerada por varios autores como el factor medioambiental que más influye en el crecimiento y en la tasa de conversión del alimento de los peces (Brett y Groves 1979 y Hernández et al., 2007). Este factor ha sido extensamente estudiado en el caso de la dorada (Polo et al., 1991 y Mayer et al., 2008). En el cultivo de dorada, la temperatura óptima del agua está próxima a los 25 ºC (Calderer, 2001 y Gasca-Leyva et al., 2002). La tasa de crecimiento disminuye progresivamente por encima y por debajo de esta temperatura, hasta detenerse a una temperatura mínima de 12 ºC y una máxima de 32,9 ºC (Ravagnan, 1984 y Barnabe, 1991). Trabajos anteriores han estudiado la influencia de la localización en el cultivo de peces (Benetti et al., 2010), y en el caso específico de la dorada, se ha contrastado el impacto de las condiciones medioambientales en el

rendimiento económico de la actividad productiva (Gasca-Leyva et al., 2002 y Llorente y Luna, 2012). Este tipo de información es útil por ejemplo para seleccionar la localización más apropiada en términos medioambientales o para definir la posición competitiva de una granja en comparación con otras instalaciones productivas o con otras localizaciones.

Este trabajo tiene por objetivo identificar y analizar las ventajas competitivas asociadas a la producción de dorada en el mar Mediterráneo derivadas de las diferentes condiciones medioambientales en las que se desarrolla la producción en esta área geográfica. El análisis se llevó a cabo mediante la definición de una hipotética granja de engorde en jaulas flotantes en el mar. Los parámetros económicos, biológicos, técnicos y medioambientales que afectan al proceso de cultivo no variaron entre las diferentes localizaciones, a excepción de la temperatura del agua. Además, el modelo utilizado en el análisis fue aislado de la influencia de otros factores mediante varios supuestos. Algunos factores no fueron considerados, como por ejemplo la composición del agua, la salinidad, la luz y la concentración de oxígeno en el agua. Otros factores incluidos en el estudio se consideraron fijos a lo largo del proceso de producción dado que su análisis no es el objeto del estudio, por ejemplo, la composición de la alimentación o la estacionalidad de los precios de mercado. A pesar de que estos supuestos son limitaciones del estudio, la consideración de diferentes temperaturas del agua permite aislar el efecto de esta variable medioambiental en el crecimiento del pez y en las raciones de alimento en cada una de las localizaciones consideradas.

La producción de dorada es simulada a través de un modelo bioeconómico que considera factores biológicos, técnicos, medioambientales y económicos. La estrategia de producción se define como una secuencia de lotes de producción que genera un resultado económico. La aproximación utilizada en este estudio difiere en parte de la realizada por trabajos anteriores como los citados anteriormente. Benetti et al. (2010) desarrolló una revisión descriptiva de los principales criterios que deben ser considerados para la selección de la localización de una instalación de acuicultura marina. En el caso específico de la dorada, Gasca-Leyva et al. (2002) desarrollaron un modelo bioeconómico para evaluar el tamaño eficiente de una instalación bajo diferentes estrategias de producción y en diferentes localizaciones. En este caso, el modelo fue analizado con una metodología de dinámica de sistemas. Llorente y Luna (2012) contrastaron cómo los factores medioambientales, entre otros, afectan a la

rentabilidad de las empresas de dorada. El contraste empírico fue desarrollado a través de un análisis multivariante. En este estudio se aplicó al cultivo de peces una técnica de optimización que no había sido utiliza con anterioridad en la acuicultura, denominada optimización de enjambre de partículas y que es comúnmente conocida por su nombre en inglés, Particle Swarm Optimization (PSO) (Kennedy y Eberhart, 1995 y Eberhart y Kennedy, 1995). Para un horizonte de tiempo previamente establecido y para unos parámetros de producción dados, el algoritmo PSO determina la estrategia óptima de producción que maximiza los beneficios operacionales. El momento inicial en el análisis es la siembra de los alevines del primer lote de cultivo, y el instante final del análisis es el momento de despesque del último lote. Los beneficios operativos son calculados como el valor actual en el momento cero de los ingresos menos el coste de los alevines y el coste de la alimentación. La identificación de diferencias en la rentabilidad operativa entre las localizaciones estudiadas permite determinar la existencia de ventajas competitivas. Además, el análisis de las diferentes estrategias de producción ayuda a explicar cómo las condiciones medioambientales en las que se desarrolla el cultivo de dorada, afectan a la competitividad de las granjas dedicadas al cultivo de estas especies. Este estudio aborda el problema de la rotación propuesto por Bjørndal (1988), al considerar no solo un lote, sino una sucesión de ciclos de cultivo. En este contexto, el análisis realizado en este estudio proporciona nuevas evidencias sobre las ventajas competitivas asociadas a la producción acuícola.

El trabajo se divide en cuatro secciones, incluyendo esta introducción. En el apartado de Materiales y métodos, se explican en detalle el modelo bioeconómico, el algoritmo PSO y los datos utilizados para el análisis. La siguiente sección presenta los resultados obtenidos. Las conclusiones del estudio son presentadas en la última sección.

4.7.2. Materiales y métodos

4.7.2.1. El modelo bioeconómico

El propósito del análisis bioeconómico es encontrar el momento de despesque que maximice el valor presente de los beneficios operativos, dado un horizonte temporal (Asche y Bjørndal, 2011). El modelo bioeconómico utilizado en este estudio integra un submodelo biológico del proceso de cultivo en jaulas marinas. El submodelo biológico está interrelacionado con un submodelo económico. Se considera un proceso de

producción multi-lote a lo largo de un periodo de tiempo finito. En esta formulación, el momento de siembra en cada lote es influenciado por el momento de despesque del anterior lote. Por esta razón, la optimización de los procesos de producción es tan compleja. Las variables de decisión son el momento de siembra, el peso de los alevines y el peso de despesque.

El modelo incluye tres factores claves que influyen en el crecimiento del pez. Estos factores son el peso del pez, la temperatura del agua y la cantidad de alimento suministrada. El modelo es aislado de la influencia de otros factores. Para cumplir esta condición se realizan varios supuestos descritos a continuación. Dado que el cultivo de peces es un sistema abierto, los productores no pueden controlar de manera eficiente ninguno de los factores abióticos que influyen en el proceso de crecimiento de los peces (Brett, 1979). La composición del alimento se considera fija a lo largo del proceso de cultivo. Por lo tanto, la calidad de la dieta no es una variable de decisión para los productores (Hernández et al., 2003). La estrategia óptima de alimentación ha sido estudiada en profundidad en numerosos estudios previos (Cacho et al., 1991; Heaps, 1993 y Mistiaen y Strand, 1999). En consecuencia, se asume que las raciones de alimento recomendadas por los productores de piensos son las óptimas. El momento de despesque y el peso de despesque no son variables independientes entre sí, dado que el momento de despesque es determinado por el momento en el que los peces alcanzan el tamaño comercial deseado. Los niveles de densidad de biomasa se asumen correctos, de manera que el crecimiento no se ve afectado por los mismos. La calidad del agua es óptima. La densidad máxima de la biomasa es igual al valor de densidad máxima asegurable (Luna, 2002). Otro parámetro relevante en el proceso de engorde que no ha sido considerado es la dispersión del peso de los individuos durante el proceso de engorde (Tian et al., 2000).

El modelo asume una oferta continua de alevines durante el año (Gates y Mueller, 1975). Se supone un patrón estacional fijo de los precios de mercado durante el proceso de cultivo. Se considera que todos los peces son despescados al mismo tiempo. Este supuesto implica que la jaula está completamente vacía en el momento de siembra del siguiente lote. No hay restricciones laborales, tecnológicas o medioambientales que puedan afectar a los procesos de siembra y despesque. El modelo solo considera decisiones operativas. Por lo tanto, solo se incluyen en el análisis costes operacionales, en este caso, el coste de los alevines y el coste de alimentación. Se supone que el resto

de costes no están directamente influenciados por los niveles de producción y pueden ser asignados mediante la aplicación de claves de reparto.

Tabla 43. Nomenclatura del modelo bioeconómico.

B	Número de lotes	$p_s(w_{0,b})$	Precio de los alevines en el momento de siembra en b
b	Lote	$q_h(t_{h,b})$	Estacionalidad del precio de venta en el momento de despesque en b
C_b	Coste de producción en b	$q_s(t_{0,b})$	Estacionalidad del precio de los alevines en el momento de siembra en b
$C_{f,b}$	Coste de alimentación en b	R_b	Ingresos en b
$C_{r,b}$	Coste de los alevines en b	$SGR\ (T_t\ ,\ w_t)$ $SGR\ (T_k\ ,\ w_k)$	Tasa de crecimiento en t y k respectivamente
D_{max}	Densidad máxima de la biomasa	$s_{h,b}$	Tasa de supervivencia en el momento de despesque en b
$DF\ (t)$	Factor de descuento	s_t	Tasa de supervivencia en t
$DF\ (t_{h,b})$	Factor de descuento desde el momento de despesque en b hasta el momento inicial	$T_t\ ,\ T_k$	Temperatura del agua en t y k respectivamente
$DF\ (t_{0,b})$	Factor de descuento desde el momento de siembra en b hasta el momento inicial	$T_{k,b}$	Temperatura del agua en el momento t en b
$DF\ (k_b)$	Factor de descuento desde el momento k hasta $k = 0$ en b	t	Intervalo de tiempo considerado
$F(T_{k,b}\ ,\ w_{k,b})$	Tasa de alimentación en el momento k en b	$t_{h,b}$	Momento de despesque en b
i	Tasa de descuento	$t_{0,b}$	Momento de siembra en b
$m_t\ ,\ m_k$	Tasa de mortalidad en el momento t y k	w_h	Peso de despesque
$N_{s,b}$	Numero de alevines sembrados en b	$w_{h,b}$	Peso de despesque en b
$N_{h,b}$	Número de peces despescados en b	$w_t\ ,\ w_k$	Peso de los peces en el momento t y k respectivamente
$N_{k,b}$	Número de peces en el momento k en b	$w_{k,b}$	Peso de los peces en el momento k en b
$p_f\ (w_{k,b})$	Precio del alimento en el momento k en b	w_0	Peso de los alevines en el momento de siembra
$p_h(w_{h,b})$	Precio de venta en el momento de despesque en b	$w_{0,b}$	Peso de los alevines en el momento de siembra en b

El modelo biológico simula el proceso de cría a lo largo del tiempo: los alevines son sembrados, y posteriormente son alimentados en función de su peso y de la temperatura del agua. A lo largo del tiempo, el número de peces cambia a causa de la mortalidad. Como resultado, una proporción de los peces sembrados alcanza el tamaño de mercado (Bjørndal, 1988). El modelo biológico sigue los principios de la fisiología de peces, considerada por primera vez en un modelo para el crecimiento de salmónidos (Stauffer, 1973). Este consiste en tres procesos interrelacionados: siembra, engorde y mortalidad. La nomenclatura utilizada en el modelo bioeconómico está disponible en la Tabla 43.

El número de alevines sembrados se calcula con el fin de alcanzar la máxima densidad de la biomasa (D_{max}) en el momento de despesque. Este cálculo tiene en cuenta la mortalidad natural de los individuos durante el proceso de cría y el peso medio de los individuos en el momento de despesque. El número de alevines liberados en cada lote puede expresarse como en la Ecuación 53 (Tabla 44).

El crecimiento de los peces se calcula a partir de la información sobre piensos, y evoluciona en función de la temperatura del agua y del peso medio de los peces (Brett y Groves, 1979). El cambio en el peso a lo largo del tiempo se simula mediante la Ecuación 54. La información necesaria para determinar la tasa específica de crecimiento se obtiene a partir de la media de las tablas de alimentación[18] proporcionadas por los productores de pienso (Rizzo y Spagnolo, 1996). Estas tablas indican la tasa de crecimiento del pez y la ración óptima de alimento en función de la temperatura del agua y del peso de los peces. Los datos posibilitan la simulación del crecimiento de los peces a partir de la misma información que utilizan habitualmente los granjeros. El peso medio de los individuos en el momento t, w_t, viene dado por la Ecuación 55. El término k, representa cada intervalo de tiempo entre el momento de siembra (t_0) y el de despesque (t_h). En el momento de despesque, el peso medio de los peces w_h es definido por la Ecuación 56.

La tasa de supervivencia de los individuos depende de la densidad de la biomasa, del peso de los peces y de las condiciones medioambientales. En determinados estudios, como en el de Arnason (1992), se asume constante la tasa de mortalidad a lo largo del

[18] La oferta de alimentación disponible para el engorde de la dorada es muy amplia. Por lo tanto, para evitar la inclusión de una mayor complejidad en el modelo y porque el objetivo no es determinar el alimento más apropiado, se utiliza un promedio de los valores de varios piensos.

tiempo. En el presente trabajo se le asigna un valor fijo a la concentración de los individuos y por lo tanto, la mortalidad en un periodo es calculada como se expresa en la Ecuación 57, y la tasa de supervivencia al comienzo del intervalo *t* se especifica en la Ecuación 58.

Los parámetros seleccionados para las variables de decisión producen interacciones en el proceso biológico. La fecha de siembra determina los valores de la temperatura del agua durante el proceso de cultivo. La temperatura del agua, junto con el peso de los alevines sembrados, determina el crecimiento y la mortalidad de los peces a lo largo del proceso. Finalmente, el peso de despesque seleccionado determina el momento de despesque. Debido a que la temperatura del agua y las raciones de alimento son consideradas determinísticas, el momento de siembra y el peso de los alevines definen una trayectoria de crecimiento hasta alcanzar el peso de despesque seleccionado.

Tabla 44. Modelo bioeconómico para el cultivo de dorada.

Submodelo biológico		Submodelo económico	
(53)	$N_{s,b} = \frac{D_{max}}{w_{h,b} s_{h,b}}$	(59)	$Max\ \pi = \sum_{b=1}^{B} (R_b\ DF\ (t_{h,b}) - C_b\ DF\ (t_{0,b}))$
(54)	$w_{t+1} = w_t\ (1+SGR(T_t\ ,\ w_t))$	(60)	$DF(t) = (1+i)^{-t/360}$
(55)	$w_t = w_0 \prod_{k=0}^{t-1} (1+SGR(T_k\ ,\ w_k))$	(61)	$R_b = N_{h,b}\ w_{h,b}\ \ p_h(w_{h,b})\ q_h(t_{h,b})$
(56)	$w_h = w_0 \prod_{k=0}^{h-1} (1+SGR(T_k\ ,\ w_k))$	(62)	$N_{h,b} = N_{s,b}\ s_{h,b}$
(57)	$m_t = MOR(T_t\ ,\ w_t)$	(63)	$C_b = C_{r,b} + C_{f,b}$
(58)	$s_t = 1 - \prod_{k=0}^{t-1} m_k$	(64)	$C_{r,b} = N_{s,b}\ \ p_s(w_{0,b})\ q_s(t_{0,b})$
		(65)	$C_{f,b} = \sum_{k=0}^{h-1} N_{k,b}\ w_{k,b}\ F\ (T_{k,b}\ ,w_{k,b})\ p_f\ (w_{k,b})\ DF\ (k_b)$

El submodelo económico consiste en un problema de maximización basado en una función objetivo. La optimización de la función objetivo considera los ingresos y los costes operacionales, y se expresa como se recoge en la Ecuación 59. Para calcular el valor actual de los beneficios operacionales en el momento inicial, cada uno de los

flujos de caja es multiplicado por el correspondiente factor de descuento $DF(t)$, que se calcula como se expresa en la Ecuación 60. El parámetro i representa el coste anual de capital y es utilizado como la tasa de retorno. Se basa en un periodo de 12 meses de 30 días para un año de 360 días. El momento de siembra del primer lote es denominado como *time zero*.

Los ingresos de un lote se expresan como se observa en la Ecuación 61. El parámetro $q_h(t_h)$ es una función que devuelve un factor para incluir el efecto de la estacionalidad de los precios de venta. El precio de venta depende del tamaño de comercialización de los peces y del periodo del año en el cual se venden los peces. El número de peces despescados se expresa en la Ecuación 62.

El coste total de cada lote viene dado por la Ecuación 63, en la que C_r es el coste de los alevines y C_f es el coste del alimento. El coste de los alevines en un determinado lote de cultivo se define en la Ecuación 64, en la que $q_s(t_0)$ es la función que devuelve un factor para incluir el efecto de la variación estacional en el precio de los alevines. El coste de alimentación depende del precio del alimento y de la cantidad de alimento suministrada a los peces. El precio del alimento depende del peso del pez. La cantidad de alimento se calcula multiplicando el número de peces que hay en la jaula en el momento de la alimentación, por la ración de alimento. Se supone que los peces son alimentados por lo menos una vez al día. Este supuesto es consistente con el periodo de análisis, el cual se divide en intervalos discretos de un día. El coste de la alimentación de un lote se expresa en la Ecuación 65. El parámetro $F\left(T_{k,}, w_{k,}\right)$ es la función que devuelve las tasas de alimentación, que se expresan como un porcentaje del peso del pez. También se incluye un factor de descuento dado que se asume que se compra el pienso en el momento en que es suministrado a los peces. Por lo tanto, el coste del alimento en cada intervalo de tiempo es descontado a $k = 0$, y $DF\ (k_b)$ es el correspondiente factor de descuento.

4.7.2.2. Algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO) para la producción de dorada

Los algoritmos PSO son técnicas de optimización metaheurística basadas en poblaciones. Inicialmente desarrollados para simular el comportamiento social, fueron

posteriormente investigados en profundidad por numerosos autores[19] y han sido aplicados con éxito en numerosos campos de investigación[20] (Poli et al., 2007). El algoritmo PSO es un proceso iterativo y estocástico basado en cada etapa en un grupo de individuos denominados partículas que son situados en el espacio de búsqueda de un problema o función dado. Las partículas se mueven en sucesivas iteraciones a través de la cooperación y la competencia entre ellas mismas. Para obtener una nueva posición en el espacio de búsqueda, las partículas se mueven de una posición a otra tras añadir el vector de velocidad v_i al vector de posición x_i:

$$x_i \leftarrow x_i + v_i \tag{66}$$

El vector x_i contiene la posición actual de la partícula en el espacio de búsqueda. El vector de velocidad (v_i) indica la dirección y longitud del desplazamiento de la partícula. Cada partícula ajusta su velocidad y su posición de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$v_i^{t+1} = v_i^t + \varphi_1 r_1^t (pb_i^t - x_i^t) + \varphi_2 r_2^t (pg_i^t - x_i^t) \tag{67}$$

$$x_i^{t+1} \leftarrow x_i^t + v_i^{t+1} \tag{68}$$

donde φ_1 y φ_2 son parámetros que miden la importancia de la experiencia personal de la partícula y la experiencia global del vecindario de la misma respectivamente. Los parámetros r_1^t y r_2^t son dos números aleatorios entre cero y uno. Los parámetros pb_i y pg_i son vectores de posición que representan la mejor posición que cada partícula y sus partículas vecinas respectivamente han encontrado hasta la fecha en el espacio de búsqueda. En cada iteracción el vector de posición pb_i se actualiza mediante la comparación de la posición o solución alcanzada por la partícula en la iteración actual con la mejor posición alcanzada por la partícula hasta el momento. Al mismo tiempo, pg_i se actualiza mediante la comparación de la mejor posición alcanzada por las partículas vecinas en la actual iteración con la mejor posición que las partículas vecinas han obtenido hasta el momento. La actualización de las velocidades explicada por la expresión mostrada anteriormente implica tres componentes. El componente de *inercia*, modelado por el factor v_i^t, registra la dirección previa de la partícula y evita cambios drásticos en la dirección de la misma. El componente *cognitivo* es modelado por el

[19] Para más información sobre los estudios que desarrollaron los algoritmos PSO véase (Poli et al., 2007).
[20] Para el lector interesado, está disponible en Poli et al. (2007) una lista de las aplicaciones de los PSO a diferentes áreas de conocimiento.

factor $\varphi_1 r_1^t (pb_i^t - x_i^t)$ y dirige a la partícula hacia su mejor solución en el pasado. El componente social es modelado por el factor $\varphi_2 r_2^t (pg_i^t - x_i^t)$ y dirige a la partícula hacia la mejor solución encontrada por sus partículas vecinas. El proceso iterativo continúa con sucesivas iteraciones hasta que el criterio de parada es alcanzado.

Este estudio modeliza la fase final del cultivo en jaulas marinas, es decir, el proceso de engorde de alevines hasta alcanzar el tamaño comercial deseado. Cada partícula de la población en el espacio de búsqueda representa una estrategia de producción que genera un resultado económico. De acuerdo con el esquema general de los algoritmos PSO, cada partícula *i* se asocia con un vector de posición x_i que representa la correspondiente estrategia de producción. La estructura de cada uno de estos vectores *i* se describe en cada una de las *t* iteraciones del algoritmo como se expresa en la Ecuación 69.

$$x_i^t = \begin{pmatrix} re_{i,1}^t & pa_{i,1}^t & pd_{i,1}^t \\ re_{i,2}^t & pa_{i,2}^t & pd_{i,2}^t \\ re_{i,3}^t & pa_{i,3}^t & pd_{i,3}^t \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ re_{i,n}^t & pa_{i,n}^t & pd_{i,n}^t \end{pmatrix} \tag{69}$$

donde *n* es el número máximo de lotes producidos en el horizonte temporal asociado con el plan de gestión. Para un número *b* de lotes, $re_{i,b}^t$ representa el número de días transcurridos desde el último proceso de despesque, $pa_{i,b}^t$ representa el peso de los alevines, y $pd_{i,b}^t$ representa el peso de despesque objetivo de los peces. Los vectores de posición x_i y los vectores de velocidad son iniciados con valores aleatorios dentro de un rango predeterminado. Cada posición de la partícula evalúa la función objetivo y determina un resultado económico, considerado como la suma de los resultados de todos los lotes llevados a cabo durante el periodo de análisis. Los procesos de cultivo deben de ser llevados a cabo en su totalidad en el horizonte temporal establecido. Si un lote se despesca con posterioridad al final del periodo establecido, su beneficio no se incluye en el análisis. En la actualidad, el algoritmo solo optimiza una jaula.

La función objetivo se obtiene mediante la sustitución de las Ecuaciones 60 a 65 en la Ecuación 59. Por consiguiente, los beneficios operacionales pueden expresarse en función de siete variables. El estado de la producción en cualquier momento *t* es descrito por las variables de estado w_t, N_t, m_t y T_t . El gerente, en este caso el algoritmo, debe determinar los valores de las variables de decisión (t_0, w_0, w_h) para cada lote. El

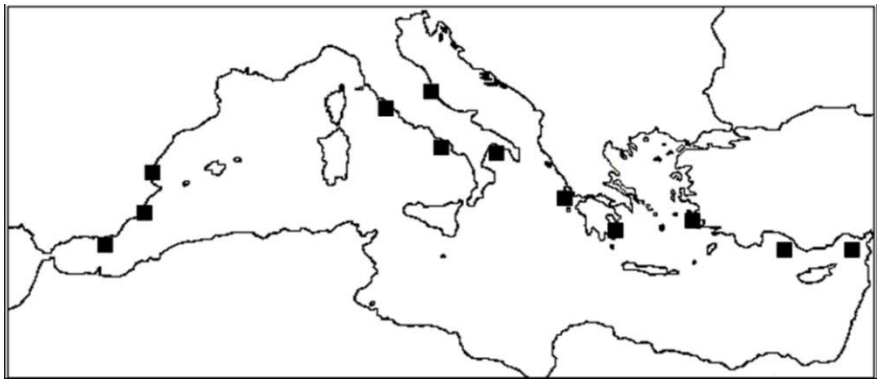
momento de despesque se determina en función de estos tres valores. El momento de siembra en el lote *b*, $t_{0,b}$, es ajustado por el algoritmo mediante la consideración del momento de despesque del anterior lote, $t_{h,b\text{-}1}$, y el número de días transcurridos desde dicha fecha de despesque $t_{h,b\text{-}1}$. En el caso del primer lote, $t_{h,b\text{-}1}$ se reemplaza por la fecha del comienzo del horizonte temporal analizado.

Los modelos de simulación y optimización fueron implementados en un software desarrollado específicamente para este estudio, que utiliza un entorno de desarrollo integrado, IDE por sus siglas en inglés, en este caso Netbeans.6.7.1 con lenguaje de programación JAVA y conectividad a base de datos MySQL.

4.7.2.3. Datos de producción y parámetros del algoritmo

Las hipotéticas granjas de cultivo están localizadas en 12 ubicaciones en España, Italia, Grecia y Turquía (Figura 28). Las temperaturas medias mensuales del agua en grados Celsius (ºC) en cada una de las localizaciones se obtuvieron de la base de datos MEDATLAS 2002 y son expuestas en el Apéndice A. La temperatura del agua oscila entre los 13 ºC registrados en el este de España y en el nordeste de Italia en febrero y marzo, y los 27 ºC registrados en el sudeste de Turquía en agosto y septiembre. Por lo tanto, las temperaturas del agua utilizadas se encuentran en el rango en el cual la producción de dorada es factible.

Figura 28. Posición geográfica de la granja en cada una de las 12 localizaciones analizadas. De izquierda a derecha: Sur de España, sudeste de España, este de España, noroeste de Italia, sudoeste de Italia, sudeste de Italia, nordeste de Italia, oeste de Grecia, sur de Grecia, oeste de Turquía, sur de Turquía, sudeste de Turquía.



Las condiciones de cultivo seleccionadas para el análisis son: tasa de interés del cinco por ciento, densidad máxima de la biomasa de 20 kg/m^3 y una jaula con una capacidad de producción de 5.000 m^3. El precio de los alevines fue consultado a

diferentes productores españoles. Los datos de alimentación utilizados en este análisis para obtener la media de las tablas de alimentación están basados en la información obtenida de los siguientes tipos de pienso: PROaqua (Mistral 21), Skretting (Basic and Power), DIBAQ (Ecoprime and Ecomar) y Acuibream (5, 6, 7, y 8). Los precios de venta asumidos en €/kg se corresponden con los precios más frecuentes registrados durante el año 2009 en Mercamadrid. El horizonte temporal considerado para el análisis es de cinco años, y comienza el primer día de enero del año 2012. Los pesos permitidos para los alevines se sitúan entre los tres y los diez gramos, y los pesos de despesque se fijaron entre los 300 y los 700 gramos. La información completa sobre los datos utilizados se encuentra disponible en el Apéndice C.

El algoritmo se especificó para realizar un máximo de 15 iteraciones sin encontrar una mejor solución y se estableció una población de 80 partículas con un radio de vecindario de 20 partículas. Esto implica que el algoritmo empieza el proceso iterativo con 80 vectores de posición aleatorios, y cada partícula intercambia información con los 20 vectores de posición previos y posteriores, de acuerdo con una topología de anillo (Li, 2010).

Los valores de los parámetros *inercia*, *cognitivo* y *social* fueron 1,0, 0,4, y 1,0 respectivamente. La determinación de estos valores es un problema dada su influencia en el comportamiento del algoritmo. En la actualidad, no hay una serie de valores estandarizados para estos parámetros. El criterio habitual es fijar sus valores de acuerdo a la dimensión del espacio de búsqueda y a la dificultad percibida del problema (Poli et al., 2007).

4.7.3. Resultados y discusión

Los resultados de la optimización de la producción de dorada en cada una de las doce localizaciones analizadas revelan la existencia de diferentes estrategias de cultivo en las principales áreas de producción del mar Mediterráneo. El número y peso de los alevines, el número de días de cultivo y el número y peso de los peces despescados difieren no solo entre localizaciones, sino también entre los lotes cultivados en una misma localización. El análisis de los resultados de producción revela un contraste entre dos principales áreas de producción, el oeste del área mediterránea y el este del área mediterránea. Las diferencias en la temperatura del agua entre estas dos áreas producen diferencias en las estrategias de cultivo que maximizan los beneficios operacionales.

Tabla 45. Datos de las estrategias de producción óptimas analizadas en el oeste del mar Mediterráneo.

Localización	Variable	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Localización	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Sur de España	Lote (días)	604	661	468	Sudoeste de Italia	485	709	416
	Peso despesque (g)	303	300	300		301	511	302
	Individuos	329.021	332.634	331.712		331.946	195.687	330.732
	Beneficios (€)	201.400	230.697	181.378		246.207	304.271	239.063
	Producción total (kg)		298.997				299.793	
	Beneficio total (€)		613.475				789.541	
Sudeste de España	Lote (días)	483	720	410	Sudeste de Italia	576	679	418
	Peso despesque (g)	300	507	300		300	436	300
	Individuos	332.577	197.003	333.190		331.672	228.823	331.980
	Beneficios (€)	236.232	303.887	231.178		239.722	274.482	231.962
	Producción total (kg)		299.611				298.862	
	Beneficio total (€)		771.297				746.166	
Este de España	Lote (días)	518	645	450	Nordeste de Italia	877	784	-
	Peso despesque (g)	300	354	300		396	500	-
	Individuos	332.759	282.449	331.003		251.902	199.773	-
	Beneficios (€)	220.458	255.660	217.139		256.571	267.580	-
	Producción total (kg)		299.116				199.640	
	Beneficio total (€)		693.257				524.151	
Noroeste de Italia	Lote (días)	596	668	459				
	Peso despesque (g)	300	300	300				
	Individuos	332.148	333.142	331.731				
	Beneficios (€)	207.736	231.723	195.919				
	Producción total (kg)		299.106					
	Beneficio total (€)		635.378					

4.7.3.1. Producción optima de dorada en el oeste del Mediterráneo

Las áreas de producción en el oeste del Mediterráneo (Tabla 45) incluye las localizaciones en Italia y España con una temperatura media del agua entre los 17,56 ºC y los 19 ºC, con una desviación estándar de la misma entre los 2,73 ºC y los 4,32 ºC . En esta región, la estrategia óptima de producción permitió el desarrollo de tres lotes de cultivo en el periodo analizado, excepto en el caso del nordeste de Italia, donde sólo se pudieron desarrollar dos lotes. En esta área, la localización que obtuvo el mejor resultado económico es el sudoeste de Italia, donde se desarrollaron tres lotes que produjeron un total de 299.793 kg de dorada con un beneficio operacional de 789.541 €. Por el contrario, el peor resultado económico se obtuvo en el nordeste de Italia, donde los dos lotes cultivados produjeron un total de 199.640 kg de dorada que generaron un beneficio operacional de 524.151 €. La producción media obtenida en las localizaciones occidentales al final del periodo analizado fue de 285.017 kg y los beneficios operacionales medios obtenidos de la producción fueron de 681.895 €.

4.7.3.2. Producción optima de dorada en el este del mar Mediterráneo

La producción en el este del Mediterráneo (Tabla 46) incluye localizaciones en las costas de Grecia y de Turquía con una temperatura media entre los 19 ºC y los 22 ºC y una desviación estándar de la misma entre 3,55 ºC y 3,93 ºC. En esta área, la estrategia de producción óptima permitió el desarrollo de cuatro lotes en el periodo de tiempo analizado, excepto en el caso del sudeste de Turquía, donde se produjeron cinco lotes en el periodo considerado. En esta región, la localización que obtuvo el mejor resultado económico fue el sudeste de Turquía, donde se produjeron un total de 499.070 kg de dorada que generaron un beneficio operacional de 1.257.886 €. El peor resultado económico en esta área se obtuvo en el oeste de Grecia, donde se obtuvieron cuatro lotes que generaron un total de 397.478 kg de dorada y un beneficio operacional de 857.819 €. La producción media obtenida en las localizaciones del este del Mediterráneo fue de 418.195 kg y el beneficio operacional medio fue de 1.013.399 €. Estos resultados medios son un 46 por ciento y un 48 por ciento respectivamente mayores que los obtenidos en el área occidental. La cantidad producida y los beneficios operacionales obtenidos en la peor localización del área oriental son ambos mayores que aquellos obtenidos por la mejor localización en el área occidental.

4.7.3.3. Influencia de la temperatura media del agua en la competitividad

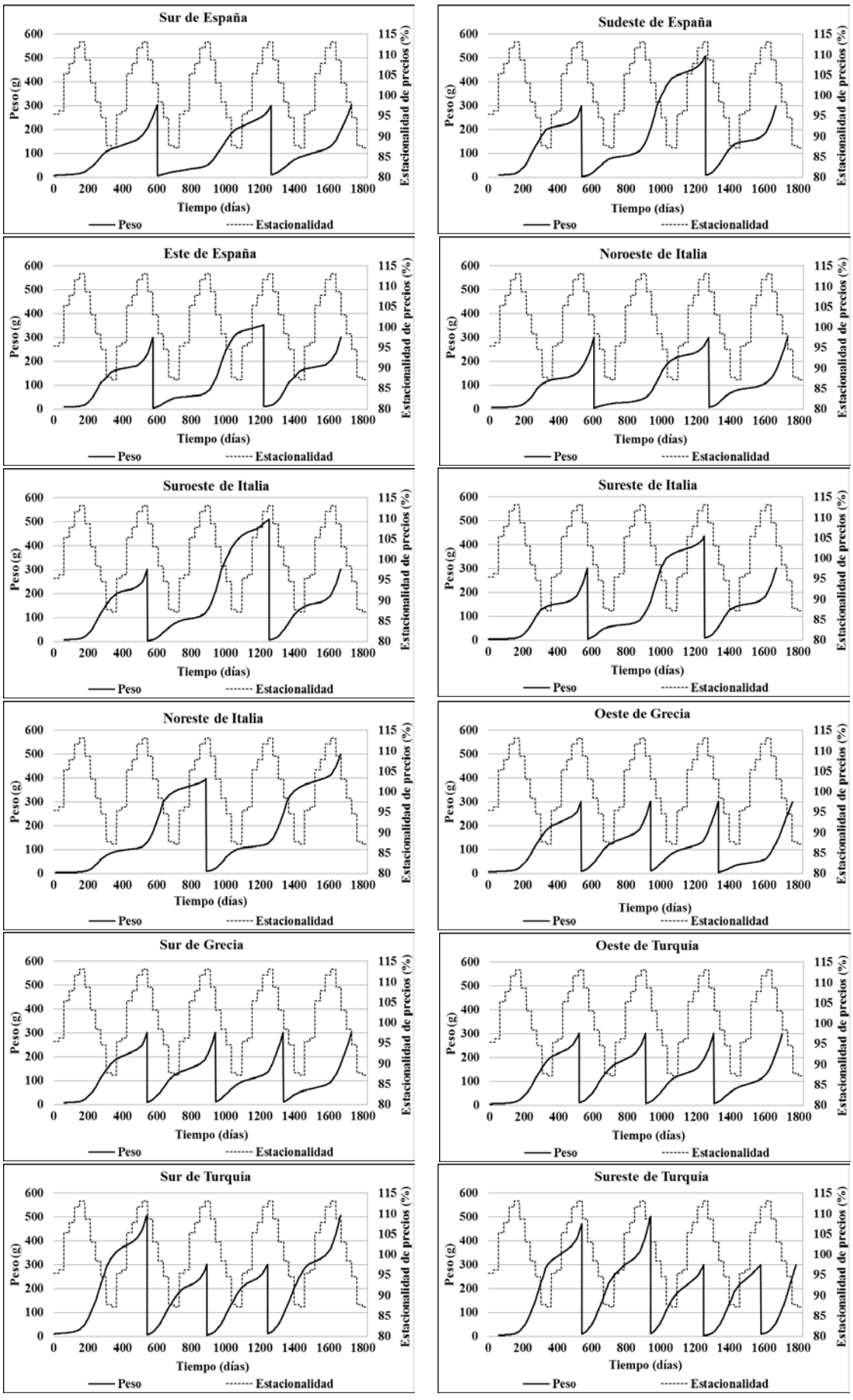
El mejor y el peor resultado en la optimización económica de la producción fueron obtenidos en el nordeste de Italia y en el sudeste de Turquía respectivamente. Estas instalaciones se corresponden con la menor y la mayor temperatura media del agua respectivamente consideradas en el estudio. La comparación de los beneficios operacionales con la temperatura media del agua de las restantes localizaciones muestra que en el ejemplo desarrollado, el resultado económico es mayor a medida que la temperatura media del agua se incrementa. Este resultado es coherente con los resultados previos obtenidos por Hernández et al. (2007), quienes identificaron un efecto positivo del incremento de la temperatura media del agua sobre el tamaño del pez despescado. Este aumento de tamaño puede producir una ventaja competitiva, dado que los peces de tallas mayores son generalmente más valorados en el mercado. Sin embargo, el estudio de Hernández et al. (2007) solo consideró un lote de producción. Por lo tanto, la cantidad máxima que puede ser producida estaba limitada por el tamaño de la jaula y por la densidad máxima de la biomasa. En consecuencia, el efecto de las condiciones medioambientales sobre la productividad del cultivo de dorada no fue considerado. En este estudio, bajo un proceso de cultivo multi-lote y con un horizonte de tiempo finito, los resultados muestran que el efecto positivo de la temperatura del agua sobre el crecimiento de los peces no solo se traduce en peces de mayor tamaño, sino también en la producción de un mayor número de lotes. Las Tablas 45 y 46 muestran que en la mayoría de los casos, como demostraron Gasca-Leyva et al. (2002), aquellos lotes que producen tamaños de peces más grandes alcanzan un beneficio operacional mayor. Sin embargo, si el periodo analizado corresponde a más de un lote, los beneficios operacionales también dependen de la cantidad de dorada producida. Los resultados de este estudio difieren de los resultados previos debido a que este trabajo muestra que la principal ventaja competitiva obtenida por las granjas que obtienen un mejor resultado económico es la mayor productividad obtenida.

Dados los parámetros considerados en el ejemplo desarrollado, la estrategia de producción óptima en todas las localizaciones es despescar y comercializar el producto en el momento del año en el que el producto se comercializa a un precio más alto (Figura 29). Para alcanzar este objetivo, es necesario alimentar a los peces durante los

Tabla 46. Datos de las estrategias óptimas de producción en las localizaciones analizadas en el este del mar Mediterráneo.

Localización	Variable	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Localización	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5
Oeste de Grecia	Lote (días)	539	403	395	432	Sur de Turquía	543	348	354	427	-
	Peso despesque (g)	300	300	300	300		506	300	300	506	-
	Individuos	331.236	330.740	330.617	332.335		197.566	331.192	332.973	197.165	-
	Beneficios (€)	247.600	236.655	211.885	161.679		306.308	258.987	253.464	288.269	-
	Producción total (kg)		397.478						398.983		
	Beneficio total (€)		857.819						1.107.028		
Sur de Grecia	Lote (días)	485	397	395	397	Sudeste de Turquía	484	399	308	333	205
	Peso despesque (g)	300	300	300	300		470	500	300	300	300
	Individuos	331.373	330.464	330.472	332.431		212.025	199.179	333.273	333.058	333.099
	Beneficios (€)	247.081	233.317	211.583	194.558		292.683	291.597	249.203	263.095	161.308
	Producción total (kg)		397.422						499.070		
	Beneficio total (€)		886.539						1.257.886		
Oeste de Turquía	Lote (días)	520	387	397	399						
	Peso despesque (g)	300	300	300	300						
	Individuos	331.971	331.385	330.673	332.702						
	Beneficios (€)	252.911	243.512	240.587	220.714						
	Producción total (kg)		398.019								
	Beneficio total (€)		957.724								

Figura 29. Evolución del peso y de la estacionalidad del precio de venta del pez.

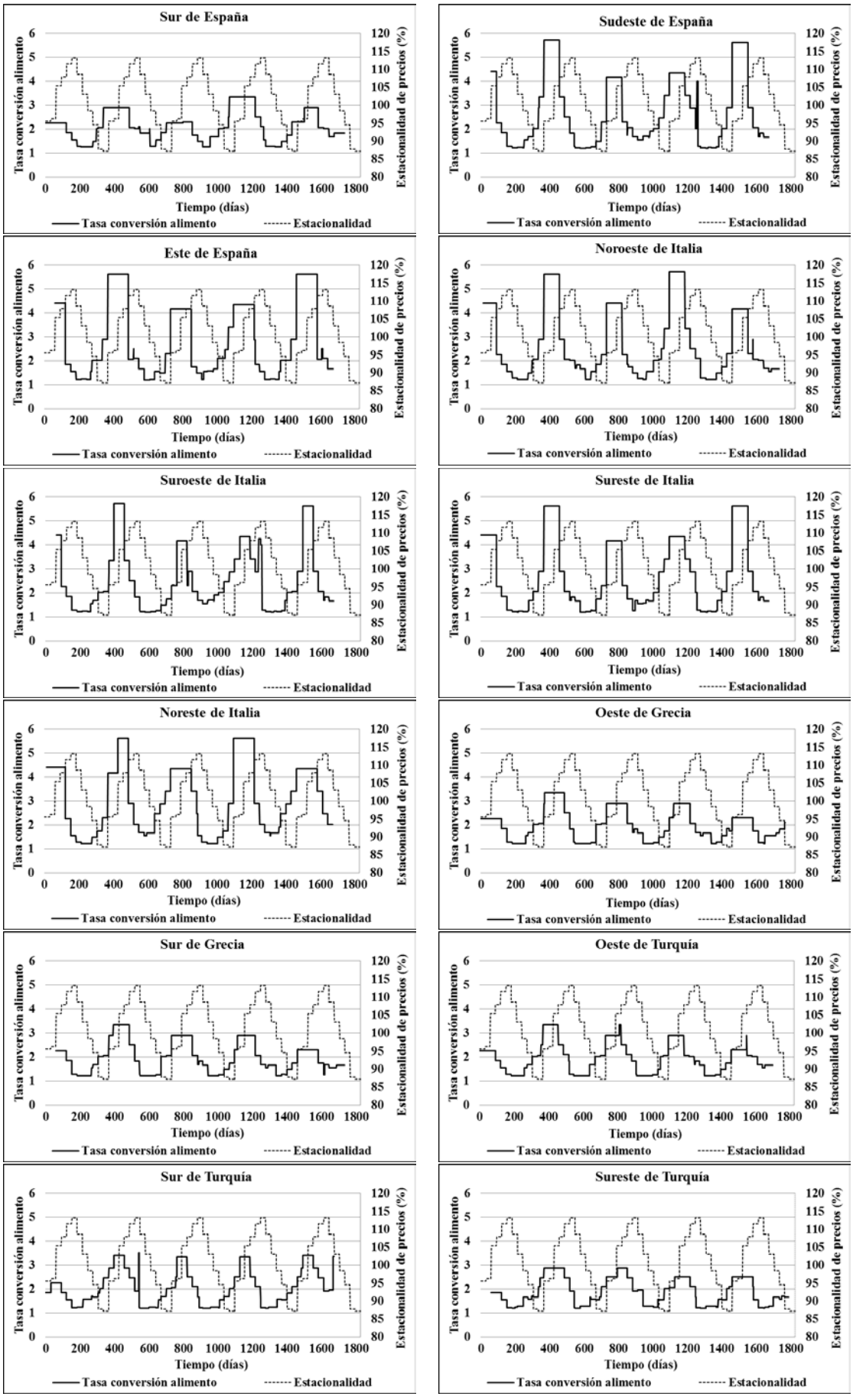


periodos en que el crecimiento disminuye y despescar cuando la tasa de crecimiento aumenta y el resto de productores reducen el suministro de dorada al mercado. Todos los lotes en cada una de las localizaciones producen la cantidad máxima permitida por la densidad máxima de la biomasa establecida. Estos niveles de producción están cercanos a los 100.000 kg. Sin embargo, a pesar de que en todas las localizaciones utilizan los mismos recursos productivos en el mismo periodo de tiempo, no todas las localizaciones producen el mismo número de lotes o despescan peces del mismo peso (Tabla 45; Tabla 46; Figura 29). Las granjas de dorada del este del Mediterráneo produjeron más lotes que las granjas del oeste durante el mismo periodo, lo que resultó en una mayor rentabilidad operativa. Además, los beneficios operacionales son mayores si una granja obtiene el mismo número de lotes, pero alcanza mayores pesos de despesque, dado el mayor precio de mercado que los mayores tamaños alcanzan habitualmente en el mercado. Por ejemplo, la mayor temperatura media del agua en el sur de Turquía en comparación con Grecia o con el oeste de Turquía permitió que dos de los cuatro lotes despescados cultivaran doradas de 500 g en lugar de 300 g. En este caso, la cantidad producida resultó similar, aproximadamente 400.000 kg, pero los beneficios operativos fueron mayores debido al mayor precio de comercialización de las doradas de 500 g.

4.7.3.4. Influencia de la variabilidad de la temperatura del agua en la competitividad

Otro factor que influye en los resultados de producción es el rango de las temperaturas del agua. La estrategia de producción se vio afectada por la variabilidad de la temperatura debido al efecto que la temperatura del agua tiene sobre las tasas de crecimiento. Durante los meses del año con mayores temperaturas el crecimiento del pez fue más rápido. Sin embargo, el crecimiento de la dorada fue más lento durante los periodos de aguas frías. Un rango menor de temperaturas permitió un crecimiento más continuo de los peces durante el año. Este resultado es consistente con el obtenido por Gasca-Leyva et al. (2002), quienes encontraron que un menor rango de temperaturas del agua en las Islas Canarias en comparación con la producción en la costa mediterránea española proporciona una ventaja competitiva a los productores localizados en las islas. Este estudio demuestra que las diferencias en el rango de temperaturas son también una fuente de diferencias en la competitividad de las diferentes áreas de producción de

Figura 30. Evolución de la tasa de conversión del alimento.



dorada en el mar Mediterráneo. Las producciones de dorada en las costas sudeste de España e Italia y en la costa este española proporcionan un ejemplo. La temperatura media del agua en las tres localizaciones es aproximadamente de 18,5 ºC. La variabilidad de la temperatura del agua a lo largo del año en las tres localizaciones es la mayor entre todas las localizaciones analizadas, con una desviación estándar de 4,10 ºC, 4,12 ºC y 4,32 ºC respectivamente. La estrategia óptima de producción es desarrollar tres lotes en los tres casos. Sin embargo, el resultado económico es menor a media que la variabilidad de la temperatura se incrementa, 771.297 €, 746.166 €, y 693.257 €, respectivamente.

El análisis de la tasa de conversión, cuya evolución se muestra en la Figura 30, ayuda a explicar cómo la variabilidad de la temperatura del agua afecta a la producción de dorada y a los resultados económicos. La tasa de conversión del alimento es una medida de la eficiencia del pez en transformar el alimento en masa corporal y se calcula como la cantidad de alimento consumido por el pez, divido entre el aumento de peso experimentado por el pez. Cuanto menor es el valor de la tasa, mayor es la eficiencia en el proceso de cultivo. La evolución de la estacionalidad de los precios de la dorada proporciona información sobre el comportamiento de la industria de producción de dorada. Los gráficos en la Figura 30 muestran que si la tasa de conversión comienza a crecer debido a una temperatura del agua más baja, el precio de mercado de la dorada disminuye. Este resultado es consistente con la tendencia de la industria de incrementar la oferta de producto para evitar alimentar a los peces en los meses en que la dorada crece más despacio. Por el contrario, en el momento en que la temperatura comienza a crecer y la tasa de conversión se reduce, los productores comienzan a reducir la oferta de dorada. Como resultado, el precio de mercado de la dorada aumenta.

En un contexto en el que la estrategia óptima en todas las localizaciones requiere alimentar a los peces durante el periodo de aguas frías, los resultados del estudio muestran que las empresas con una mayor temperatura media durante los meses de invierno son más eficientes dada la mejor tasa de conversión que alcanzan. Como se observa en los gráficos, la tasa de conversión crece durante el invierno en las localizaciones del oeste del Mediterráneo donde la temperatura es más fría y la media mensual es inferior a los 15 ºC. Estas localizaciones incluyen el sudeste de España, el este de España, el noroeste de Italia, el sudoeste de Italia y el nordeste de Italia. Durante los periodos de temperaturas frías en estas localizaciones, la tasa de conversión alcanzó

casi los seis gramos de alimento por gramo de pescado producido. Por el contrario, las tasas de conversión se mantuvieron durante el año en el este del Mediterráneo entre uno y tres gramos de alimento por gramo de pescado producido. Estos resultados indican que las empresas de cultivo de dorada en el este del Mediterráneo consiguen un crecimiento de la dorada más rápido gracias a las temperaturas más altas durante los meses de invierno. Esta ventaja en el crecimiento les permite obtener un mayor número de lotes y/o despescar peces de más peso que los competidores de las empresas localizadas en el oeste del Mediterráneo.

4.7.4. Conclusiones

Dados los supuestos y los parámetros de la simulación desarrollada en este trabajo, los resultados del análisis muestran que las diferencias en la temperatura del agua entre las principales áreas de producción de dorada en el mar Mediterráneo son una fuente de ventajas competitivas para las empresas de cultivo de dorada. La consideración de una producción multi-lote proporciona información sobre el efecto de las condiciones medioambientales en la productividad y en la rentabilidad operativa. Esta relación no ha sido considerada en estudios previos. Una mayor temperatura media del agua genera un crecimiento más rápido de los individuos, lo que resulta en un mayor número de lotes de cultivo y en mayores pesos de despesque que permiten obtener mejores rendimientos económicos dado su mayor precio en el mercado. En particular, la mayor rentabilidad operativa en un periodo de tiempo dado se obtiene de la producción del mayor número posible de lotes. Una menor variabilidad en la temperatura del agua durante el año implica que la disminución de la temperatura durante el invierno es menor, lo que implica la obtención de mejores tasas de conversión del alimento. Por lo tanto, en un contexto de una estrategia óptima de producción que requiere alimentar a los peces durante los periodos de aguas frías, aquellas localizaciones con una mayor temperatura media del agua durante los meses de invierno tiene una ventaja competitiva asociada a una mayor eficiencia del proceso de alimentación.

La producción y los resultados económicos obtenidos en este estudio sirven para identificar dos áreas principales para el cultivo de dorada en el mar Mediterráneo. Las granjas localizadas en las costas mediterráneas de Grecia y Turquía operan bajo unas mejores condiciones medioambientales, las cuales crean una ventaja competitiva con respecto a las granjas localizadas en las costas mediterráneas de España e Italia. La

mayor temperatura media permite a las empresas del este alcanzar un nivel de productividad más alto que sus competidores localizados en el oeste, gracias al cultivo de un mayor número de lotes. Este efecto positivo de las condiciones ambientales produce una mayor rentabilidad operativa en las granjas del este. Además, la menor variabilidad de la temperatura del agua en las granjas localizadas en el este, les permite tener tasas de conversión del alimento estables durante el año, hecho que no ocurre en las granjas de España o Italia. Además del crecimiento de los peces más rápido, la mejor tasa de conversión durante los meses de invierno permite a las granjas en Grecia y Turquía ser más eficientes en costes que sus competidores.

Varias limitaciones del estudio deben ser mencionadas. Como indicó Hernández et al. (2007), la temperatura del agua es un factor medioambiental particular que influye en el crecimiento en las jaulas marinas. Por esta razón, las conclusiones de este estudio no pueden ser extrapoladas directamente a otros factores medioambientales. Los efectos positivos de un incremento en la temperatura media del agua son válidos hasta que se alcanza la temperatura óptima para el crecimiento de la dorada. Desde esta temperatura óptima, el crecimiento disminuye progresivamente, y las conclusiones de este estudio no son aplicables. La distancia a los mercados es otra variable no considerada en el modelo. Sin embargo, este coste puede ser asignado al producto utilizando una clave de reparto, y debería ser considerado en estudios futuros para analizar la relación entre las ventajas competitivas derivadas de las condiciones medioambientales, y aquellas resultantes de la distancia a los mercados de dorada. La mayor distancia a los mercados Europeos desde las granjas localizadas en el este del Mediterráneo, puede representar una desventaja competitiva que supere el incremento en la competitividad producido por unas mejores condiciones medioambientales. La comparación de los efectos de estos dos factores podría ayudar a identificar las áreas del mar Mediterráneo que son más apropiadas para la localización del cultivo de dorada.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer el apoyo proporcionado por el personal del Centro para la economía y la gestión de los recursos acuáticos (CEMARE), especialmente a su director, Trond Bjørndal.

CAPÍTULO V

Conclusiones y líneas futuras de investigación

El trabajo desarrollado en la presente Tesis Doctoral se ha centrado en el estudio de los factores que determinan el rendimiento de los procesos de producción en acuicultura, y en contribuir a una gestión más eficiente de la actividad de cultivo desde un enfoque multidisciplinar con el objetivo de facilitar el proceso de mejora de la competitividad de las empresas del sector. La investigación se ha centrado en la producción de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) debido a la importancia de estas dos especies en la acuicultura española y a los problemas que atraviesan muchas de las empresas del sector a causa de una pérdida de competitividad originada por los problemas que tienen para incrementar la eficiencia de sus procesos de cultivo, reducir el coste de producción y hacer así frente a la reducción de los márgenes comerciales generada por la disminución de los precios de venta derivados del aumento de la competencia.

En este último capítulo se resumen las principales conclusiones obtenidas en esta Tesis Doctoral, detallando las aportaciones e implicaciones de las mismas para las empresas acuícolas, así como una serie de limitaciones que deben ser consideradas a la hora de interpretar los resultados. Finalmente, en función de las conclusiones, se plantean una serie de líneas futuras de investigación que permitirían seguir incrementando la competitividad de las empresas acuícolas a través de mejoras en la gestión de los procesos de producción.

5.1. Conclusiones relativas a la evolución y estado actual del cultivo de dorada y lubina

El papel de la acuicultura en el mundo actual ha cambiado a lo largo de las últimas cuatro décadas durante las cuáles el peso de la acuicultura en la producción mundial de productos pesqueros ha crecido hasta alcanzar prácticamente la mitad. Las mejoras tecnológicas permiten que cada vez más organismos acuáticos sean cultivados tanto en aguas marinas como continentales y los avances en la transformación y distribución de los productos pesqueros han facilitado su comercio, llegando a más consumidores a precios más asequibles.

Hoy día la acuicultura no es solo una solución ante la posible falta de pescado para alimentar a la población mundial, sino que es una actividad generadora de empleo y comercio, que aporta dinamismo económico a las regiones en las que se desarrolla y que demanda un tipo de trabajo cualificado y estable. España es un ejemplo de los

beneficios que aporta esta actividad a la economía y la sociedad, en donde el desarrollo de la acuicultura ha sido una alternativa económica y empresarial que ha permitido mitigar el impacto negativo de la reducción de la actividad pesquera. Tradicionalmente, el principal producto de la acuicultura española han sido los moluscos gracias a la producción de mejillón en las rías gallegas. En la actualidad, si bien el mejillón sigue siendo la especie más importante en términos de cantidad, el cultivo de peces o piscicultura es la principal fuente generadora de valor en la acuicultura española.

Las dos especies más importantes en el cultivo de peces en España en la actualidad son la dorada y lubina. Su producción ha seguido una tendencia creciente desde que se realizaron las primeras producciones intensivas en los años ochenta y noventa hasta situar a España como el tercer país productor de dorada por detrás de Grecia y de Turquía y el cuarto de lubina tras Turquía, Grecia y Egipto. Sin embargo, la evolución positiva de la producción no se ha traducido siempre en buenos resultados empresariales. El incremento de las importaciones de dorada y lubina producida en Grecia y en Turquía provocó sucesivas guerras de precios a lo largo de la pasada década. La caída de los precios redujo los márgenes empresariales y llevó a muchas empresas a la quiebra. La recuperación del precio de venta en los últimos años ha aumentado los beneficios de las empresas. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que existen competidores que pueden comercializar el producto a precios muy competitivos gracias a unos menores costes laborales y a unas condiciones medioambientales más favorables.

Ante esta situación, el sector ha iniciado reformas con el objetivo de incrementar la competitividad. Por un lado, la reducción del número de empresas e instalaciones y la concentración de la actividad en unidades productivas con mayor capacidad de producción, con el objetivo de aprovechar las economías de escala y así reducir el coste medio de producción. Por el otro, el desarrollo de diversas iniciativas para la diferenciación del producto con el objetivo de evitar competir en precios con los productos importados. Sin embargo, estas estrategias están encontrando dificultades en un mercado como el español, en el que el pescado se consume mayoritariamente fresco lo que dificulta la diferenciación del producto y la posibilidad de obtener una ventaja competitiva a través de dichas estrategias. A ello se debe añadir el contexto de crisis económica actual, en el que el precio es el principal factor que influye en la decisión de compra de los consumidores.

Los productores de dorada y lubina se han dado cuenta de que los beneficios de las economías de escala tienen un límite y que las estrategias de diferenciación de producto no están teniendo el éxito esperado. Una de las vías menos investigada ha sido el incremento de la eficiencia a través de la mejora en la gestión de los procesos operativos. El desarrollo de técnicas, metodologías y modelos que contribuyan a la mejora de los procesos de toma de decisiones y de las estrategias de producción contribuiría enormemente a mejorar la competitividad de las empresas de cultivo de dorada y lubina, como ha ocurrido en otras industrias como la del salmón en Noruega o la del pez gato en Estados Unidos.

5.2. Conclusiones relativas a los factores determinantes de la competitividad de los procesos de producción en acuicultura

Si el objetivo principal de la investigación es contribuir a la mejora de la competitividad de los procesos de producción en acuicultura, el primer paso es identificar cuáles son los factores que influyen en su gestión, ya que se pretende abordar el análisis de un proceso tan complejo como es la cría de organismos acuáticos.

La primera aproximación a la literatura sobre acuicultura muestra una ingente cantidad de trabajos que tienen por objetivo aumentar y mejorar el conocimiento científico sobre los aspectos biológicos, tecnológicos, medioambientales, económicos y empresariales de esta actividad. Las diferencias biológicas entre especies provocan que cada una de ellas haya sido objeto de numerosos estudios sobre los factores que las afectan sin que, en general, los resultados de los trabajos realizados sobre una determinada especie puedan ser extrapolados a las demás. Dado que el objeto de este capítulo no es una recopilación de todo el conocimiento sobre acuicultura, y que el estudio se centra en la producción de dorada y lubina, se ha optado por orientar el trabajo de revisión hacia la producción científica sobre estas dos especies, especialmente en el aspecto biológico. Tras el proceso de revisión, se concluye que los procesos de cultivo de dorada y lubina se ven afectados por la interacción de factores de todos los ámbitos mencionados al inicio de este párrafo y que por lo tanto deberían ser considerados en cualquier análisis multidisciplinar que aborde cuestiones relacionadas con el rendimiento productivo y económico de la actividad. Además, se concluye que la mayor parte del esfuerzo investigador se ha aplicado al desarrollo del conocimiento biológico de las especies, de los aspectos técnicos de su proceso de cultivo y de la

influencia de las condiciones medioambientales sobre los dos anteriores. Al contrario, los aspectos económicos y de gestión parecen no haber llamado la atención de la comunidad científica hasta la fecha. Se trata de un hecho muy llamativo dado que a pesar de la importancia de la viabilidad biológica y técnica, no deja de ser una actividad económica cuyo objetivo es obtener un rendimiento para sus propietarios y en el que por lo tanto es clave la sostenibilidad económica.

Además, la extensa revisión sobre la evolución y estado del uso de la bioeconomía en la pesca y la acuicultura muestra el creciente interés de la economía pesquera y acuícola por esta línea de conocimiento. La consideración de los aspectos biológicos y medioambientales para alcanzar la sostenibilidad económica de la actividad está mucho más extendida en la pesca que en la acuicultura. Sin embargo, en los últimos años ha crecido significativamente el número de trabajos bioeconómicos aplicados a la gestión de esta última. En el caso concreto de la dorada y la lubina existen algunos trabajos enmarcados en esta línea de conocimiento que han sentado las bases para el desarrollo de una línea de investigación, si bien existen muchas cuestiones aún en las que la bioeconomía puede contribuir a incrementar la eficiencia de los procesos de cultivo y aumentar así la competitividad de las empresas.

5.3. Conclusiones relativas a los factores explicativos de la rentabilidad de las empresas de cultivo de dorada y lubina

Tras identificar los factores que influyen en los procesos de cultivo de dorada y lubina, la siguiente cuestión a resolver es cuáles de ellos tienen mayor influencia en el rendimiento económico de las empresas que en la actualidad se dedican a la producción de estas dos especies. El estudio de la rentabilidad económica de un conjunto de empresas del sector desde una perspectiva multidisciplinar muestra cómo los aspectos técnico-biológicos pierden importancia a medida que se estandarizan los procesos productivos, mientras que se incrementa la relevancia de los aspectos medioambientales y económicos.

Las condiciones medioambientales existentes en la ubicación de la explotación, y en concreto la temperatura del agua, condicionan en gran medida la rentabilidad económica de las empresas de cría de dorada y lubina. El resultado obtenido concluye que una buena parte de las expectativas de éxito de estas empresas depende de la

capacidad para localizar las instalaciones de cultivo en entornos cuyas condiciones medioambientales favorezcan la cría de estas especies.

Asimismo, el resultado alcanzado indica que las empresas piscícolas dedicadas al cultivo de estas especies no obtienen ventajas competitivas asociadas a factores técnicos. La explicación a esta sorprendente conclusión se puede encontrar en la normalización y difusión de las tecnologías de producción, piensos e infraestructura de las instalaciones, que son ofertadas sin restricciones en el mercado por empresas globalizadas.

La dimensión de la empresa y su estrategia competitiva, determinada por la rotación del activo y el margen comercial, son los factores más relevantes para explicar la rentabilidad económica de las empresas de cultivo de dorada y lubina. Esta conclusión es coherente con la realidad empresarial del sector piscícola. La importancia de estos factores tiene su origen en el entorno económico globalizado en el que compiten las empresas en la actualidad, que condiciona la competencia en los mercados. En el caso español, los precios de comercialización han disminuido hasta niveles que en muchos casos están por debajo del coste de producción. El proceso de concentración empresarial que pretende aprovecharse de las economías de escala para reducir la pérdida de competitividad del sector ha generado un cambio en la estrategia competitiva consistente en la venta de una mayor cantidad de producto con un margen comercial menor, es decir, en aplicar una estrategia de liderazgo en costes. Esta situación, unida a la pérdida de importancia de los aspectos técnico-biológicos, revela que, en la actualidad, la creación de valor con esta actividad es fundamentalmente un problema económico. Este problema requiere la capacitación de la dirección para abordar la complejidad que supone la gestión de esta actividad.

5.4. Conclusiones relativas a la optimización económica del cultivo de dorada

Tras contrastar que en la actualidad los aspectos clave a la hora de incrementar la competitividad de las empresas de cultivo de dorada y lubina están asociados a las cuestiones económicas y de gestión de la actividad, el siguiente paso en la investigación tiene por objetivo contribuir a la optimización económica del cultivo de estas especies mediante la determinación de las estrategias de producción que maximizan los beneficios operativos de la actividad. En esta ocasión el estudio se aplica a la dorada por

ser la especie más relevante en términos de cantidad producida y valor de la misma. Para la simulación del crecimiento se recurre a un modelo bioeconómico de dorada que aporta como novedad a la literatura científica previa la consideración de un proceso de cultivo multi-lote, es decir, se considera la planificación de varios lotes de cultivo sucesivos a lo largo de un periodo de tiempo finito. Para la identificación de los valores de las variables de decisión del modelo que determinan la estrategia óptima se utiliza un algoritmo de enjambre de partículas no aplicado con anterioridad a la gestión de la acuicultura.

Los resultados del estudio permiten concluir que, bajo los parámetros de producción y optimización considerados, los problemas económicos de las empresas de dorada en España no tienen su origen en la falta de rentabilidad de esta actividad. Las estrategias óptimas de producción obtenidas en la simulación para las dos principales áreas de cultivo en España, las Islas Canarias y el Mediterráneo, son rentables. La aplicación de técnicas de gestión más productivas y eficientes como la utilizada en este estudio, ayudaría a maximizar el rendimiento económico de la actividad y recuperar la competitividad perdida.

Para producir un lote de la forma más eficiente (empleando menos tiempo y menos alimento) los productores de dorada habitualmente alimentan a los peces en los periodos de mayores temperaturas dadas las mejores tasas de conversión del alimento que se obtienen, y evitan alimentar a los peces en aguas frías, las cuales se asocian con menores tasas de conversión. Esta situación genera una alta estacionalidad en la oferta y en los precios de venta de la dorada. La mayoría de los productores despescan y comercializan la dorada en invierno, aumentando la oferta con la consiguiente reducción del precio de mercado, y tratan de utilizar los periodos estivales para obtener el máximo crecimiento del pez, con el consiguiente incremento del precio de comercialización ante la disminución de la oferta. En este contexto, las estrategias óptimas requieren alimentar a los peces durante el periodo de mayor oferta y menores precios de mercado, y despescar la dorada cuando el resto de productores reducen su oferta, y como resultado, los precios de venta son mayores.

La inclusión del problema de la rotación en el modelo bioeconómico mediante la producción multi-lote aporta otra de las conclusiones de este estudio que supone una novedad respecto a los trabajos previos sobre optimización de la producción de dorada. Cuando sólo se considera un lote de producción el cultivo de peces de mayor tamaño

genera mayores beneficios operacionales. Sin embargo, si se considera un horizonte temporal en el que se desarrollan varios lotes, los mejores resultados económicos se obtienen a través de estrategias que producen el mayor número de lotes, no a través de peces de mayor tamaño. En consecuencia, las estrategias que maximizan el valor presente de los beneficios operacionales son aquellas que generan una mayor productividad.

Finalmente, la comparación de las dos localizaciones analizadas muestra la existencia de diferencias competitivas derivadas de las condiciones medioambientales. La instalación localizada en las Islas Canarias obtiene un mejor rendimiento económico gracias a la mayor productividad de sus instalaciones de cultivo. La mayor temperatura media del agua proporciona unas mejores condiciones medioambientales para el crecimiento de los individuos en las Islas Canarias.

5.5. Conclusiones relativas a la existencia de ventajas competitivas derivadas de las condiciones medioambientales en el cultivo de dorada en el mar Mediterráneo

Tras constatar la utilidad de la bioeconomía para incrementar la eficiencia de los procesos de cultivo de dorada a través de su uso en un proceso de toma de decisiones operativas como es la determinación de la estrategia de cultivo, en el último de los análisis empíricos se estudia su utilidad en la toma de decisiones estratégicas. Entre la diversidad de aspectos estratégicos que pueden ser considerados se ha optado por estudiar y comparar cómo afecta la temperatura del agua a las estrategias de producción y el resultado económico de las mismas en las principales áreas de cultivo de dorada en la ribera mediterránea. La primera de las aplicaciones empíricas contrastó la influencia de esta variable medioambiental sobre el rendimiento económico, y el segundo de los estudios mostró, al igual que Gasca-Leyva et al. (2002), la existencia de ventajas competitivas asociadas a este factor para las empresas localizadas en las Islas Canarias. A pesar de las diferentes condiciones medioambientales existentes en el mar Mediterráneo, de la influencia de la temperatura del agua sobre los procesos fisiológicos de la dorada, y de la fuerte competencia entre las empresas productoras de esta especie en esta región geográfica, no existen trabajos previos que estudien las posibles diferencias competitivas generadas por este factor medioambiental.

Dados los supuestos y los parámetros de simulación y optimización considerados, los resultados muestran que las diferencias en la temperatura del agua entre las principales áreas de producción de dorada en el mar Mediterráneo son una fuente de ventajas competitivas para las empresas de cultivo de dorada. Una mayor temperatura media del agua genera un crecimiento más rápido de los individuos, lo que resulta en un mayor número de lotes de cultivo y en mayores pesos de despesque que permiten obtener mejores rendimientos económicos dado su mayor precio en el mercado. Al igual que en la segunda aplicación empírica, la mayor rentabilidad operativa en un periodo de tiempo finito se obtiene de la producción del mayor número posible de lotes. Una menor variabilidad en la temperatura del agua durante el año implica que la disminución de la temperatura durante el invierno es menor, lo que permite la obtención de mejores tasas de conversión del alimento. Por lo tanto, en un contexto de una estrategia óptima de producción que requiere alimentar a los peces durante los periodos de aguas frías, aquellas localizaciones con una mayor temperatura media del agua durante los meses de invierno tienen una ventaja competitiva asociada a una mayor eficiencia del proceso de alimentación.

La producción y los resultados económicos obtenidos en este estudio sirven para identificar dos áreas principales para el cultivo de dorada en el mar Mediterráneo. Las granjas localizadas en las costas mediterráneas de Grecia y Turquía operan bajo unas mejores condiciones medioambientales, las cuales crean una ventaja competitiva con respecto a las granjas localizadas en las costas mediterráneas de España e Italia. La mayor temperatura media permite a las empresas del este alcanzar un nivel de productividad más alto que sus competidores localizados en el oeste, gracias al cultivo de un mayor número de lotes. Además, la menor variabilidad de la temperatura del agua en las granjas localizadas en el este, les permite tener tasas de conversión del alimento estables durante el año, hecho que no ocurre en las granjas de España o Italia. Estos efectos positivos de las condiciones ambientales producen una mayor rentabilidad operativa en las granjas del este. En función de estos resultados, las empresas españolas de cultivo de dorada tienen una desventaja competitiva frente a las empresas griegas y turcas asociada a un factor abiótico como es la temperatura del agua. Al ser un factor ajeno a su control, deberán tratar de compensar esta posición de desventaja a través de otras actuaciones, entre las que juega un papel clave la mejora de la eficiencia de los procesos de cultivo mediante unas mejores prácticas de gestión.

5.6. Limitaciones de la investigación

A pesar de que se ha intentado seguir una metodología sistemática y rigurosa en el desarrollo de cada uno de los trabajos presentados en esta Tesis Doctoral, la investigación no está exenta de algunas limitaciones, que se explican en este apartado.

En cuanto al estudio sobre la rentabilidad de las empresas de cultivo de dorada y lubina en España, es necesario señalar que, a pesar de que los malos resultados económicos obtenidos por las empresas de cultivo de dorada y lubina son un indicador de su problemas de competitividad y justifican la realización de este trabajo, el filtro empleado en la selección de las empresas objeto de estudio (aquéllas con actividad continua y estabilidad patrimonial) ha supuesto una limitación a la hora de interpretar los resultados que únicamente son válidos para explicar la rentabilidad de las empresas económicamente viables y no pueden generalizarse a todo el sector. Por otro lado, el uso de perspectivas multidisciplinares requiere la obtención de datos de diferentes fuentes de información con restricciones y periodicidades distintas. Un buen ejemplo son los datos de temperatura del agua, procedentes de boyas que aportan datos diarios, y los datos económicos, extraídos de la información contable anual. Ello obliga a un importante esfuerzo de homogeneización de la información que limita en parte su interpretación. La decisión de analizar un conjunto de empresas en lugar de abordar el problema de una única unidad de producción ha requerido sacrificar la obtención de una mayor robustez en los resultados a cambio de alcanzar una visión de lo que está ocurriendo en una parte importante del sector productor.

Las principales limitaciones de la segunda y la tercera aplicación empírica están asociadas al modelo bioeconómico y al algoritmo de optimización utilizados. En el caso del modelo bioeconómico, la existencia de supuestos como la ausencia de dispersión en el crecimiento de los individuos o la disponibilidad de alevines durante todo el año facilitan la existencia de desviaciones entre las estrategias óptimas obtenidas en este trabajo y la evolución de la producción en la realidad. Por su parte, el algoritmo solo optimiza el rendimiento económico de una sola jaula o unidad de producción. La dificultad del problema de optimización se incrementa exponencialmente cuando se considera más de una jaula. Además, se supone que al principio de cada lote, la jaula está vacía y que durante el proceso de cultivo no se pueden hacer despesques parciales.

En el caso particular de la tercera aplicación empírica se debe considerar que, como indicó Hernández et al. (2007), la temperatura del agua es un factor medioambiental particular que influye en el crecimiento en las jaulas marinas. Por esta razón, las conclusiones del estudio no pueden ser extrapoladas directamente a otros factores medioambientales. Además, los efectos positivos de un incremento en la temperatura media del agua son válidos hasta que se alcanza la temperatura óptima para el crecimiento de la dorada. A partir de esta temperatura óptima, el crecimiento disminuye progresivamente, y las conclusiones del estudio no son aplicables. La distancia a los mercados es otra variable no considerada en el modelo y que puede ser una fuente de ventajas o desventajas competitivas en función de la distancia de las instalaciones productivas a los mercados.

En términos generales, los resultados y conclusiones de esta Tesis Doctoral aportan información relevante sobre cómo abordar los problemas de competitividad en los procesos de producción en acuicultura. Sin embargo, dadas las características específicas en el cultivo de cada especie, los resultados no son directamente extrapolables al cultivo del resto de especies. El análisis para otras especies de los factores determinantes de la rentabilidad empresarial, la identificación de las estrategias óptimas de cultivo o el análisis de la influencia de las condiciones medioambientales, entre otros, requiere de un análisis específico que tenga en cuenta las características biológicas, técnicas, medioambientales y económicas que afectan a la producción de cada especie en particular.

5.7. Futuras líneas de investigación

Finalmente, las conclusiones aportadas en la presente Tesis Doctoral permiten plantear asimismo una serie de líneas futuras de investigación en relación al estudio de la competitividad de las empresas de acuicultura desde el punto de vista de los procesos de cultivo.

En primer lugar, el análisis de la rentabilidad de las empresas de cultivo de dorada y lubina en España se ha centrado en el rendimiento de los activos y no ha considerado la estructura de financiación de la actividad productiva de este tipo de empresas. La revisión de literatura permitió constatar que hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio que analice cómo se están financiando las empresas de cultivo de estas dos especies y cómo dicha financiación está afectando al rendimiento que obtienen los

propietarios. Esta actividad económica presenta ciertas características que en muchas ocasiones dificultan el acceso de las empresas a fuentes de financiación ajenas. En concreto, lo habitual es que la actividad se realice bajo una concesión de explotación de un área marítimo-terrestre, lo que en muchos casos para las entidades financieras supone la ausencia de activos suficientes que sirvan de aval para un crédito. Además, la producción asociada a la cría de organismos vivos conlleva una serie de riesgos adicionales asociados sobre todo a la incertidumbre sobre la supervivencia de los individuos durante el proceso de cultivo. Estos factores provocan que frecuentemente las entidades financieras no accedan a financiar a las empresas de acuicultura o que en caso de hacerlo, establezcan un coste superior para las empresas debido al mayor riesgo que están asumiendo. En este contexto sería adecuado determinar si las dificultades en el acceso a la financiación están afectando negativamente al rendimiento de la actividad y a su capacidad competitiva en los mercados.

Asimismo, la segunda aplicación empírica de esta Tesis Doctoral ha mostrado la utilidad de los modelos bioeconómicos y de las técnicas de optimización de partículas para determinar las estrategias que maximizan la eficiencia de la actividad piscícola. Uno de los siguientes pasos en la investigación debería ser determinar la estrategia de cultivo óptima para la producción en una instalación de cultivo de dorada durante un periodo de varios años y ejecutarla en la realidad, de manera que se pueda contrastar su efectividad y analizar las posibles desviaciones respecto al resultado esperado. Estas desviaciones se producirían en su mayoría a causa de las limitaciones y restricciones que presenta el modelo bioeconómico en la actualidad, y cuya superación debería ser abordada en futuras investigaciones.

En tercer lugar, la determinación de las estrategias óptimas de producción no solo es aplicable a los procesos de toma de decisiones operativas, sino que como demuestra el tercer trabajo empírico desarrollado en esta Tesis Doctoral, es de utilidad para asistir en los procesos de toma de decisiones estratégicas. En esta ocasión, se evaluó el impacto de las diferencias en la temperatura del agua sobre la estrategia de cultivo más adecuada y sobre el resultado económico de la misma. Sin embargo, las posibilidades de estudio son muchas más, en tanto en cuanto se puede utilizar para tomar decisiones relativas al pienso utilizado en la alimentación, el tamaño de los alevines a utilizar, comparar posibles localizaciones de las instalaciones productivas y evaluar diferentes escenarios relacionados con los precios de venta, el coste de los insumos, la

estacionalidad de los precios de mercado y el tamaño comercial de los individuos, entre otros.

En cuarto lugar, la distancia a los mercados es otra variable no considerada en las aplicaciones empíricas desarrollas. Sin embargo, este coste debería ser incluido en estudios futuros para analizar la relación entre las ventajas competitivas derivadas de las condiciones medioambientales y aquellas resultantes de la distancia a los mercados de dorada. La mayor distancia a los mercados Europeos desde las granjas localizadas en el este del Mediterráneo, puede representar una desventaja competitiva que supere el incremento en la competitividad producido por unas mejores condiciones medioambientales. La comparación de los efectos de estos dos factores podría ayudar a identificar las áreas del mar Mediterráneo más apropiadas para la localización del cultivo de dorada.

Una forma de facilitar la transferencia al sector de los avances obtenidos en el conocimiento sobre gestión económica de la acuicultura es la normalización de herramientas que sirvan de apoyo en los procesos de toma de decisiones. Como se ha visto anteriormente, la bioeconomía y la optimización son dos áreas de conocimiento que permiten incrementar la eficiencia de los procesos de cultivo. Sin embargo, requieren de una serie de conocimientos que en general los gestores de las empresas no disponen. Para superar este problema y conseguir la transferencia de una parte del conocimiento generado en esta Tesis Doctoral, sería oportuno el desarrollo de sistemas de apoyo a la toma de decisiones o *Decision Support System* (DSS). Los DSS son sistemas informáticos los cuales a partir de una interfaz sencilla permiten a los usuarios evaluar diferentes escenarios y alternativas sin tener que acumular los conocimientos sobre simulación y optimización que utiliza el sistema.

En sexto lugar, este trabajo abre la puerta a la aplicación de la bioeconomía para la evaluación del riesgo operativo asociado a la acuicultura. Las entidades aseguradoras y financieras asocian un elevado riesgo a la actividad acuícola y por lo tanto, ofertan sus servicios a estas empresas a un mayor coste. La disminución de la incertidumbre y del riesgo existente en los procesos de cultivo contribuiría al aumento de la competitividad de las empresas de acuicultura mediante una mayor facilidad en el acceso a la financiación de la actividad y mediante la reducción del coste de la misma. La determinación de las estrategias óptimas permitiría a los gestores mostrar a entidades aseguradoras y financieras cuál es la planificación y el resultado esperado de su

actividad en un periodo determinado de tiempo. Además la determinación de las estrategias que maximizan y minimizan el rendimiento económico de la actividad permitiría acotar el riesgo operativo, informando sobre el mejor y el peor escenario económico posible en función de la habilidad de los gestores para establecer la estrategia de cultivo.

Finalmente, esta Tesis Doctoral se ha centrado en contribuir a la mejora de la eficiencia de los procesos de cultivo en los sectores de producción de dorada y lubina. Sin embargo, estas no son las únicas especies en las que las empresas necesitan optimizar el rendimiento de sus procesos de producción para mejorar la competitividad de los mismos. Por ello, una de las líneas de investigación que se abren con este trabajo es la adaptación del modelo bioeconómico utilizado en este estudio para la simulación del cultivo de otras especies y la aplicación de los algoritmos PSO a la optimización económica de su producción. Tanto las conclusiones de este trabajo como los posibles estudios futuros pueden ser de interés para investigadores y profesionales de otras especies relevantes en acuicultura marina como el salmón, la tilapia o el pez gato, e incluso para otros sectores de actividad como las aseguradoras o las entidades financieras.

The work developed in this Doctoral Thesis has focused on the study of the factors that determine the performance of aquaculture production processes and on the contribution to a more efficient management of the farming activity from a multidisciplinary approach in order to facilitate the process of improving the competitiveness of companies within the sector. Research has focused on the production of seabream (*Sparus aurata)* and seabass (*Dicentrarchus labrax)* due to the importance of these species in Spanish aquaculture and the problems that many companies have because of a loss of competitiveness. This loss of competitiveness is caused by difficulties when increasing the efficiency of their farming processes and reducing production costs, trying to facing the reduction of profit margins generated by lower selling prices resulting from increased competition.

This final chapter summarizes the main conclusions of this Doctoral Thesis, detailing the contributions and its implications for aquaculture companies, as well as a number of limitations that should be considered when interpreting results. Finally, considering these conclusions, several future lines of research are raised, that would further lead to increase the competitiveness of aquaculture enterprises through improvements in the management of production processes.

5.8. Conclusions concerning the evolution and current state of seabass and seabream farming

The role of aquaculture in the world has changed over the past four decades, during which the weight of aquaculture in world fisheries production has grown to almost half of production. Technological improvements enable that more and more aquatic organisms being grown in both marine and inland waters and advances in processing and distribution of fishery products have facilitated trade, reaching more consumers at more affordable prices.

Today, aquaculture is not only a solution to the possible lack of fish for food, but it is an activity that generates employment and trade, which provides economic dynamism to the regions in which it is developed and which demands a qualified and stable work. Spain is an example of the benefits of this activity to the economy and society, where the development of aquaculture has been an economic and business alternative that has mitigated the negative impact of reduced fishing activity. Traditionally, main Spanish aquaculture product has been the mollusk due to the

production of the Galician mussel. At present, although the mussel is still the most important species in terms of quantity, fish farming is the main source of Spanish aquaculture value.

Today, the two most important species in fish farming in Spain are seabream and seabass. Their production has been rising since early intensive productions made in the eighties and nineties respectively to put Spain as the third largest seabream producer behind Greece and Turkey and the fourth largest seabass producer behind Turkey, Greece and Egipt. However, the positive development of production has not been always related to good business results. The increasing of imports of seabream and seabass produced in Greece and Turkey led to successive price shocks over the past decade. Falling prices reduced profit margins and led many companies to bankruptcy. The price recovery in recent years has increased profits of the company. However, experience has shown that there are competitors who can sell the product at very competitive prices due to lower labor costs and more favorable environmental conditions.

In this situation, the industry has initiated reforms in order to increase competitiveness. On the one hand, by reducing the number of companies and facilities and to the concentration of production in larger scale production units in order to take advantage of economies of scale and reduce the average cost of production. On the other hand, by developing various initiatives of product differentiation in order to avoid the competition on price with imported products. However, this strategies are finding difficulties in the Spanish market, in which the most consumed fish is fresh fish, where differentiation is difficult to achieve and therefore the possibility to gain competitive advantage through this strategy. Current economic crisis must be also considered, since the price is the main factor influencing purchase decision of consumers.

Seabream and seabass producers have realized that the benefits of economies of scale are limited and that product differentiation strategies are not having the desired effect. One of the least researched lines has been the increasing efficiency through the improvement of operative processes management. Development of techniques, methodologies and models that contribute to improved decision-making processes and production strategies would contribute to improve the competitiveness of seabream and seabass farming companies, as observed in other industries such as salmon in Norway or catfish in the United States.

5.9. Conclusions concerning determinants of competitiveness of production processes in aquaculture

Considering that the main objective of the research is to contribute to improving the competitiveness of production processes in aquaculture, first step is to identify the factors that influence management, bearing in mind the complexity of the process of breeding aquatic organisms.

First approach to literature about aquaculture shows a huge amount of papers that aim to increase and improve the scientific understanding of biological, technological, environmental, economic and business issues of this activity. Biological differences between species implies that each species individually has been the subject of numerous studies about the factors affecting it so, in general, results of the work on a particular species cannot be extrapolated to others. Since the purpose of this chapter is not a compilation of all knowledge on aquaculture and that the study focuses on the production of seabream and seabass, the review process of previous scientific literature has been oriented to these two species, especially in the biological aspect. After the review process, it is concluded that the seabream and seabass farming processes are affected by the interaction of all the areas mentioned at the beginning of this paragraph, and therefore should be considered in any multidisciplinary analysis addressing issues related to productive and economic performance of the activity. Furthermore, it is concluded that most of research effort has been applied to the development of biological knowledge of the species, to the technical aspects of the farming process and to the influence of environmental conditions on both. On the contrary, economic and management issues seems to be unattended to date. This is a very striking fact since despite the importance of the biological and technical feasibility, it is still an economic activity whose aim is to generate a profit to their owners and in which economic sustainability is, therefore, a key issue.

In addition, the extensive review on the evolution and status of the use of bioeconomy in fisheries and aquaculture shows the growing interest of fisheries and aquaculture economics in this line of research. Consideration of biological and environmental issues to achieve economic sustainability is more widespread in fisheries than in aquaculture. However, the number of papers about bioeconomy applied to aquaculture has increased significantly in recent years. Particularly, in the case of

seabream and seabass, there are some papers framed in this line of knowledge that have laid the foundation for the development of a line of research, although there are still many issues in which bioeconomy can help to increase efficiency in farming processes and increasing the competitiveness of companies.

5.10. Conclusions concerning explanatory factors of the profitability of seabream and seabass farming

After identifying the factors that influence seabream and seabass farming processes, next question to address is to known which of them has more influence on the economic performance of companies that currently work in the production of these two species. The study of the profitability of a set of companies of the industry from a multidisciplinary perspective shows how technical and biological aspects lose importance when production processes are standardized, while relevance of environmental and economic aspects increases.

Environmental conditions at the location of the farm, and in particular the temperature of the water, determine to a large extent the economic profitability of seabream and seabass farming companies. This result concludes that many of prospects of success of these companies depend on the ability to locate future farming facilities in environments whose conditions will favor the breeding of these species.

Furthermore, this result indicates that companies related to farming of these species do not gain competitive advantages associated with technical factors. The explanation for this surprising conclusion can be found in the standardization and dissemination of production technologies, feed and infrastructure facilities, which are offered without market restrictions by global companies.

The size of the company and its competitive strategy, determined by the asset turnover and the profit margin, are the most relevant factors to explain the profitability of seabream and seabass farming companies. This conclusion is consistent with the business reality of the fishery sector. The importance of these factors has its origin in the global economic environment in which companies compete today, which therefore condition market competition. In Spain, marketing prices have fallen to levels that are often below the cost of production. The process of business concentration which aims to take advantage of economies of scale in order to reduce the loss of competitiveness of

the sector has generated a change in the competitive strategy involving the sale of a larger quantity of product with a lower profit margin, that is, a strategy of cost leadership. This situation, in addition to the loss of importance of technical and biological aspects, reveals that, at present, the creation of value through this activity is primarily and economic problem. This problem requires the training of managers to address the complexity of managing this activity.

5.11. Conclusions concerning the economic optimization of seabream

After testing that, at present, key aspects in increasing the competitiveness of seabream and seabass farming companies are associated with economic issues and management of the activity, next step in the research aims to contribute to the economic optimization of the cultivation of these species by determining productive strategies that maximize operational benefits of the activity. This time the study is applied to seabream, since it is the most important species in terms of quantity and value of production. A bioeconomic model of seabream is used to determine growth simulation, which introduces a novelty regarding previous literature since it is considered a process of multi batch production, that is, the planning of several successive batches in a finite period of time. For the identification of the values of the decision variables of the model that determine the optimal strategy, a particle swarm optimization algorithm, which is not previously applied to the aquaculture management, is used.

Results of the study support the conclusion that, under the production and optimization parameters considered, the economic problems of Spanish seabream companies are not rooted in the lack of profitability of this activity. Optimal production strategies obtained in the simulation for the two main growing areas in Spain – the Canary Islands and the Mediterranean – are profitable. The application of more productive and efficient management techniques, similar to those used in this study, would help to maximize the economic performance of the activity and recover lost competitiveness.

In order to obtain a batch in a most efficient way (employing less time and less food), seabream producers usually feed the fish during the periods of higher temperatures due to the best feed conversion rates which are obtained, and avoid feeding the fish in colder temperatures, which are associated with lower conversion rates. This situation generates a high seasonality in the supply and in the sale prices of

the seabream. Most of producers harvest and put seabream on the market in winter, increasing supply and thereby reducing the market price, and try to use the summer periods to obtain the maximum growth of the fish, thereby increasing market price facing decrease of supply. In this context, the optimal strategies require to feed the fish during the period of increased supply and lower market prices, and harvest the fish when other producers reduce their supply, and as a result, sale prices are higher.

The inclusion of the rotation problem in the bioeconomic problem using multi batch production provides another of the findings of this study which is also a novelty compared to previous work on optimization of seabream production. When only a batch of production is considered, farming of larger fishes generates greater operational benefits. However, if a time horizon where multiple batches are considered, best economic results are obtained through strategies that produce the greatest number of batches, not by larger size of fish. Consequently, strategies that maximize the present value of the operational benefits are those that generate higher productivity.

Finally, the comparison of the two locations analyzed shows the competitive differences related to environmental conditions. The facility located in the Canary Islands gets better economic performance due to the greater productivity of the batches. The highest average water temperature provides better environmental conditions for the growth of fish in the Canary Islands.

5.12. Conclusions concerning the existence of competitive advantages derived from the environmental conditions when farming seabream in the Mediterranean Sea

Having established the utility of the bioeconomy to increase efficiency in seabream farming processes through its use in a process of operative decision-making, such as the determination of the strategy of farming, in the last of the empirical analysis, its utility in strategic decision-making is studied. Among the variety of strategic issues that can be considered, it has been chosen to study and compare how water temperature affects the production strategies and its economic performance of the main seabream farming areas in the Mediterranean coast. The first empirical application contrasts the influence of this environmental variable on economic performance, and the second paper showed, like the work of Gasca-Leyva et al. (2002), the existence of competitive

advantages associated with this factor for companies located in the Canary Islands. Despite the various existing environmental conditions in the Mediterranean Sea, the influence of water temperature on physiological processes of seabream and the strong competition among producers of this species in this geographic region, there are no previous works that study possible competitive differences generated by this environmental factor.

Given the assumptions and simulation and optimization parameters considered, the results show that differences in water temperature between main seabream production areas in the Mediterranean Sea are a source of competitive advantage for seabream farming companies. A higher average water temperature generates a faster growth of individuals, resulting in a greater number of batches and higher harvesting weights that allow obtaining better economics returns given its higher price in the market. As in the second empirical application, the highest operational profitability in a finite period of time is obtained from the production of the greatest possible number of batches. A lower variability in water temperature during the year implies that the decrease in temperature in winter is lower, which allows obtaining better feed conversion rates. Therefore, in the context of an optimal strategy of production that requires to feed the fish during the period of cooler water, those locations with higher average water temperature during the winter months have a competitive advantage associated with greater efficiency in the feeding process.

Production and economic results obtained in this study serve to identify two main areas for seabream farming in the Mediterranean Sea. Farms located on the Mediterranean coasts of Greece and Turkey operate under better environmental conditions, which create a competitive advantage over farms located on the Mediterranean coast of Spain and Italy. A highest average temperature allows companies of the east to reach a higher level of productivity than their competitors located in the west, through the farming of a greater number of batches. In addition, the lower variability of water temperature in the farms located in the East, allows them to have stable feed conversion rates during the year, opposite to what happens in Spanish or Italian farms. These positive effects of environmental conditions produce higher operating profitability on farms in the East. Based on these results, Spanish seabream farming companies have a competitive disadvantage compared to Greek and Turkish companies, associated to an abiotic factor as water temperature. Being a factor beyond

their control, they should try to compensate for this disadvantage through other activities, including the improvement of the efficiency of farming processes through better management practices.

5.13. Limitations of research

Although a systematic and rigorous methodology has been tried to apply in the development of each of the works presented in this Doctoral Thesis, research is not exempt from some limitations, which are explained in this section.

As for the study on the profitability of seabream and seabass farming in Spain, it should be noted that, despite that the bad economic performance obtained by farming companies is an indicator of a problem of competitiveness and justify the development of this work, the filter used in the selection of companies under study (those with continuous activity and stable patrimony) has been a limitation when interpreting the results, since they are only valid to explain the profitability of companies which are economically viable and cannot be generalized to the entire sector. On the other hand, the use of multidisciplinary approaches requires obtaining data from different sources of information which have different restrictions and periodicities. A good example is the data of water temperature, from buoys that provide daily data, and economic data, obtained from the annual accounting information. This leads to a major effort to standardize the information and influences the interpretation of results. The decision to analyze a set of companies rather than addressing the problem of a single production unit has led to sacrifice more robust results in return to achieve a vision of what is happening in an important part of the industry.

Main limitations of second and third empirical applications are associated with the bioeconomic model and the optimization algorithm used. In the case of the bioeconomic model, the existence of assumptions such as the absence of dispersion in the growth of individuals or the availability of fingerlings throughout the year facilitates the existence of deviations between the posed optimal strategies obtained in this work and the evolution of real production. For its part, the algorithm only optimizes the economic performance of a single cage or production unit. The difficulty of the optimization problem increases exponentially when more than one cage is considered. Furthermore, it is assumed that at the beginning of a batch, the cage is empty and that during the farming process partial harvesting cannot be made.

In the particular case of the third empirical application, it should be considered that, as indicated by Hernández et al. (2007), the water temperature is a particular environmental condition influencing growth in marine cages. For this reason, the conclusions of the study cannot be extrapolated directly to other environmental factors. In addition, the positive effects of an increase in the average water temperature is valid until it reaches the optimum temperature for seabream growth. From this optimal temperature, growth gradually decreases, and the conclusions of the study are not applicable. Distance to markets is another variable not considered in the model and it can be a source of competitive advantages or disadvantages depending on the distance from the production facilities to markets.

Overall, results and conclusions of this Doctoral Thesis provide relevant information on how to address the problems of competitiveness in aquaculture production processes. However, given the specific farming characteristics of each species, results cannot be extrapolated to other species. The analysis for other species of the determinants of corporate profitability, the identification of optimal farming strategies or the analysis of the influence of environmental conditions, among other, requires a specific analysis that takes into account the biological, technical, environmental and economic issues affecting the production of a particular species.

5.14. Future lines of research

Finally, conclusions drawn in this Doctoral Thesis allow to raise a number of future lines of research related to the study of the competitiveness of aquaculture companies from the point of view of farming processes.

First, the analysis of profitability of seabream and seabass farming companies in Spain has focused on the return on assets and has not considered the financing structure of the productive activity of these businesses. The literature review helped to confirm that, to date, there has been no study that analyzes how seabream and seabass farming companies finance themselves and how such funding affect the performance of owners. This economic activity has certain characteristics that often hinder business access to outside funding sources. In particular, it is usual that the activity is carried out under a concession to operate in a sea/land area, which is in many cases considered by financial institutions as the absence of sufficient assets to serve as collaterals for a loan. Furthermore, the production associated with the farming of living organisms has a

number of additional risks associated mainly to the uncertainty about the survival of individuals during the farming process. These factors often cause that financial institutions do not agree to fund aquaculture companies or if they do, they establish a higher cost for business due to the higher risk they are taking. In this context, it would be appropriate to determine whether difficulties in access to finance are adversely affecting the performance of the activity and its ability to compete in markets.

Also, the second empirical application of this Doctoral Thesis has shown the utility of bioeconomic models and particle optimization techniques to determine strategies that maximize the efficiency of fish farming. One of the next steps in research should be to determine optimal farming strategy for production in a specific seabream farming facility during a specified period of several years and develop it in reality, so as to compare and analyze its effectiveness and possible deviations from expected result. These deviations would take place mainly because of the limitations and constraints of current bioeconomic model, whose improvement should be addressed in future research.

Third, the determination of optimal production strategies is not only applicable to operative decision-making processes, but, as evidenced by the third empirical work developed in this Doctoral Thesis, it is useful to assist in the strategic decision-making processes. On this occasion, the impact of differences in water temperature on the most appropriate farming strategy and its economic performance has been evaluated. However, there is a huge potentiality, since it can be used to make decisions regarding the feed used, the size of the fingerlings, or it can be used to compare possible locations of production facilities and evaluate different scenarios related to selling prices, cost of inputs, seasonality of market prices and market size of individuals, among others.

Fourth, the distance to markets is another variable not considered in developed empirical applications. However, this cost should be considered in future studies in order to analyze the relationship between competitive advantages derived from environmental conditions and those resulting from the distance to seabream markets. The greater distance to European markets from farms located in the Eastern Mediterranean may represent a competitive disadvantage that may exceed the increase in competitiveness caused by better environmental conditions. The comparison of the effects of these two factors could help to identify those areas of the Mediterranean Sea more appropriate for the location of seabream farming.

One way to facilitate the transfer to industry of the advances in knowledge about economic management in aquaculture is the standardization of tools that support the processes of decision-making. As seen above, bioeconomy and optimization are two areas of knowledge that will increase productivity and efficiency of farming processes. However, they require a set of skills that managers generally do not have. In order to overcome this problem and get the transfer of part of the knowledge generated in this Doctoral Thesis, it would be appropriate to develop systems to support decision-making or Decision Support Systems (DSS). DSS are computer systems which are based on a simple interface that allows users to evaluate different scenarios and alternatives without having to accumulate the knowledge on simulation and optimization that the system uses.

Sixth, this work opens the door to the application of the bioeconomy for the assessment of operational risk associated with aquaculture. Insurance entities and financial institutions associate aquaculture activity with a high risk and therefore, they offer their services to these companies at a higher cost. The reduction of uncertainty and risk in farming processes would contribute to increasing competitiveness of aquaculture companies through increased ease of access to financing and by reducing the cost of it. The determination of optimal strategies would allow managers to show insurance entities and financial institutions what is the planning of the activity and the expected outcome in a given period of time. Besides, determining the strategies that maximize and minimize economic performance of the activity would limit operational risk, reporting on the best and the worst economic scenario depending on the ability of managers to establish the farming strategy.

Finally, this Doctoral Thesis has focused on contributing to the improvement of the efficiency of farming processes in the seabream and seabass industry. However, these are not the only species in which companies need to optimize the performance of their production processes in order to improve competitiveness. Therefore, one of the lines of research opened up by this work is the adaptation of the bioeconomic model used in this study to simulate the farming of other species and the application of PSO algorithms to the economic optimization of its production. Both the findings of this work and possible future studies may be of interest to researchers and practitioners of other relevant marine aquaculture species such as salmon, tilapia or catfish, and even for other sectors such as insurance companies or financial entities.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

ACOSTA, M. (1999). Factores financieros internos y competitividad empresarial. Tesis Doctoral, Universidad de la Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España.

ACOSTA, M.; CORREA, A. y BARRIOS DEL PINO, I. (2004). Análisis de las ventajas competitivas económico-financieras: Una aplicación empírica a la industria manufacturera española. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 10 (1), pp. 93-111.

ACOSTA, M.; CORREA, A. y GONZÁLEZ PÉREZ, A.L. (2002). Factores determinantes de la rentabilidad financiera de las pymes. *Revista Española de Financiación y Contabilidad* XXXI (112), pp. 395-430.

AGAR, J.J. y SUTINEN, J.G. (2004). Rebuilding strategies for multispecies fisheries: A stylized bioeconomic model. *Environmental and Resource Economics*, 28 (1), pp. 1-29.

AHMED, M.; BOONCHUWONGSE, P.; DECHBOON, W. y SQUIRES, D. (2007). Overfishing in the gulf of Thailand: Policy challenges and bioeconomic analysis. E*nvironment and Development Economics*, 12 (1), pp. 145-172.

AHMED, N. U.; MONTAGNO, R. V. y FIRENZE, R. J. (1996). Operations strategy and organizational performance: An empirical study. *International Journal of Operations and Production Management*, 16 (5), pp. 41-53.

AKPALU, W. y BITEW, W.T. (2011). Species diversity, fishing induced change in carrying capacity and sustainable fisheries management. *Ecological Economics*, 70 (7), pp. 1336-1343.

AKPALU, W. y VONDOLIA, G.K. (2012). Bioeconomic model of spatial fishery management in developing countries. *Environment and Development Economics*, 17 (2), pp. 145-161.

ALBORNOZ, V.; CANALES, C. y FAZZI, R. (2006). An optimization model for computing the total allowable catch quota for yellow squat lobster. *Investigaciones Marinas*, 34 (1), pp. 15-21.

ALLEN, P.; BOTSFORD, L.; SCHUUR, A. y JOHNSTON, W. (1984). *Bioeconomics of aquaculture, developments in aquaculture and fisheries science*. Elsevier Science Ltd, Nueva York, Estados Unidos.

ALLIOT, E.; PASTOUREAUD, A. y THEBAULT, H. (1983). Influence de la temperature et de la salinite sur la croissance et la composition corporelle d'alevins de *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 31 (2-4), pp. 181-194.

ALONSO, J.A. (1992). Ventajas comerciales y competitivas: aspectos conceptuales y empíricos. *Información Comercial Española*, 705, pp. 38-76.

ÁLVAREZ-DÍAZ, M. y DOMINQUEZ-TORREIRO, M. (2006). Using genetic algorithms to estimate and validate bioeconomic models: The case of the ibero-atlantic sardine fishery. *Journal of Bioeconomics*, 8 (1), pp. 55-65.

AMAT-SALAS, O. (1994). *Análisis de estados financieros: Fundamentos y aplicaciones*. Gestión 2000, España.

AMUNDSON, S. D. (1998). Relationship between theory-driven empirical research in operations management and other disciplines. *Journal of Operations Management*, 16, pp. 341-359.

ANDA-MONTAÑEZ DE, J.A.; RAMOS-RODRÍGUEZ, A. y MARTÍNEZ-AGUILAR, S. (2010). Effects of environmental variability on recruitment and bioeconomic modelling in the Pacific sardine (*Sardinops Sagax Caerulea*) fishery from Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico. *Scientia Marina*, 74 (1), pp. 25-35.

ANDERSEN, B.S.; VERMARD, Y.; ULRICH, C.; HUTTON, T. y POOS, J.J. (2010). Challenges in integrating short-term behaviour in a mixed-fishery management strategies evaluation frame: A case study of the North Sea flatfish fishery. *Fisheries Research*, 102 (1-2), pp. 26-40.

ANDERSON, L.G. (1977). *The economics of fisheries management*. John Hopkins University Press, Nueva York, Estados Unidos.

ANDERSON, M. y SOHAL, A. (1999). A study of the relationship between quality management practices and performance in small businesses. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 16 (9), pp. 859-877.

APPELBAUM, S. y AROCKIARAJ, A.J. (2009). Cultivation of gilthead sea bream (*sparus aurata linnaeus*, 1758) in low salinity inland brackish geothermal water. *AACL Bioflux*, 2 (2), pp. 197-204.

APPELBAUM, S. y JESUAROCKIARAJ, A. (2009). Salt incorporated diets for enhancing growth performance and survival in gilthead sea bream *Sparus aurata* L. juveniles reared in low saline brackish water [Dietas con sal incorporada para mejorar el rendimiento en el crecimiento y supervivencia de juveniles de dorada *Sparus aurata* L. criados en aguas salobres de baja salinidad]. *Scientia Marina*, 73 (1), pp. 213-217.

APROMAR (2004). *La piscicultura marina de peces en España. Informe de producción 2004*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

APROMAR (2005). *La acuicultura marina de peces en España 2005*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

APROMAR (2006). *La acuicultura marina de peces en España 2006*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

APROMAR (2007). *La acuicultura marina de peces en España 2007*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

APROMAR (2008). *La acuicultura marina de peces en España 2008*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

APROMAR (2009). *La acuicultura marina de peces en España 2009*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

APROMAR (2010). *La acuicultura marina de peces en España 2010*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

APROMAR (2011). *La acuicultura marina de peces en España 2011*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

APROMAR (2012). *La acuicultura marina de peces en España 2012*. Asociación empresarial de productores de cultivos marinos en España.

ARBUCKLE, J.L. (2006). *Amos 7.0 user´s guide*. SPSS, Chicago, Estados Unidos.

ARIAS, A. M. (1980). Crecimiento, régimen alimentario y reproducción de la dorada (*Sparus aurata L.*) y del robalo (*Dicentrarchus labrax L.*) en los esteros de Cádiz. *Investigación Pesquera*, 44 (1), pp. 59-83.

ARIAS, A. M. y DRAKE, P. (1990). *Estados juveniles de la ictiofauna en los caños de las salinas de la Bahía de Cádiz*. Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (CSIC), Cádiz, España.

ARMSTRONG, C.W. y SKONHOFT, A. (2006). Marine reserves: A bio-economic model with asymmetric density dependent migration. *Ecological Economics*, 57 (3), pp. 466-476.

ARMSWORTH, P.R.; BLOCK, B.A.; EAGLE, J. y ROUGHGARDEN, J.E. (2011). The role of discounting and dynamics in determining the economic efficiency of time-area closures for managing fishery bycatch. *Theoretical Ecology*, 4 (4), pp. 513-526.

ARNASON, R. (1992). Optimal feeding schedules and harvesting time in aquaculture. *Marine Resource Economics*, 7 (1), pp. 15-35.

ASCHE, F. Y BJØRNDAL, T. (2011). *The economics of salmon aquaculture.* Blackwell Publishing Ltd, Oxford, Reino Unido.

ASHFIELD, A.; CROSSON, P. y WALLACE, M. (2013). Simulation modelling of temperate grassland based dairy calf to beef production systems. *Agricultural Systems*, 115, pp. 41-50.

ATALAH, E.; HERNÁNDEZ-CRUZ, C.M.; GANUZA, E.; BENÍTEZ-SANTANA, T.; GANGA, R.; ROO, J.; MONTERO, D. e IZQUIERDO, M. (2011). Importance of dietary arachidonic acid for the growth, survival and stress resistance of larval European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed high dietary docosahexaenoic and eicosapentaenoic acids. *Aquaculture Research*, 42 (9), pp. 1261-1268.

AVILES, M. (1993). Identificación y organización de los componentes celulares del timo de lubina (*Dicentrarchus labrax L.*).Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, Murcia, España.

AYALA, M.D., LÓPEZ-ALBORS, O.; GIL, F.; GARCÍA-ALCÁZAR, A.; ABELLÁN, E.; ALARCÓN, J.A. et al. (2001). Temperature effects on muscle growth in two populations (Atlantic and Mediterranean) of sea bass, *Dicentrarchus Labrax* L. *Aquaculture*, 202 (3-4), pp. 359-370.

AZOFRA, V.T. (1995). Sobre el análisis financiero y su nueva orientación. *Anales de Estudios Económicos y Empresariales*, 10, pp. 9-28.

B

BAIN, J.S. (1959). *Industrial organization*. John Wiley, Nueva York, Estados Unidos.

BALLESTRAZZI, R.; LANARI, D. y D'Agaro, E. (1998). Performance, nutrient retention efficiency, total ammonia and reactive phosphorus excretion of growing European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) as affected by diet processing and feeding level. *Aquaculture*, 161, pp. 55-65.

BARAHONA-FERNANDES, M.H. (1978). Effect of aeration on the survival and growth of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) larvae: A preliminary study. *Aquaculture*, 14 (1), pp. 67-74.

BARBARO, A.; FRANCESCON, A.; BERTAGGIA, R. y ANTONINI, G. (1986). Crescita, sopravvivenza e produzione in ambiente vallivo di una popolazione di *Sparus aurata* riprodotta artificialmente. *Quaderni della Civica Stazione di Idrobiologia di Milano*, 13, pp. 21-29.

BARNABE, G. (1991). *Acuicultura, vol. II*. Omega, Barcelona, España.

BARNEY, J.B. (1986). Strategic factors markets: Expectations, luck and business strategy. *Management Science*, 32, pp. 1231-1241.

BARNEY, J.B. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of management*, 17, pp. 99-120.

BARNEY, J.B.; WRIGHT, M. y KETCHEN, D. J. (2001). The resource-based view of the firm: Ten years after 1991. *Journal of Management*, 27 (6), pp. 625-641.

BASARAN, F.; ŞEN, H. y KARABULUT, Ş. (2007). Effects of 2-phenoxyethanol on survival of normal juveniles and malformed juveniles having lordosis or nonfunctional swimbladders of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758). *Aquaculture Research*, 38 (9), pp. 933-939.

BAYARRI, M.J.; RODRÍGUEZ, L.; ZANUY, S.; MADRID, J.A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J.; KAGAWA, H.; OKUZAWA, K. y CARRILLO, M. (2004). Effect of photoperiod manipulation on the daily rhythms of melatonin and reproductive hormones in caged European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *General and Comparative Endocrinology*, 136 (1), pp. 72-81.

BEAVER, W.H. (1966). Financial ratios as predictors of failure. *Journal of Accounting Research*, 4, pp. 71-111.

BEIRAO, J.; ZILLI, L.; VILELLA, S.; CABRITA, E.; SCHIAVONE, R.; HERRAEZ y M.P. (2012). Improving sperm cryopreservation with antifreeze proteins: effect on gilthead seabream (*Sparus aurata*) plasma membrane lipids. *Biology of Reproduction*, 86, pp. 59-59.

BENEDITO-PALOS, L.; SAERA-VILA, A.; CALDUCH-GINER, J.A.; KAUSHIK, S. y PÉREZ-SÁNCHEZ, J. (2007). Combined replacement of fish meal and oil in practical diets for fast growing juveniles of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): Networking of systemic and local components of GH/IGF axis. *Aquaculture*, 267 (1-4), pp. 199-212.

BENETTI, D.D.; BENETTI, G.I.; RIVERA, J.A.; SARDENBERG, B. y O'HANLON, B. (2010). Site selection criteria for open ocean aquaculture. *Marine Technology Society Journal*, 44 (3), pp. 22-35.

BENÍTEZ-SANTANA, T.; MASUDA, R.; JUÁREZ-CARRILLO, E.; GANUZA, E.; VALENCIA, A.; HERNÁNDEZ-CRUZ, C.M. e IZQUIERDO, M.S. (2007). Dietary n-3 HUFA deficiency induces a reduced visual response in gilthead seabream *Sparus Aurata* larvae. *Aquaculture*, 264 (1-4), pp. 408-417.

BEN-TUVIA, A. (1979). Studies of the population and fisheries of *Sparus aurata* in the Bardawil Lagoon, eastern Mediterranean. *Investigación Pesquera*, 43, pp. 43-67.

BERGER, J.O. (1985). *Statistical decision theory and Bayesian analysis*. Springer-Verlag New York Inc, Nueva York, Estados Unidos.

BEVERTON, R.J.H. y HOLT, S.J. (1957). *On the dynamics of exploited fish populations*. Chapman and Hall, Londres, Reino Unido.

BHAT, M.G. y BHATTA, R. (2006). Mechanization and technical interactions in multi-species indian fisheries: implications for economic and biological sustainability. *Marine Policy*, 30 (3), pp. 237-248.

BHAT, M.G. y HUFFAKER, R.G. (1991). Private property rights and forest preservation in Karnataka Western Ghats, India. *American Journal of Agricultural Economics*, 73 (2), pp. 375-387.

BHATTARAI, G.; SRIVASTAVA, P.; MARZEN, L.; HITE, D. y HATCH, U. (2008). Assessment of economic and water quality impacts of land use change using a simple bioeconomic model. *Environmental Management*, 42 (1), pp. 122-131.

BINI, G. (1973). Sparus Aurata species fact sheet. En: Fischer, W. (Eds.). *FAO species identification sheets for fisheries purpouses. Mediterranean and Black Sea, (Fhising area 37), Vol. I*. FAO, Roma, Italia.

BISCHI, G.I.; LAMANTIA, F. y SBRAGIA, L. (2009). Strategic interaction and imitation dynamics in patch differentiated exploitation of fisheries. *Ecological Complexity*, 6 (3), pp. 353-362.

BJØRNDAL, T. (1988). Optimal harvesting of farmed fish. *Marine Resource Economics*, 5 (2), pp. 139-159.

BJØRNDAL, T. (1990). *The economics of salmon aquaculture*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, Reino Unido.

BJØRNDAL, T.; GORDON, D.V. y BEZABIH, M. (2012). Measuring potential profits in a bioeconomic model of the mixed demersal fishery in the North Sea. *Journal of Bioeconomics*, 14 (2), pp. 147-166.

BJØRNDAL, T.; LANE, D.E. y WEINTRAUB, A. (2004). Operational research models and the management of fisheries and aquaculture: A review. *European Journal of Operational Research*, 156 (3), pp. 533-540.

BJØRNDAL, T. y LINDROOS, M. (2012). Cooperative and non-cooperative management of the Northeast Atlantic cod fishery. *Journal of Bioeconomics*, 14 (1), pp. 41-60.

BJÖRNSSON, B.; STEINARSSON, A. y ÁRNASON, T. (2007). Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): Effects of temperature and body weight on growth rate. *Aquaculture*, 271 (1-4), pp. 216-226.

BJÖRNSSON, B.; STEINARSSON, A. y ODDGEIRSSON, M. (2001). Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science*, 58 (1), pp. 29-38.

BLANCO-VIVES, B.; VILLAMIZAR, N. y SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. (2009). Efecto del espectro de luz y fotoperiodo en el crecimiento, desarrollo y supervivencia en el

lenguado *Solea senegalensis*. Libro de Resúmenes del XII Congreso Nacional de Acuicultura. Sociedad Española de Acuicultura, Madrid, España, pp. 472.

BLUM, C. y ROLI, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, 35 (3), pp. 268-308.

BONABEAU, E.; DORIGO, M. y THERAULAZ, G. (1999). *Swarm intelligence: from natural to artificial systems*. Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos.

BOSCH, D.; KUMINOFF, N.; STEPHENSON, K.; MILLER, A.; POPE, J. y HARRIS, A. (2010). Evaluation of policy options for expanding oyster aquaculture in Virginia. *Aquaculture Economics and Management*, 14 (2), pp. 145-163.

BOTSFORD, L.W.; SCHUUR, A.M.; SHLESER, R. y RAUCH, H.E. (1975). An economically optimum aquaculture facility. Proceedings of the annual meeting of the World Mariculture Society, 6 (1-4), pp. 407-420.

BOUJARD,T.; GELINEAU, A.; COVES, D.; CORRAZE, G.; DUTTO, G.; GASSET, E. y KAUSHIK,S. (2004). Regulation in feed intake, growth, nutrient and energy utilisation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed high fat diet. *Aquaculture*, 231, pp. 529-545.

BOZOGLU, M. y CEYHAN, V. (2009). Cost and profitability analysis for trout and sea bass production in the Black Sea, Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8 (2), pp. 217-222.

BRENNAN, D. (1998). The impact of river access rules on dairy farm incomes: A case study of the Williams River. *Agricultural Systems*, 57 (4), pp. 571-584.

BRETT, J.R. (1972). The metabolic demand for oxygen in fish, particularly salmonids, and a comparison with other vertebrates. *Respiration Physiology*, 14, pp. 151-170.

BRETT, J. R. (1979). Environmental factors and growth. En: Hoar, W.S.; Randall, D.J. y Brett, J.R. (Eds.). *Fish Physiology*. Academic Press, Londres, Reino Unido.

BRETT, J. R. y GROVES, T. D. D. (1979). Physiological energetics. En: W.S.; Randall, D.J. y Brett, J.R. (Eds.). *Fish Physiology*. Academic Press, Londres, Reino Unido.

BRETT, J.R.; SHELBOURN, J.E. y SHOOP, C.T. (1969). Growth rate and body composition of fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, in relation to

temperature and ration size. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 26, pp. 2363-2394.

BRINER, S. y FINGER, R. (2013). The effect of price and production risks on optimal farm plans in Swiss dairy production considering 2 different milk quota systems. *Journal of Dairy Science*. Pendiente de publicación.

BRIONES, R.M. (2006). Projecting future fish supplies using stock dynamics and demand. *Fish and Fisheries*, 7 (4), pp. 303-315.

BROCKINGTON, N.R.; GONZALEZ, C.A.; VEIL, J.M.; VERA, R.R.; TEIXEIRA, N.M. y DE ASSIS, A.G. (1983). A bio-economic modelling project for small-scale milk production systems in South-East Brasil. *Agricultural Systems*, 12 (1), pp. 37-60.

BUCK, B.H.; EBELING, M.W. y MICHLER-CIELUCH, T. (2010). Mussel cultivation as a co-use in offshore wind farms: Potential and economic feasibility. *Aquaculture Economics and Management*, 14 (4), pp. 255-281.

BUENO, E. (1987). La competitividad de la empresa española. *Revista Española de financiación y Contabilidad*, 54, pp. 733-740.

BUNNELL, D.B.; LIPTON, D.W. y MILLER, T.J. (2010). The bioeconomic impact of different management regulations on the Chesapeake Bay blue crab fishery. *North American Journal of Fisheries Management*, 30 (6), pp. 1505-1521.

BUNTING, S.W.; BOSMA, R.H.; VAN ZWIETEN, P.A.M. y SIDIK, A.S. (2013). Bioeconomic modeling of shrimp aquaculture strategies for the mahakam delta, Indonesia. *Aquaculture Economics and Management*, 17 (1), pp. 51-70.

BUREL, C.; PERSON-LE RUYET, J.; GAUMET, F.; LE ROUX, A.; SEVERE, A. y BŒUF, G. (1996). Effects of temperature on growth and metabolism in juvenile turbot. *Journal of Fish Biology*, 49 (4), pp. 678-692.

C

CACHO, O.J. (1997). Systems modeling and bioeconomic modeling in aquaculture. *Aquaculture Economics and Management*, 1, pp. 45-64.

CACHO, O.J.; HATCH, U. y KINNUCAN, H. (1990). Bioeconomic analysis of fish growth: effects of dietary protein and ration size. *Aquaculture*, 88 (3-4), pp. 223-238.

CACHO, O.J.; KINNUCAN, H. y HATCH, U. (1991). Optimal control of fish growth. *American Journal of Agricultural Economics*, 73 (1), pp. 174-183.

CADDY, J.F. y CSIRKE, J. (1983). Approximation to sustainable yield for exploited and unexploited stocks. *Océanographie Tropicale*, 18 (1), pp. 3-15.

CADDY, J.F. y DEFEO, O. (1996). Fitting the exponential and logistic surplus yield models with mortality data: some explorations and new perspectives. *Fisheries Research*, 25, pp. 39-62.

CADDY, J.F. y GULLAND, J.A. (1983). Historical patterns of fish stocks. *Marine Policy*, 7, pp. 267-278

CALDERER, A. (2001). Influencia de la temperatura y la salinidad sobre el crecimiento y consumo de oxígeno de la dorada (*Sparus aurata*). Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, Barcelona, España.

CAMPBELL, H.F. y KENNEDY, J.O.S. (2007). Alternative futures for southern bluefin tuna. *International Journal of Global Environmental Issues*, 7 (2-3), pp. 240-254.

CANO, I.; FERRO, P.; ALONSO, M.C.; SARASQUETE, C.; GARCÍA-ROSADO, E.; BORREGO, J.J. y CASTRO, D. (2009). Application of in situ detection techniques to determine the systemic condition of Lymphocystis disease virus infection in cultured gilt-head seabream, *Sparus aurata* L. *Journal of Fish Diseases*, 32 (2), pp. 143-150.

CANO, I.; VALVERDE, E.J.; LÓPEZ-JIMENA, B.; ALONSO, M.C.; GARCÍA-ROSADO, E.; SARASQUETE, C.; BORREGO, J.J. y CASTRO, D. (2010). A new genotype of Lymphocystivirus isolated from cultured gilthead seabream, *Sparus aurata* L., and Senegalese sole, *Solea senegalensis* (Kaup). *Journal of Fish Diseases*, 33, pp. 695-700.

CARAZO, I.; CHEREGUINI, O.; HUNTINGFORD, F.; MARTIN, I.; NORAMBUENA, F. y DUNCAN, N. (2009). Observaciones del cortejo de lenguado (*Solea senegalensis*, Kaup 1858) salvaje mantenido en cautividad. Libro de Resúmenes del XII Congreso Nacional de Acuicultura. Sociedad Española de Acuicultura, Madrid, España, pp. 484.

CARTIGNY, R., GÓMEZ, W. y SALGADO, H. (2008). The spatial distribution of small- and large-scale fisheries in a marine protected area. *Ecological Modelling*, 212 (3-4), pp. 513-521.

CASTELLÓ-ORVAY, F. y CALDERER. A. (1993). Growth of gilthead sea bream (*Sparus aurata L.*) under different culture conditions. En: Barnabé, G. y Kestemont, P. (Eds.). *Production, Environment and Quality*. Bordeaux Aquaculture'92, E.A.S. Special publication, Ghent, Belgium, 18, pp. 227-233.

CASTRO, J.; PINO, A.; HERMIDA, M.; BOUZA, C.; CHAVARRÍAS, D.; MERINO, P.; SÁNCHEZ, L. y MARTÍNEZ, P. (2007). A microsatellite marker tool for parentage assessment in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 272 (1), pp. S210-S216.

CASTRO, J.; PINO, A.; HERMIDA, M.; CHAVARRÍAS, D.; ROMERO, R.; GARCÍA-CORTÉS, L.A.; TORO, M.A. y MARTÍNEZ, P. (2008). Heritability of skeleton abnormalities (Lordosis, lack of operculum) in gilthead seabream (*Sparus aurata*) supported by microsatellite family data. *Aquaculture*, 279 (1-4), pp.18-22.

CECCHINI, S. y CAPUTO, A.R. (2003). Acid-base balance in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) in relation to water oxygen concentration. *Aquaculture Research*, 34 (12), pp. 1069-1073.

CHABOUD, C. y VENDEVILLE, P. (2011). Evaluation of selectivity and bycatch mitigation measures using bioeconomic modelling. the cases of Madagascar and French Guiana shrimp fisheries. *Aquatic Living Resources*, 24 (2), pp. 137-148.

CHAE, D. y PASCOE, S. (2005). Use of simple bioeconomic models to estimate optimal effort levels in the korean coastal flounder fisheries. *Aquatic Living Resources*, 18 (2), pp. 93-101.

CHAKRABORTY, K. y KAR, T.K. (2012). Economic perspective of marine reserves in fisheries: A bioeconomic model. *Mathematical Biosciences*, 240 (2), pp. 212-222.

CHARLES, A. (2010). Fisheries and marine protected areas: A spatial bioeconomic analysis of distributional impacts. *Natural Resource Modeling*, 23 (2), pp. 218-252.

CHAVEZ, E.A. y GOROSTIETA, M. (2010). Bioeconomic assessment of the red spiny lobster fishery of Baja California, Mexico. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 51, pp. 153-161.

CHAVES-POZO, E.; LIARTE, S.; MULERO, I.; ABELLAN, E.; MESEGUER, J. y GARCIA-AYALA, A. (2009). Early presence of immune cells in the developing

gonad of the gilthead seabream (*Sparus Aurata* Linnaeus, 1758). *Journal of Reproduction and Development*, 55 (4), pp. 440-445.

CHERVINSKI, J. (1984). Salinity tolerance of young gilthead sea bream. *Bamidgeh*, 36 (4), pp. 121-124.

CHOI, J.D.; LARKIN, S.L. y SPREEN, T.H. (2006). A bioeconomic model for cham scallop (*Patinopecten yessoensis*) aquaculture in Korea. *Aquaculture Economics and Management*, 10 (2), pp. 125-146.

CHUDLEIGH, P.D. y CEZAR, I.M. (1982). A review of bio-economic simulation models of beef production systems and suggestions for methodological development. *Agricultural Systems*, 8 (4), pp. 273-289.

CLAIREAUX, G. y LAGARDÈRE, J.P. (1999). Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. *Journal of Sea Research*, 42 (2), pp. 157-168.

CLARIDGE, P.N. y POTTER, I.C. (1983). Movements, abundance, age composition, and growth of bass, *Dicentrarchus labrax*, in the Severn Estuary and inner Bristol Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 63, pp. 871-879.

CLAYTON, L.; KEELING, M. y MILNER-GULLAND, E.J. (1997). Bringing home the bacon: A spatial model of wild pig hunting in Sulawesi, Indonesia. *Ecological Applications*, 7 (2), pp. 642-652.

COHEN, W.S. y LEVINTHAL, D. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35, pp. 128-152.

COLLOCA, F. y CERASI, S. (2005-2009a). Cultured aquatic species information programme, *Sparus aurata*. En: FAO Fisheries and Aquaculture Department. Disponible en: http://www.fao.org /fishery/culturedspecies/Sparus_aurata/en.

COLLOCA, F. y CERASI, S. (2005-2009b). Cultured aquatic species information programme, *Dicentrarchus labrax*. En: FAO fisheries and aquaculture department. Disponible en: http: //www. fao.org/fishery/culturedspecies/Dicentrarchus_labrax/en.

COMPANY, R.; CALDUCH-GIVER, J.A.; KAUSHIK, S. y PÉREZ-SÁNCHEZ, J. (1999a). Growth performance and adiposity in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). Risks and benefits of high energy diets. *Aquaculture*, 171, pp. 279-292.

COMPANY, R.; CALDUCH-GINER, A.; PÉREZ-SÁNCHEZ, J. y KAUSHIK, S.J. (1999b). Protein sparing effect of dietary lipids in common dentex (*Dentex dentex*): A comparative study with sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources*, 12 (1), pp. 23-30.

CONIDES, A.J. y GLAMUZINA, B. (2006). Laboratory simulation of the effects of environmental salinity on acclimation, feeding and growth of wild-caught juveniles of European sea bass *Dicentrarchus Labrax* and gilthead sea bream, *Sparus Aurata*. *Aquaculture*, 256 (1-4), pp. 235-245.

COREY, P.D.; LEITH, D.A. y ENGLISH, M.J. (1983). A growth model for coho salmon including effects of varying ration allotments and temperature. *Aquaculture*, 30 (1-4), pp. 125-143.

COSTELLO, C.; GAINES, S.D. y LYNHAM, J. (2008). Can catch shares prevent fisheries collapse? *Science*, 321 (5896), pp. 1678-1681.

COUTO, A.; ENES, P.; PERES, H. y OLIVA-TELES, A. (2008). Effect of water temperature and dietary starch on growth and metabolic utilization of diets in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 151 (1), pp. 45-50.

COVES, D.; DEWAVRIN, G.; BREUIL, G. y DEVAUCHELLE, N. (1991). Culture of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). En: McVey, J.P. (Eds.). *CRC Handbook of Mariculture, Vol. II*. CRC Press, Boca Raton, Florida, Estados Unidos, pp. 3-20.

CSIRKE, J. y CADDY, J.F. (1983). Production modelling using mortality estimates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, pp. 43-51.

CUENCO, M.L. (1989). *Aquaculture systems modeling: An introduction with emphasis on warmwater aquaculture*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Filipinas.

CUERVO, J.A. (2004). *Introducción a la Administración de Empresas*. Editorial Aranzadi, España.

CUESTA, A.; MESEGUER, J. y ESTEBAN, M.A. (2008). The antimicrobial peptide hepcidin exerts an important role in the innate immunity against bacteria in the bony fish gilthead seabream. *Molecular Immunology*, 45 (8), pp. 2333-2342.

CUVIER-PÉRES, A.; JOURDAN, S.; FONTAINE, P. y KESTEMONT, P. (2001). Effects of light intensity on animal husbandry and digestive enzyme activities in sea bass *Dicentrarchus labrax* post-larvae. *Aquaculture*, 202 (3-4), pp. 317-328.

D

DAMANIA, R.; MILNER-GULLAND, E.J. y CROOKES, D.J. (2005). A bioeconomic analysis of bushmeat hunting. Proceedings of the Royal Society Biological Sciences, 272 (1560), pp. 259-266.

DA-ROCHA, J.M. y GUTIÉRREZ, M.J. (2006). The optimality of the common fisheries policy: The northern stock of hake. *Spanish Economic Review*, 8 (1), pp. 1-21.

DA-ROCHA, J.M.; GUTIERREZ, M.J. y CERVIÑO, S. (2012). Reference points based on dynamic optimization: A versatile algorithm for mixed-fishery management with bioeconomic age-structured models. *ICES Journal of Marine Science*, 69 (4), pp. 660-669.

DEFRANCESCO, E. y TRESTINI, S. (2012). An activity-based decision support system to evaluate the economic viability of fisheries management tools for the small pelagic species in the northern Adriatic Sea. *New Medit*, 11, pp. 12-18.

DEMETER, K. (2003). Manufacturing strategy and competitiveness. *International Journal of Production Economics*, 81-82, pp. 205-213.

DENDRINOS, P. y THORPE, J.P. (1985). Effects of reduced salinity on growth and body composition in the European bass *Dicentrarchus Labrax* (L.). *Aquaculture*, 49 (3-4), pp. 333-358.

DE SILVA, S.S. y PERERA, P.A.B. (1976). Studies on the young grey mullet, *Mugil cephalu*s L.: I. effects of salinity on food intake, growth and food conversion. *Aquaculture*, 7 (4), pp. 327-338.

DÍAZ, J.P. y SALGADO, H. (2006). Fishery management through the zoning of reserve areas in the anchovy (*Engraulis ringens*) fishery off Northern Chile. *Investigaciones Marinas*, 34 (2), pp. 109-124.

DÍAZ-LÓPEZ, M.; PÉREZ, M.J.; ACOSTA, N.G.; JEREZ, S.; DORTA-GUERRA, R.; TOCHER, D.R. et al. (2010). Effects of dietary fish oil substitution by echium oil on enterocyte and hepatocyte lipid metabolism of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.).

Comparative Biochemistry and Physiology. B Biochemistry and Molecular Biology, 155 (4), pp. 371-379.

DICHMONT, C.M.; PASCOE, S.; KOMPAS, T.; PUNT, A.E. y DENG, R. (2010). On implementing maximum economic yield in commercial fisheries. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107 (1), pp. 16-21.

DIEKERT, F.K.; HJERMANN, D.O.; NAEVDAL, E. y STENSETH, N.C. (2010a). Non-cooperative exploitation of multi-cohort fisheries the role of gear selectivity in the North-East Arctic cod fishery. *Resource and Energy Economics*, 32 (1), pp. 78-92.

DIEKERT, F.K.; HJERMANN, D.O.; NAEVDAL, E. y STENSETH, N.C. (2010b). Spare the Young Fish: Optimal Harvesting Policies for North-East Arctic Cod. *Environmental and Resource Economics*, 47 (4), pp. 455-475.

DOMÍNGUEZ-MAY, R.; HERNÁNDEZ, J.M.; GASCA-LEYVA, E. y POOT-LÓPEZ, G.R. (2011). Effect of ration and size heterogeneity on harvest time: Tilapia culture in Yucatan, Mexico. *Aquaculture Economics and Management*, 15 (4), pp. 278-301.

DOOLE, G.J. (2005). Optimal management of the New Zealand longfin (*Anguilla dieffenbachii*). *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 49 (4), pp. 395-411.

DROUINEAU, H.; MAHEVAS, S.; PELLETIER, D. y BELIAEFF, B. (2006). Assessing the impact of different management options using ISIS-Fish: The french merluccius merluccius nephrops norvegicus mixed fishery of the Bay of Biscay. *Aquatic Living Resources*, 19 (1), pp. 15-29.

DROUOT, B.; THEBAUD, O.; RAMAT, E.; MORIZUR, Y. y BOUDE, J.P. (2009). Simulating bio-economic management scenarios for the sea bass (*Dicentrachus labrax*) fishery in France. Proceedings of the 18th World IMACS Congress and MODSIM09. International Congress on Modelling and Simulation: Interfacing Modelling and Simulation with Mathematical and Computational Sciences, pp. 2101-2107.

DUSTON, J. (1994). Effect of salinity on survival and growth of Atlantic salmon (*Salmo Salar*) parr and smolts. *Aquaculture*, 121 (1-3), pp. 115-124.

DÜLGER, N.; KUMLU, M.; TÜRKMEN, S.; ÖLÇÜLÜ, A.; EROLDOĞAN, T.; YILMAZ, A. y ÖÇal, N. (2012). Thermal tolerance of European Sea Bass

(*Dicentrarchus labrax*) juveniles acclimated to three temperature levels. *Journal of Thermal Biology*, 37 (1), pp. 79-82.

E

EBERHART, R.C. y KENNEDY, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. En: Song, S.; Kong, L. y Cheng, J. (Eds.). *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human*. Piscataway, New Jersey, USA.

EDDY, T.D.; GARDNER, J.P.A. y PEREZ-MATUS, A. (2010). Applying fishers' ecological knowledge to construct past and future lobster stocks in the Juan Fernández Archipiélago, Chile. *PLoS ONE*, 5 (11), e13670.

EDWARDS, C.T.T.; HILLARY, R.; HOSHINO, E.; PEARCE, J. y AGNEW, D.J. (2011). Bioeconomic evaluation of fisheries enforcement effort using a multifleet simulation model. *Fisheries Research*, 107 (1-3), pp. 253-260.

EDWARDS, R.R.C.; FINLAYSON, D.M. y STEELE, J.H. (1972). An experimental study of the oxygen consumption, growth and metabolism of the cod (*Gadus morhua* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 8, pp. 299-309.

EIDE, A. y WIKAN, A. (2010). Optimal selection and effort in a fishery on a stock with cannibalistic behaviour the case of the northeast arctic cod fisheries. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 5 (6), pp. 454-468.

EISAWY, A. y WASSEF, E. (1984). Preliminary studies on rearing of the gilthead seabream, *Sparus aurata* (L.), in brackish water ponds. *Aquaculture*, 38 (3), pp. 255-260.

EISENHARDT, K.M y MARTIN, J.A. (2000). Dynamic capabilities: What are they? *Strategic Management Journal*, 21, pp. 1105-1121.

ELLIOTT, J.M. (1975). The growth rate of brown trout (*Salmo Trutta* L.) Fed on maximum rations. *Journal of Animal Ecology*, 44 (3), pp. 805-821.

ELLISTON, L. y CAO, L. (2006). An agent-based bioeconomic model of a fishery with input controls. *Mathematical and Computer Modelling*, 44 (5-6), pp. 565-575.

ESTEO-SÁNCHEZ, F. (1998). Medición contable de los factores determinantes de la rentabilidad empresarial: Un modelo integrado para análisis externo. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

EUROPEAN COMMISSION (2004). Study of the market for aquaculture produced seabass and seabream species. Disponible en: http://ec.europa.eu/fisheries/documentation/studies/aquaculture_market_230404_en.pdf

EUROPEAN COMMISSION (2012). Agriculture, fishery and forestry statistics. Main results 2010-2011. Eurostat pocketsbooks, European Union, Belgium. Disponible en http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-FK-12-001/EN/KS-FK-12-001-EN.PDF

F

FAO (2002). *The role of aquaculture in rural development*. Committee on fisheries, Sub-committee on aquaculture, Beijing, China.

FAO (2007). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2006*. FAO. Roma. Italia.

FAO (2009). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2008*. FAO. Roma. Italia.

FAO (2010). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2010*. FAO. Roma. Italia.

FAO (2011). *Desarrollo de la acuicultura. Enfoque ecosistémico a la acuicultura*. Orientaciones técnicas de la FAO para la pesca responsable. FAO. Número 5, suplemento 4. Roma. Italia.

FAO (2012). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*. FAO. Roma. Italia.

FELIP, A.; PIFERRER, F.; CARRILLO, M. y ZANUY, S. (1999). The relationship between the effects of UV light and thermal shock on gametes and the viability of early developmental stages in a marine teleost fish, the sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) *Heredity*, 83 (4), pp. 387-397.

FELIP, A.; ZANUY, S. y CARRILLO, M. (2006). Comparative analysis of growth performance and sperm motility between precocious and non-precocious males in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Aquaculture*, 256 (1-4), pp. 570-578.

FENICHEL, E.P.; GENTNER, B. y ARLINGHAUS, R. (2013). Normative considerations for recreational fishery management: A bioeconomic framework for

linking positive science and normative fisheries policy decisions. *Fisheries Management and Ecology*, 20 (2-3), pp. 223-233.

FENICHEL, E.P.; HORAN, R.D. y BENCE, J.R. (2010). Indirect management of invasive species through bio-controls: A bioeconomic model of salmon and alewife in Lake Michigan. *Resource and Energy Economics*, 32 (4), pp. 500-518.

FERNÁNDEZ, F.; MIQUEL, A.G.; CÓRDOBA, M.; VARAS, M.; METÓN, I.; CASERAS, A. et al. (2007). Effects of diets with distinct protein-to-carbohydrate ratios on nutrient digestibility, growth performance, body composition and liver intermediary enzyme activities in gilthead sea bream (*Sparus Aurata*, L.) fingerlings. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 343 (1), pp.1-10.

FERNÁNDEZ, F.; MIQUEL, A.G.; GUINEA, J. y MARTÍNEZ, R. (1998). Digestion and digestibility in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): The effect of diet composition and ration size. *Aquaculture*, 166 (1-2), pp. 67-84.

FERNÁNDEZ, Z. (1993). La organización interna como ventaja competitiva para la empresas. *Papeles de Economía Española*, 56, pp. 178-193.

FERNÁNDEZ-PALACIOS, H.; SCHUCHARDT, D.; ROO, J.; HERNÁNDEZ-CRUZ, C.M. y ROSENLUND, G. (2009). Efecto de dos dietas comerciales sobre la calidad de la puesta de dorada (*Sparus Aurata*). Libro de Resúmenes. XII Congreso Nacional de Acuicultura, Sociedad Española de Acuicultura, Madrid, pp. 480.

FERNÁNDEZ-POLANCO, J.M. (2012). *El mercado de la acuicultura en el siglo XXI. Presente, pasado y tendencias de futuro*. Fundación Alfonso Martín Escudero, Marcial Pons, Madrid, España.

FERNÁNDEZ-POLANCO, J.M. y LUNA, L. (2010). Analysis of perceptions of quality of wild and cultured seabream in Spain. *Aquaculture Economics and Management*, 14 (1), pp. 43-62.

FERNÁNDEZ-POLANCO, J.M.; LLORENTE, I.; LUNA, L. y FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, J.L. (2012). El mercado de los productos pesqueros en España: Efectos de la crisis en la producción y el consumo. Globefish Research Programme, Volume 106, Roma, Italia.

FERREIRA, J.G.; SEQUEIRA, A.; HAWKINS, A.J.S.; NEWTON, A.; NICKELL, T.D.; PASTRES, R.; FORTE, J.; BODOY, A. y BRICKER, S.B. (2009). Analysis of

coastal and offshore aquaculture: Application of the FARM model to multiple systems and shellfish species. *Aquaculture*, 289 (1-2), pp. 32-41.

FISHSTAT PLUS (2011). Universal software for fishery statistical time series. Statistics and Information Service (FIPS). FAO. Disponible en: http://www.fao.org/fishery/statistics/sof tware/fishstat/en.

FOLEY, N.S.; ARMSTRONG, C.W.; KAHUI, V.; MIKKELSEN, E. y REITHE, S. (2012). A review of bioeconomic modelling of habitat-fisheries interactions. *International Journal of Ecology*, art. no. 861635.

FOLEY, N.S.; VAN RENSBURG, T.M. y ARMSTRONG, C.W. (2011). The rise and fall of the Irish orange roughy fishery: An economic analysis. *Marine Policy*, 35 (6), pp. 756-763.

FORCELLA, F.; KING, R.P.; SWINTON, S.M.; BUHLER, D.D. y GUNSOLUS, J.L. (1996). Multi-year validation of a decision aid for integrated weed management in row crops. *Weed Science*, 44 (3), pp. 650-661.

FORSBERG, O.I. (1996). Optimal stocking and harvesting of size-structured farmed fish: A multi-period linear programming approach. *Mathematics and Computers in Simulation*, 42 (2), pp. 299-305.

FORSBERG, O.I. (1999). Optimal harvesting of farmed Atlantic salmon at two cohort management strategies and different harvest operation restrictions. *Aquaculture Economics and Management*, 3 (2), pp. 143-158.

FORSBERG, O.I. y GUTTORMSEN, A.G. (2006). The value of information in salmon farming. Harvesting the right fish at the right time. *Aquaculture Economics and Management*, 10 (3), pp. 183-200.

FORSETH, T.; HURLEY, M.A.; JENSEN, A.J.; y ELLIOTT, J.M. (2001). Functional models for growth and food consumption of Atlantic salmon parr, *Salmo Salar*, from a Norwegian river. *Freshwater Biology*, 46 (2), pp. 173-186.

FOUNTOULAKI, E.; VASILAKI, A.; HURTADO, R.; GRIGORAKIS, K.; KARACOSTAS, I.; NENGAS, I.; RIGOS, G.; KOTZAMANIS, Y.; VENOU, B. y ALEXIS, M. N. (2009). Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): Effects on growth performance, flesh quality

and fillet fatty acid profile. Recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet under fluctuating water temperatures. *Aquaculture*, 289, pp. 317-326.

FREIER, K.P.; SCHNEIDER, U.A. y FINCKH, M. (2011). Dynamic interactions between vegetation and land use in semi-arid Morocco: Using a Markov process for modeling rangelands under climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140 (3-4), pp. 462-472.

FRÉSARD, M. y BONCOEUR, J. (2006). Controlling the biological invasion of a commercial fishery by a space competitor: A bioeconomic model with reference to the Bay of St-Brieuc scallop fishery. *Agricultural and Resource Economics Review*, 35 (1), pp. 78-97.

FRY, F.E.J. (1971). The effect of environmental factors on the physiology of fish. En: Hoar, W.S. y Randall, D.J. (Eds.). *Fish Physiology, Volumen VI*. New York Academic Press, Nueva York, Estados Unidos, pp. 1-98.

G

GALINDO, J. y VARGAS, B. (2009). Stochastic model for bioeconomic evaluation of beef breeding-and-fattening production system under grazing conditions. Modelo estocástico para evaluación bio-económica de un sistema de producción bovino de cría y engorde bajo condiciones de pastoreo. *Livestock Research for Rural Development*, 21 (5).

GALLAI, N.; SALLES, J.M.; SETTELE, J. y VAISSIÈRE, B.E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68 (3), pp. 810-821.

GARCÍA, D.; PRELLEZO, R.; SANTURTUN, M. y ARREGI, L. (2011). Winners and losers of a technical change: A case study of long-term management of the Northern European hake. *Fisheries Research*, 110 (1), pp. 98-110.

GARCÍA, G.J. y GARCÍA, G.B. (2010). Econometric model of viability/profitability of ongrowing sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*) in sea cages. *Aquaculture International*, 18 (5), pp. 955-971.

GARCÍA-ARTHUS, E. (2002). Evolución de la rentabilidad del sector de la acuicultura en Galicia. En López-Iglesias, E. y Ares, J.J. (Eds.). *Novos escenarios para a*

economía galega: Actas do II Congreso de Economía de Galicia. Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, pp. 537-549.

GARCÍA-GARCÍA, B. (1995). Proyecto. Influencia de la reproducción sobre el crecimiento y calidad de la dorada (*Sparus aurata*) en el engorde intensivo. JACUMAR. Murcia. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/app/jacumar/planes_nacionales/Documentos/61_DORADA_ENGORDE_INTENSIVO.PDF

GARCÍA-LÓPEZ, A.; ANGUIS, V.; COUTO, E.; CANARIO, A.V.M.; CAÑAVATE, J.P.; SARASQUETE, C. y MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, G. (2006). Non-invasive assessment of reproductive status and cycle of sex steroid levels in a captive wild broodstock of Senegalese sole *Solea senegalensis* (Kaup). *Aquaculture*, 254 (1-4), pp. 583-593.

GARCÍA-MEILÁN, I.; VALENTÍN, J.M.; FONTANILLAS, R. y GALLARDO, M.A. (2009). Sustitución parcial de la harina de pescado en dietas con distintos niveles de proteína y lípido. Efectos sobre la actividad proteolítica y la capacidad de absorción intestinal en dorada (*Sparus aurata*). En: Libro de Resúmenes. XII Congreso Nacional de Acuicultura, Madrid, pp. 56.

GASCA-LEYVA, E. (1999). Bioeconomía del cultivo de la dorada (*Sparus Aurata*). Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, Spain.

GASCA-LEYVA, E.; LEÓN, C.J. y HERNÁNDEZ, J.M. (2003). Management strategies for seabream *Sparus Aurata* cultivation in floating cages in the Mediterranean Sea and Atlantic Ocean. *Journal of the World Aquaculture Society*, 34 (1), pp. 29-39.

GASCA-LEYVA, E.; LEÓN, C.J.; HERNÁNDEZ, J.M. y VERGARA, J.M. (2002). Bioeconomic analysis of production location of sea bream (*Sparus Aurata*) cultivation. *Aquaculture*, 213 (1-4), pp. 219-232.

GATES, J.M. y MUELLER, J.J. (1975). Optimizing the growth and marketing of fish in a controlled environment. *Marine Technology*, 9 (5), pp. 13-16.

GEEN, G. y NAYAR, M. (1988). Individual transferable quotas in the Southern bluefin tuna fishery: an economic appraisal. *Marine Resource Economics*, 5, pp. 365-387.

GIOACCHINI, G.; CARDINALI, M.; MARADONNA, F.; FUNKENSTEIN, B.; MOSCONI, G. y CARNEVALI, O. (2005). Hormonal control of the IGF system in the sea bream ovary. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1040, pp. 320-322.

GIRIN, M. (1982). The Sparidae, a warm water finfish family with worldwide mariculture potential. Vol. 3, pp. 3-14. En: Stickney, R. R. y Meyers, S.P (Eds.). *Proceedings of the Warmwater Fish Culture Workshop*. Baton Rouge, Louisiana State University. Estados Unidos.

GOBAKKEN, T.; LEXERØD, N.L. y EID, T.T. (2008). A forest simulator for bioeconomic analyses based on models for individual trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23 (3), pp. 250-265.

GÓMEZ-LOBO, A.; PEÑA-TORRES, J. y BARRIA, P. (2011). ITQ's in Chile: Measuring the economic benefits of reform. *Environmental and Resource Economics*, 48 (4), pp. 651-678.

GÓMEZ-MILAN, E.; DE HARO, C. y SÁNCHEZ-MUROS, M.J. (2011). Annual variations of the plasmatic levels of glucose and amino acid and daily changes under different natural conditions of temperature and photoperiod in Gilthead Sea bream (*Sparus aurata*, L.). *Fish Physiology and Biochemistry*, 37 (3), pp. 583-592.

GÓMEZ-MIRANDA, M.E. y RODRÍGUEZ-ARIZA, L. (2004). Evidencia empírica entorno al estudio del factor tamaño como condicionante empresarial. *Revista de Contabilidad*, 7 (13), pp. 167-197.

GONZÁLEZ-LAXE, F. (2001). La acuicultura y su posición competititiva en los mercados. *Boletín económico de ICE: Información Comercial Española* (2696), pp. 33-46.

GONZÁLEZ-OLIVARES, E. y HUINCAHUE-ARCOS, J. (2011). A two-patch model for the optimal management of a fishing resource considering a marine protected area. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 12 (5), pp. 2489-2499.

GOODE, T.; HAMMIG, M. y BRUNE, D. (2002). Profitability comparison of the partitioned aquaculture system with traditional catfish farms. *Aquaculture Economics and Management*, 6 (1-2), pp. 19-38.

GORDON, H.S. (1953). An economic approach to the optimum utilization of fishery resources. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 10, pp. 442-447.

GORDON, H.S. (1954). The economics of a common property resource: the fishery. *Journal of Political Economy*, 62, pp. 124-142.

GORDON, J. y SOHAL, A. (2001). Assessing manufacturing plant competitiveness: An empirical field study. *International Journal of Operations and Production Management*, 21 (1/2), pp. 233-253.

GRAFTON, Q.R.; KOMPAS, T.; CHE, T.N.; CHU, L. y HILBORN, R. B. (2012). BMEY as a fisheries management target. *Fish and Fisheries*, 13 (3), pp. 303-312.

GRANT, R.M. (1991). The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation. *California Management Review*, 33, pp. 114-135.

GRANT, R.M. (1996a). Prospering in Dynamically-Competitive environments: Organizational capability as knowledge integration. *Organization Sciencie*, 7 (4), pp. 375-387.

GRANT, R.M. (1996b). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17, pp. 109-122.

GREENVILLE, J. y MACAULAY, T.G. (2006). Protected areas in fisheries: A two-patch, two-species model. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 50 (2), pp. 207-226.

GREENVILLE, J. y MACAULAY, T.G. (2007a). Untangling the benefits of protected areas in fisheries. *Marine Resource Economics*, 22 (3), pp. 267-285.

GREENVILLE, J. y MACAULAY, G. (2007b). Bioeconomic analysis of protected area use in fisheries management. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 51 (4), pp. 403-424.

GREGÓRIO, S.F.; CARVALHO, E.S.M.; ENCARNAÇÃO, S.; WILSON, J.M.; POWER, D.M.; CANÁRIO, A.V.M. y FUENTES, J. (2013). Adaptation to different salinities exposes functional specialization in the intestine of the sea bream (*Sparus aurata* L.). *Journal of Experimental Biology*, 216 (3), pp. 470-479.

GROSHOLZ, E.; LOVELL, S.; BESEDIN, E. y KATZ, M. (2011). Modeling the impacts of the European green crab on commercial shellfisheries. *Ecological Applications*, 21 (3), pp. 915-924.

GUISADO, M. (2007). *Viabilidad económica de las explotaciones acuícolas. Monocultivo de engorde: Pulpo y besugo*. Estudios maritimos. Netbiblio. La Coruña. España.

H

HAAPASAARI, P.; KULMALA, S. y KUIKKA, S. (2012). Growing into interdisciplinarity: How to converge biology, economics, and social science in fisheries research? *Ecology and Society*, 17 (1), 6.

HALL, R. (1992). The strategic analysis of intangible resources. *Strategic Management Journal*, 13, pp. 135-144.

HALL, R. (1993). A framework linking intangible resources and capabilities to sustainable competitive advantage. *Strategic Management Journal*, 14, pp. 607-618.

HANDELAND, S.O.; IMSLAND, A.K. y STEFANSSON, S.O. (2008). The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture*, 283 (1-4), pp. 36-42.

HANNESSON, R. (2011). Rights based fishing on the high seas: Is it possible? *Marine Policy*, 35 (5), pp. 667-674.

HANNESSON, R. y HERRICK JR., S.F. (2010). The value of pacific sardine as forage fish. *Marine Policy*, 34 (5), pp. 935-942.

HATCH, U.; HANSON, T.R.; KIM, M.K. y LOVELL, R.T. (1998). Economic analysis of overwinter feeding regimens for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture Economics and Management*, 2 (3), pp. 141-150.

HATZIATHANASIOU, A.; PASPATIS, M.; HOUBART, M.; KESTEMONT, P.; STEFANAKIS, S. y KENTOURI, M. (2002). Survival, growth and feeding in early life stages of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) intensively cultured under different stocking densities. *Aquaculture*, 205 (1-2), pp. 89-102.

HEAPS, T. (1993). The optimal feeding of a farmed fish. *Marine Resource Economics*, 8 (1), pp. 89-99.

HELDT, H. (1948). Études sur le Thon, la daurade et le muge. *Bull.Stat.Ocean. de Salammbô*, 1, pp. 1-40.

HERMANSEN, Ø. y EIDE, A. (2013). Bioeconomics of capture-based aquaculture of cod (*Gadus Morhua*). *Aquaculture Economics and Management*, 17 (1), pp. 31-50.

HERNÁNDEZ, A.I. (1986). El diagnóstico financiero de la empresa: nuevas tendencias en el análisis. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, (49), pp. 113-132.

HERNÁNDEZ, J.M.; GASCA-LEYVA, E.; LEÓN, C.J. y VERGARA. J.M. (2003). A growth model for gilthead seabream (*Sparus Aurata*). *Ecological Modelling*, 165 (2-3), pp. 265-283.

HERNÁNDEZ, J.M.; LEÓN-SANTANA, M. y LEÓN, C.J. (2007). The role of the water temperature in the optimal management of marine aquaculture. *European Journal of Operational Research*, 181 (2), pp. 872-886.

HERNÁNDEZ-LLAMAS, A. y ZARAIN-HERZBERG, M. (2011). Bioeconomic modeling and risk analysis of raising shrimp *Litopenaeus vannamei* in floating cages in northwestern Mexico: Assessment of hurricane hazard, stochastic variability of shrimp and feed prices, and zootechnical parameters. *Aquaculture,* 314 (1-4), pp. 261-268.

HERRERA, G.E. (2005). Stochastic bycatch, informational asymmetry, and discarding. *Journal of Environmental Economics and Management*, 49 (3), pp. 463-483.

HOFF, A.; ANDERSEN, J.L.; CHRISTENSEN, A. y MOSEGAARD, H. (2012). Modelling the economic consequences of Marine Protected Areas using the BEMCOM model. *Journal of Bioeconomics*, Pendiente de publicación.

HOFF, A.; FROST, H.; ULRICH, C.; DAMALAS, D.; MARAVELIAS, C. D.; GOTI, L. y SANTURTUN, M. (2010). Economic effort management in multispecies fisheries: the FcubEcon model. *ICES Journal of Marine Science*, 67, pp. 1802-1810.

HOLLAND, D.S. (2011). Planning for changing productivity and catchability in the Maine lobster fishery. *Fisheries Research*, 110 (1), pp. 47-58.

HOLLAND, D.S. y HERRERA, G.E. (2006). Flexible catch-balancing policies for multispecies individual fishery quotas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63 (8), pp. 1669-1685.

HOLLAND, D.S. y HERRERA, G.E. (2012). The impact of age structure, uncertainty, and asymmetric spatial dynamics on regulatory performance in a fishery metapopulation. *Ecological Economics*, 77, pp. 207-218.

HOSHINO, E.; HILLARY, R.M. y PEARCE, J. (2010). Economically optimal management strategies for the South Georgia patagonian toothfish fishery. *Marine Resource Economics*, 25 (3), pp. 265-280.

HOSHINO, E.; MILNER-GULLAND, E.J. y HILLARY, R.M. (2012). Bioeconomic adaptive management procedures for short-lived species: A case study of Pacific saury (*Cololabis saira*) and Japanese common squid (*Todarodes pacificus*). *Fisheries Research*, 121-122, pp. 17-30.

HOSKISSON, R.; HITT, M.; WAN, W. y YIU, D. (1999). Theory and research in strategic management: Swings of a pendulum. *Journal of Management*, 25 (3), pp. 417-456.

HUANG, C.T.; MIAO, S.; NAN, F.H. y JUNG, S.M. (2011). Study on regional production and economy of cobia *Rachycentron canadum* commercial cage culture. *Aquaculture International*, 19 (4), pp. 649-664.

HUANG, L. y SMITH, M.D. (2011). Management of an annual fishery in the presence of ecological stress: The case of shrimp and hypoxia. *Ecological Economics*, 70 (4), pp. 688-697.

HUANG, L.; SMITH, M. D. y CRAIG, J. K. (2010). Quantifying the economic effects of hypoxia on a fishery for brown shrimp *Farfantepenaeus aztecus*. *Marine and Coastal Fisheries*, 2, pp. 232-248.

HUFFAKER, R.G. (1993). Optimal management of game and forage resources in a private fee- hunting enterprise. *American Journal of Agricultural Economics*, 75 (3), pp. 696-710.

I

IMESON, R.J. y VAN DEN BERGH, J.C.J.M. (2004). A bioeconomic analysis of a shellfishery: The effects of recruitment and habitat in a metapopulation Model. E*nvironmental and Resource Economics*, 27 (1), pp. 65-86.

IMSLAND, A.K.; FOSS, A.; NÆVDAL, G.; CROSS, T.; BONGA, S.W.; HAM, E.V. et al. (2000). Countergradient variation in growth and food conversion efficiency of juvenile turbot. *Journal of Fish Biology*, 57 (5), pp. 1213-1226.

IMSLAND, A.K.; SUNDE, L.M.; FOLKVORD, A. y STEFANSSON, S.O. (1996). The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile turbot. *Journal of Fish Biology*, 49 (5), pp. 926-940.

IRZ, X. y MCKENZIE, V. (2003). Profitability and technical efficiency of aquaculture systems in Pampanga, Philippines. *Aquaculture Economics and Management*, 7 (3-4), pp. 195-211.

ISHIMURA, G.; HERRICK, S. y SUMAILA, U.R. (2012). Fishing games under climate variability: transboundary management of Pacific sardine in the California Current System. *Environmental Economics and Policy Studies*, Pendiente de publicación.

IVKOVIC, M.; WU, H.X.; MCRAE, T.A. y POWELL, M.B. (2006). Developing breeding objectives for radiata pine structural wood production. I. Bioeconomic model and economic weights. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 (11), pp. 2920-2931.

IZQUIERDO, M.S.; ROBAINA, L.; JUÁREZ-CARRILLO, E.; OLIVA, V.; HERNÁNDEZ-CRUZ, C.M. y AFONSO, J.M. (2008). Regulation of growth, fatty acid composition and delta 6 desaturase expression by dietary lipids in gilthead seabream larvae (*Sparus aurata*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 34 (2), pp. 117-127.

J

JEFFS, A. y HOOKER, S. (2000). Economic feasibility of aquaculture of spiny lobsters *Jasus edwardsii* in temperate waters. *Journal of the World Aquaculture Society*, 31 (1), pp. 30-41.

JERRY, C. y RAÏSSI, N. (2010). Can management measures ensure the biological and economical stabilizability of a fishing model? *Mathematical and Computer Modelling*, 51 (5-6), pp. 516-526.

JERRY, M.; RAPAPORT, A. y CARTIGNY, P. (2010). Can protected areas potentially enlarge viability domains for harvesting management? *Nonlinear Analysis-Real World Applications*, 11 (2), pp. 720-734.

JIN, D.; KITE-POWELL, H. y HOAGLAND, P. (2005). Risk assessment in open-ocean aquaculture: A firm-level investment-production model. *Aquaculture Economics and Management*, 9 (3), pp. 369-387.

JIN, D.; KITE-POWELL, H.; HOAGLAND, P. y SOLOW, A.A. (2012). A bioeconomic analysis of traditional fisheries in the Red Sea. *Marine Resource Economics*, 27 (2), pp. 137-148.

JOHNSON, D.W. y KATAVIC, I. (1986). Survival and growth of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae as influenced by temperature, salinity, and delayed initial feeding. *Aquaculture*, 52 (1), pp. 11-19.

JOHNSTON, F.D.; ARLINGHAUS, R. y DIECKMANN, U. (2010). Erratum: Diversity and complexity of angler behaviour drive socially optimal input and output regulations in a bioeconomic recreational-fisheries model ((2010), 67, (1507-1531)). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 67 (11), pp. 1897-1898.

JOHNSTON, F.D.; ARLINGHAUS, R. y DIECKMANN, U. (2012). Fish life history, angler behaviour and optimal management of recreational fisheries. *Fish and Fisheries*. Pendiente de publicación.

JONSSON, B., FORSETH, T.; JENSEN, A.J. y NÆSJE, T.F. (2001). Thermal performance of juvenile Atlantic salmon, *Salmo Salar* L. *Functional Ecology*, 15 (6), pp. 701-711.

K

KAHUI, V. (2012). A bioeconomic model for Hooker's sea lion bycatch in New Zealand. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 56 (1), pp. 22-41.

KAPURIA, P. (2011). Limits to sustainable fish catch: The case of marine fishery in Kerala. *Environment and Development Economics*, 16 (5), pp. 621-638.

KAR, T.K. y CHAKRABORTY, K. (2011). A bioeconomic assessment of the Bangladesh shrimp fishery . *World Journal of Modelling and Simulation*, 7 (1), pp. 58-69.

KAR, T.K. y CHAUDHURI, K.S. (2004). Harvesting in a two-prey one-predator fishery: A bioeconomic model. *ANZIAM Journal*, 45 (3), pp. 443-456.

KAR, T.K. y MATSUDA, H. (2008). A bioeconomic model of a single-species fishery with a marine reserve. *Journal of Environmental Management*, 86 (1), pp. 171-180.

KARAGIANNIS, G.; KATRANIDIS, S.D. y TZOUVELEKAS, V. (2000) Measuring technical, allocative and cost efficiencies of seabass and seabream farms in Greece. *Aquaculture Economics & Management*, 4 (3-4), pp. 191-207.

KARAKATSOULI, N.; KATSAKOULIS, P.; LEONDARITIS, G.; KALOGIANNIS, D.; PAPOUTSOGLOU, S.E.; CHADIO, S. y SAKELLARIDIS, N. (2012). Acute stress response of European sea bass *Dicentrarchus labrax* under blue and white light. *Aquaculture*, 364-365, pp. 48-52.

KARP, L.; SADEH, A., y GRIFFIN, W.L. (1986). Cycles in agricultural production: the case of aquaculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 68 (3), pp. 553-561.

KASPERSKI, S. y WIELAND, R. (2009). When is it optimal to delay harvesting? the role of ecological services in the Northern Chesapeake Bay oyster fishery. *Marine Resource Economics*, 24 (4), pp. 361-385.

KATAVIĆ, I.; JUG-DUJAKOVIĆ, J. y GLAMUZINA, B. (1989). Cannibalism as a factor affecting the survival of intensively cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fingerlings. *Aquaculture*, 77 (2-3), pp. 135-143.

KELLNER, J.B.; SANCHIRICO, J.N.; HASTINGS, A. y MUMBY, P.J. (2011). Optimizing for multiple species and multiple values: Tradeoffs inherent in ecosystem-based fisheries management. *Conservation Letters*, 4 (1), pp. 21-30.

KENNEDY, J. y EBERHART, R.C. (1995). Particle swarm optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. IEEE Press, Piscataway, New Jersey, USA, pp. 1942-1948.

KEYS, S.J.; CROCOS, P.J. y CACHO, O.J. (2004). Commercial grow-out performance and cost-benefit analysis for farm production of the brown tiger shrimp (*Penaeus esculentus*). *Aquaculture Economics and Management*, 8 (5-6), pp. 295-308.

KHAMIS, S. A.; TCHUENCHE, J. M.; LUKKA, M. y HEILIO, M. (2011). Dynamics of fisheries with prey reserve and harvesting. *International Journal of Computer Mathematics*, 88, pp. 1776-1802.

KIM, T. y GRIGALUNAS, T. (2009). Simulating direct and indirect damages to commercial fisheries from marine sand mining: A case study in Korea. *Environmental Management*, 44 (3), pp. 566-578.

KJÆRSGAARD, J.; ANDERSEN, J. y MATHIESEN, C. (2007). Multiple objectives and perceptions of optimal management: The danish industrial fishery in the North Sea. *European Review of Agricultural Economics*, 34 (2), pp. 181-208.

KJÆRSGAARD, J. y FROST, H. (2008). Effort allocation and marine protected areas: Is the North Sea plaice box a management compromise? *ICES Journal of Marine Science*, 65 (7), pp. 1203-1215.

KLAOUDATOS, S.D. y CONIDES, A.J. (1996). Growth, food conversion, maintenance and long-term survival of gilthead sea bream, (*Sparus auratus L.*), juveniles after abrupt transfer to low salinity. *Aquaculture Research*, 27 (10), pp. 765-774.

KLAREN, P.H.M.; GUZMÁN, J.M.; REUTELINGSPERGER, S.J.; MANCERA, J.M. y FLIK, G. (2007). Low salinity acclimation and thyroid hormone metabolizing enzymes in gilthead seabream (*Sparus auratus*). *General and Comparative Endocrinology*, 152 (2-3), pp. 215-222.

KOÇAK, O. y TATHDIL. F.F. (2004). Cost analysis in gilthead sea bream (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758) production in Milas district-Mugla province, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 4, pp. 33-38.

KOLKOVSKI, S.; TANDLER, A.; KISSIL, G.W y, GERTLER, A. (1993). The effect of dietary exogenous digestive enzymes on ingestion, assimilation, growth and survival of gilthead seabream (*Sparus aurata, Sparidae*, Linnaeus) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 12, pp. 203-209.

KOMPAS, T.; DICHMONT, C.M.; PUNT, A.E.; DENG, A.; CHE, T.N.; BISHOP, J.; GOODAY, P.; YE, Y. y ZHOU, S. (2010a). Maximizing profits and conserving stocks in the Australian Northern Prawn Fishery. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54 (3), pp. 281-299.

KOMPAS, T.; GRAFTON, R.Q. y CHE, T.N. (2010b). Bioeconomic losses from overharvesting tuna. Conservation Letters, 3 (3), pp. 177-183.

KONSTANTINOU, Z.I.; KRESTENITIS, Y.N.; LATINOPOULOS, D.; PAGOU, K.; GALINOU-MITSOUDI, S. y SAVVIDIS, Y. (2012). Aspects of mussel-farming activity in Chalastra, Thermaikos Gulf, Greece: An effort to untie a management Gordian knot. *Ecology and Society*, 17 (1), 1.

KRITZER, J.P. (2004). Effects of noncompliance on the success of alternative designs of marine protected-area networks for conservation and fisheries management. *Conservation Biology*, 18 (4), pp. 1021-1031.

KUGARAJH, K.; SANDAL, L.K. y BERGE, G. (2006). Implementing a stochastic bioeconomic model for the North-East Arctic cod fishery. *Journal of Bioeconomics*, 8 (1), pp. 35-53.

KY, C.L.; DE LORGERIL, J; HIRTZ, C.; SOMMERER, N.; ROSSIGNOL, M. y BONHOMME, F. (2007). The effect of environmental salinity on the proteome of the sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Animal Genetics*, 38 (6), pp. 601-608.

L

LAHNSTEINER, F. y CABERLOTTO, S. (2012). Motility of gilthead seabream *Sparus aurata* spermatozoa and its relation to temperature, energy metabolism and oxidative stress. *Aquaculture*, 370-371, pp. 76-83.

LARKIN, S.L. y SYLVIA, G. (2004). Generating enhanced fishery rents by internalizing product quality characteristics. *Environmental and Resource Economics*, 28 (1), pp. 101-122.

LASKE, C.H.; TEIXEIRA, B.B.M.; DIONELLO, N.J.L. y CARDOSO, F.F. (2012). Breeding objectives and economic values for traits of low input familybased beef cattle production system in the State of Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41 (2), pp. 298-305.

LAU, R. S. M. (2002). Competitiveness factors and their relative importance in the US electronics and computer industries. *International Journal of Operations and Production Management*, 22 (1), pp. 125-135.

LEE, P.M. (1989). *Bayesian Statistics: An introduction*. Oxford University Press, Nueva York. Estados Unidos.

LEE, S.Y. y SONG, X.Y. (2003). Bayesian analysis of structural equation models with dichotomous variables. *Statistics in Medicine*, 22 (19), pp. 3073-3088.

LEÓN, C.J.; HERNÁNDEZ, J.M. y GASCA-LEYVA, E. (2001). Cost minimization and input substitution in the production of gilthead seabream. *Aquaculture Economics and Management*, 5 (3-4), pp. 147-170.

LEÓN, C.J.; HERNÁNDEZ, J.M. y LEÓN-SANTANA, M. (2006). The effects of water temperature in aquaculture management. *Applied Economics*, 38 (18), pp. 2159-2168.

LEUNG, P. (1986). Applications of systems modeling in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 5 (2-4), pp. 171-182.

LEUNG, P. (1994). Bioeconomic modeling in aquaculture after two decades. En: Shang, Y.C.; Leung, P.; Lee, C.S.; Su, M.S. y Liao, I.C. (Eds.). *Conference Proceedings Socioeconomics of Aquaculture TungKang Marine Laboratory*, Taiwan, pp. 115-137.

LEUNG, P. y SHANG, Y. C. (1989). Modeling prawn production management system: A dynamic Markov decision approach. *Agricultural Systems*, 29 (1), pp. 5-20.

LEV, B.; CASTAÑEDA, P. y ABAD, J. (1978). *Análisis de estados financieros: un nuevo enfoque.* Escuela Superior de Gestión Comercial y Marketing, ESIC, Madrid.

LEVER, C.; LYMBERY, A.J. y DOUPÉ, R.G. (2004). Preliminary comparisons of yield and profit achieved from different rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, production systems in inland Western Australia. *Journal of Applied Aquaculture*, 16 (1-2), pp. 63-73.

LEVY, J.K.; KILGOUR, D.M. y HIPEL, K.W. (2006). Reducing the risk of fishery resource disasters: A bioeconomic approach to sustainable resource management. *Journal of the American Water Resources Association*, 42 (6), pp. 1451-1463.

LÉVY, J.P.; VARELA, J. y ABAD, J. (2003). *Análisis multivariable para las ciencias sociales.* Pearson Prentice-Hall, Madrid.

LI, L. (2000). An analysis of sources of competitiveness and performance of Chinese manufacturers. *International Journal of Operations and Production Management*, 20 (3), pp. 299-315.

LI, X. (2010). Niching without niching parameters: Particle swarm optimization using a ring topology. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 14 (1), pp. 150-169.

LIARTE, S.; CHAVES-POZO, E.; GARCÍA-ALCAZAR, A.; MULERO, V.; MESEGUER, J. y GARCÍA-AYALA, A. (2007). Testicular involution prior to sex change in gilthead seabream is characterized by a decrease in DMRT1 gene expression and by massive leukocyte infiltration. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 5.

LINE-CARPENTIER, C.; VOSTI, S.A. y WITCOVER, J. (2000). Intensified production systems on western Brazilian Amazon settlement farms: Could they save the forest? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82 (1-3), pp. 73-88.

LINK, P.M.; SCHNEIDER, U.A. y TOL, R.S.J. (2011). Economic impacts of changes in fish population dynamics: The role of the fishermen's harvesting strategies. *Environmental Modeling and Assessment*, 16 (4), pp. 413-429.

LINK, P.M. y TOL, R.S.J. (2009). Economic impacts on key Barents Sea fisheries arising from changes in the strength of the Atlantic thermohaline circulation. *Global Environmental Change*, 19 (4), pp. 422-433.

LITTLE, L.R.; GRAFTON, R.Q.; KOMPAS, T. y SMITH, A.D.M. (2010). Closure strategies as a tool for fisheries management in metapopulations subjected to catastrophic events. *Fisheries Management and Ecology*, 17 (4), pp. 346-355.

LIU, J.; CABALLERO, M.J.; IZQUIERDO, M.; EL-SAYED ALI, T.; HERNÁNDEZ-CRUZ, C.M.; VALENCIA, A. y FERNÁNDEZ-PALACIOS, H. (2002). Necessity of dietary lecithin and eicosapentaenoic acid for growth, survival, stress resistance and lipoprotein formation in gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Fisheries Science*, 68 (6), pp. 1165-1172.

LIU, Y.; DISERUD, O.H.; HINDAR, K. y SKONHOFT, A. (2012). An ecological-economic model on the effects of interactions between escaped farmed and wild salmon (*Salmo salar*). *Fish and Fisheries*, Pendiente de publicación.

LIU, Y. y SUMAILA, U.R. (2007). Economic analysis of netcage versus sea-bag production systems for salmon aquaculture in British Columbia. *Aquaculture Economics and Management*, 11 (4), pp. 371-395.

LIU, Y.; SUMAILA, U.R. y VOLPE, J.P. (2011). Potential ecological and economic impacts of sea lice from farmed salmon on wild salmon fisheries. *Ecological Economics*, 70 (10), pp. 1746-1755.

LLEONART, J. y MERINO, G. (2010). Immediate maximum economic yield; a realistic fisheries economic reference point. *ICES Journal of Marine Science*, 67 (3), pp. 577-582.

LLORENTE, I. y LUNA, L. (2012). Modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina. Aplicación empírica a la cría de dorada (*Sparus*

aurata) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) en España. *Economia Agraria y Recursos Naturales*, 12 (2), pp. 31-55.

LLORENTE, I. y LUNA, L. (2013). The competitive advantages arising from different environmental conditions in seabream *Sparus aurata* production in the Mediterranean Sea. *Journal of the World Aquaculture Society*, Pendiente de publicación.

LÓPEZ-OLMEDA, J.F.; MONTOYA, A.; OLIVEIRA, C. y SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. (2009). Synchronization to light and restricted-feeding schedules of behavioral and humoral daily rhythms in gilthead sea bream (*sparus aurata*). *Chronobiology International*, 26 (7), pp. 1389-1408.

LOPPARELLI, R.M.; SEGATO, S.; CORATO, A.; FASOLATO L. y ANDRIGHETTO, I. (2004). Sensory evaluation of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fed two diets differing in fat content. *Veterinary Research Communications*, 28 (1), pp. 225-227.

LORENZONI, G. y LIPPARINI, A. (1999). The leveraging of interfirm relationships as a distinctive organizational capability: A longitudinal study. *Strategic Management Journal*, 20 (4), pp. 317-338.

LOSORDO, T.M. y WESTERMAN, P.W. (1994). An analysis of biological, economic, and engineering factors affecting the cost of fish production in recirculating aquaculture systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25 (2), pp. 193-203.

LOWSON, R. H. (2003). The nature of an operations strategy: Combining strategic decisions from the resource-based and market-driven viewpoints. *Management Decision*, 41 (6), pp. 538-549.

LUNA, L. (2002). Economic analysis of finfish mariculture operations in Spain. *Aquaculture Economics and Management*, 6 (1-2), pp. 65-79.

LUNA, L. (2008). *Valoración de la acuicultura en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Secretaria General Técnica, Madrid, España.

LUPATSCH, I.; KISSIL, G.W.M.; SKLAN, D. y PFEFFER, E. (1997). Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their predictability in compound diets for gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Aquaculture Nutrition*, 3 (2), pp. 81-89.

M

MABROUK, H.A. y NOUR, A.M. (2011). Effect of reducing water salinity on survival, growth performance, chemical composition and nutrients gain of gilthead sea bream *sparus aurata* larvae. *Journal of King Abdulaziz University, Marine Science*, 22 (1), pp. 15-29.

MACHER, C. y BONCOEUR, J. (2010). Optimal selectivity and effort cost a simple bioeconomic model with an application to the Bay of Biscay Nephrops fishery. *Marine Resource Economics*, 25 (2), pp. 213-232.

MAHEVAS, S. y PELLETIER, D. (2004). ISIS-Fish, a generic and spatially explicit simulation tool for evaluating the impact of management measures on fisheries dynamics. *Ecological Modelling*, 171 (1-2), pp. 65-84.

MAHONEY, J.T. y PANDIAN, J.R. (1992). The resource-based view within the conversation of strategic management. *Strategic Management Journal*, 13, pp. 363-380.

MANCHADO, M.; INFANTE, C.; ASENSIO, E.; CRESPO, A.; ZUASTI, E. y CAÑAVATE, J.P. (2008). Molecular characterization and gene expression of six trypsinogens in the flatfish Senegalese Sole (*Solea Senegalensis* Kaup) during larval development and in tissues. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 149 (2), pp. 334-344.

MANIVONG, V. y CRAMB, R.A. (2008). Economics of smallholder rubber expansion in Northern Laos. *Agroforestry Systems*, 74 (2), pp. 113-125.

MARAVELIAS, C.D.; HILLARY, R.; HARALABOUS, J. y TSITSIKA, E.V. (2010). Stochastic bioeconomic modelling of alternative management measures for anchovy in the Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 67 (6), pp. 1291-1300.

MARCHAL, P.; LITTLE, L.R. y THÉBAUD, O. (2011). Quota allocation in mixed fisheries: A bioeconomic modelling approach applied to the channel flatfish fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 68 (7), pp. 1580-1591.

MARDONES, F.O.; PÉREZ, A.M. y CARPENTER, T.E. (2009). Epidemiologic investigation of the re-emergence of infectious salmon anemia virus in Chile. *Diseases of Aquatic Organisms*, 84 (2), pp. 105-114.

MAROTO, J.M.; MORAN, M.; SANDAL, L.K. y STEINSHAMN, S.I. (2012). Potential collapse in fisheries with increasing returns and stock-dependent costs. *Marine Resource Economics*, 27 (1), pp. 43-63.

MARTÍN, M.V.; RODRÍGUEZ, C.; CEJAS, J.R.; PÉREZ, M.J.; JEREZ, S. y LORENZO, A. (2009). Body lipid and fatty acid composition in male gilthead seabream broodstock at different stages of the reproductive cycle: Effects of a diet lacking n-3 and n-6 HUFA. *Aquaculture Nutrition*, 15 (1), pp. 60-72.

MARTINET, V.; THEBAUD, O. y DOYEN, L. (2007). Defining viable recovery paths toward sustainable fisheries. *Ecological Economics*, 64 (2), pp. 411-422.

MARTÍNEZ-COLL, J.C. (2005). Bioeconomía. Tesis doctoral, Universidad de Málaga, Malaga, España.

MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, M.T. (2001). El modelo explicativo de la competitividad de las empresas en los sectores industriales: El efecto de los recursos compartidos. Tesis Doctoral, Universidad Jaume Primero, Castellón, España.

MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; DIOGO, P.; BEIRÃO, J.; DINIS, M.T. y CABRITA, E. (2012a). Sperm lipid peroxidation is correlated with differences in sperm quality during the reproductive season in precocious European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) males. *Aquaculture*, 358-359, pp. 246-252.

MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; DIOGO, P.; DINIS, M.T.; HERRAEZ, M.P.; SARASQUETE, C. y CABRITA, E. (2012b). Incorporation of ascorbic acid and alpha-tocopherol to the extender media to enhance antioxidant system of cryopreserved sea bass sperm. *Theriogenology*, 77, pp. 1129-1136.

MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; DIOGO, P.; DINIS, M.T.; HERRÁEZ, M.P.; SARASQUETE, C. y CABRITA, E. (2012c). Sea bass sperm freezability is influenced by motility variables and membrane lipid composition but not by membrane integrity and lipid peroxidation. *Animal Reproduction Science*, 131, pp. 211-218.

MASON, E.S. (1957). *Economic concentration and the monopoly problem*. Hardvard University Press, Cambridge, MA.

MASON, J.; KOSAKA, R.; MAMULA, A. y SPEIR, C. (2012). Effort changes around a marine reserve: The case of the California Rockfish Conservation Area. *Marine Policy*, 36 (5), pp. 1054-1063.

MASSEY, D.M.; NEWBOLD, S.C. y GENTNER, B. (2006).Valuing water quality changes using a bioeconomic model of a coastal recreational fishery. *Journal of Environmental Economics and Management*, 52 (1), pp. 482-500.

MASTERS, D.; EDWARDS, N.; SILLENCE, M.; AVERY, A.; REVELL, D.; FRIEND, M.; SANFORD, P.; SAUL, G.; BEVERLY, C. y YOUNG, J. (2006). The role of livestock in the management of dryland salinity. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46 (6-7), pp. 733-741.

MAYER, P.; ESTRUCH, V.; BLASCO, J. y JOVER, M. (2008). Predicting the growth of gilthead sea bream (*Sparus Aurata L.*) farmed in marine cages under real production conditions using temperature- and time-dependent models. *Aquaculture Research*, 39 (10), pp. 1046-1052.

MAYNOUA, F.; SARDÀ, F.; TUDELA, S. y DEMESTRE, M. (2006). Management strategies for red shrimp (*Aristeus antennatus*) fisheries in the Catalan Sea (NW Mediterranean) based on bioeconomic simulation analysis. *Aquatic Living Resources*, 19 (2), pp. 161-171.

McCORMICK, S.D.; SAUNDERS, R.L. y MACINTYRE, A.D. (1989). The effect of salinity and ration level on growth rate and conversion efficiency of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Aquaculture*, 82 (1-4), pp. 173-180.

McKAY, L.R. y GJERDE, B. (1985). The effect of salinity on growth of rainbow trout. *Aquaculture*, 49 (3-4), pp. 325-331.

McNOWN, W. y SEIREG, A. (1983). Computered aided optimum design and control of staged aquaculture systems. *Journal of the World Mariculture Society*, 14 (1-4), pp. 415-433.

MELIÀ, P. y GATTO, M. (2005). A stochastic bioeconomic model for the management of clam farming. *Ecological Modelling*, 184 (1), pp. 163-174.

MENDES, S.I.; VARELA, J.L.; RUIZ-JARABO, I.; SÁNCHEZ, V.; RICO, R.; ARIJO, S. et al. (2009). Efecto de la sustitución de harina de pescado por harina de macroalgas (*Graciliaria sp.* y *Ulva rigida*) sobre el crecimiento y parámetros metabólicos en la dorada (*Sparus aurata*). En: Libro de Resúmenes. XII Congreso Nacional de Acuicultura, Madrid, pp. 50.

MENDO, T.; KOCH, V.; WOLFF, M.; SINSEL, F. y RUIZ-VERDUGO, C. (2011). Feasibility of intertidal bottom culture of the penshell Atrina maura in Bahia Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Aquaculture*, 314 (1-4), pp. 252-260.

MENZ, K. y GRIST, P. (1996). Economie opportunities for smallholders to combine pulpwood trees and food crops. *Agroforestry Systems*, 36 (1-3), pp. 221-232.

MERINO, G.; BARANGE, M. y MULLON, C. (2010). Climate variability and change scenarios for a marine commodity: Modelling small pelagic fish, fisheries and fishmeal in a globalized market. *Journal of Marine Systems*, 81 (1-2), pp. 196-205.

MERINO, G.; BARANGE, M.; RODWELL, L. y MULLON, C. (2011). Modelling the sequential geographical exploitation and potential collapse of marine fisheries through economic globalization, climate change and management alternatives. Modelización de la explotación sucesiva y posible colapso de las pesquerías marinas por medio de la globalización económica, cambio climático y alternativas de gestión. *Scientia Marina*, 75 (4), pp. 779-790.

MERINO, G.; KARLOU-RIGA, C.; ANASTOPOULOU, I.; MAYNOU, F. y LLEONART, J. (2007a). Bioeconomic simulation analysis of hake and red mullet fisheries in the Gulf of Saronikos (Greece). *Scientia Marina*, 71 (3), pp. 525-535.

MERINO, G.; MAYNOU, F. y BONCOEUR, J. (2009). Bioeconomic model for a three-zone marine protected area: A case study of Medes Islands (Northwest Mediterranean). *ICES Journal of Marine Science*, 66 (1), pp. 147-154.

MERINO, G.; MAYNOU, F. y GARCÍA-OLIVARES, A. (2007b). Effort dynamics in a fisheries bioeconomic model: A vessel level approach through Game Theory. *Scientia Marina*, 71 (3), pp. 537-550.

MERINO, G.; MAYNOU, F. y GARCÍA-OLIVARES, A. (2007c). A new bioeconomic simulation tool for small scale fisheries based on game theory: GAMEFISTO Model. *Aquatic Living Resources*, 20 (3), pp. 223-230.

MESEGUER, C.; RAMOS, J.; BAYARRI, M.J.; OLIVEIRA, C. y SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. (2008). Light synchronization of the daily spawning rhythms of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L) kept under different photoperiod and after shifting the LD cycle. *Chronobiology International*, 25 (5), pp. 666-679.

MEZA, F.J.; HANSEN, J.W. y OSGOOD, D. (2008). Economic value of seasonal climate forecasts for agriculture: Review of ex-ante assessments and recommendations for future research. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47 (5), pp. 1269-1286.

MIAO, S.; JEN, C.C.; HUANG, C.T. y HU, S.H. (2009). Ecological and economic analysis for cobia *Rachycentron canadum* commercial cage culture in Taiwan. *Aquaculture International*, 17 (2), pp. 125-141.

MIGUEL-QUERALT, S.; BLÁZQUEZ, M.; PIFERRER, F. y HAMMOND, G.L. (2007). Sex hormone-binding globulin expression in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) throughout development and the reproductive season. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 276 (1-2), pp. 55-62.

MIHELAKAKIS, A.; TSOLKAS, C. y YOSHIMATSU, T. (2004). Optimization of Artemia metanauplii on growth and survival of gilthead sea bream larvae *Sparus aurata*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 35 (1), pp. 87-93.

MISTIAEN, J.A. y STRAND, I. (1999). Optimal feeding and harvest time for fish weight-dependent prices. *Marine Resource Economics*, 13 (4), pp. 231-246.

MOKSNESS, E.; STØLE, R. y DER MEEREN, G.V. (1998). Profitability analysis of sea ranching with Atlantic salmon (*Salmo salar*), arctic charr (*Salvelinus alpinus*), and European lobster (*Homarus gammarus*) in Norway. *Bulletin of Marine Science*, 62 (2), pp. 689-699.

MOLÉS, G. (2011). Caracterización biológica de las gonadotrofinas de lubina (*Dicentrarchus labrax*) y desarrollo de herramientas biotecnológicas e inmunológicas para su estudio. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

MOLÉS, G.; GÓMEZ, A.; CARRILLO, M.; ROCHA, A.; MYLONAS, C.C. y ZANUY, S. (2011a). Determination of Fsh quantity and bioactivity during sex differentiation and oogenesis in European sea bass. *Biology of Reproduction*, 85 (4), pp. 848-857.

MOLÉS, G.; GÓMEZ, A.; ROCHA, A.; CARRILLO, M. y ZANUY, S. (2008). Purification and characterization of follicle-stimulating hormone from pituitary glands of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *General and Comparative Endocrinology*, 158 (1), pp. 68-76.

MOLÉS, G.; ZANUY, S.; MUÑOZ, I.; CRESPO, B.; MARTÍNEZ, I.; MAÑANÓS, E. y GÓMEZ, A. (2011b). Receptor specificity and functional comparison of recombinant sea bass (*Dicentrarchus labrax*) gonadotropins (Fsh and Lh) produced in different host systems. *Biology of Reproduction*, 84 (6), pp. 1171-1181.

MONTERO, D.; ROBAINA, M.; CABALLERO, J.; GINÉS, R. y IZQUIERDO, M.S. (2005). Growth, feed utilization and flesh quality of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing vegetable oils: A time-course study on the effect of a re-feeding period with a 100% fish oil diet. *Aquaculture*, 248 (1-4), pp. 121-134.

MONTOYA, A.; ALVES MARTINS, D.; YÚFERA, M. y SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. (2011). Self-selection of diets with different oil oxidation levels in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 314, pp. 282-284

MONTOYA, A.; LÓPEZ-OLMEDA, J.F.; YÚFERA, M.; SÁNCHEZ-MUROS, M.J. y SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. (2010). Feeding time synchronises daily rhythms of behaviour and digestive physiology in gilthead seabream (*Sparus aurata)*. *Aquaculture*, 306, pp. 315-321

MOÑINO, A.; TOMÁS, A.; FERNÁNDEZ, M.; LÁZARO, R.; PÉREZ, L.; ESPINÓS, F.J.; TIANA, A. y JOVER, M. (2002). Estudio del crecimiento, del aprovechamiento nutritivo y de la productividad económica de la dorada *Sparus auratus* L., 1758 alimentada con piensos comerciales de diferente contenido en proteína y lípidos. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 18 (1-4), pp. 275-280.

MORETTI, A; PEDINI-FERNANDO-CRIADO, M.; CITOLLIN, G. y GUIDASTRI, R. (1999). *Manual on Hatchery Production of Seabass and Gilthead Seabream Volume 1*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.

MORETTI, A; PEDINI-FERNANDO-CRIADO, M. y VETILLART, R. (2005). *Manual on Hatchery Production of Seabass and Gilthead Seabream Volume 2*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.

MORITA, M. y FLYNN, E. J. (1997). The linkage among management systems, practices and behaviour in successful manufacturing strategy. *International Journal of Operations and Production Management*, 17 (10), pp. 967-993.

MOUSER, C., y DUNN, S. (2005). Comparing genetic algorithms and particle swarm optimization for an inverse problem exercise. *Australian and New Zealand Industrial and Applied Mathematics Journal*, 46(C), pp. C89-C101.

MOUYSSET, L.; DOYEN, L.; JIGUET, F.; ALLAIRE, G. y LEGER, F. (2011). Bioeconomic modeling for a sustainable management of biodiversity in agricultural lands. *Ecological Economics*, 70 (4), pp. 617-626.

MOYANO, F.J.; DÍAZ, M.; ALARCÓN, F.J. y SARASQUETE, M.C. (1996). Characterization of digestive enzymes activity during larval development of gilthead seabream (*Sparus aurata). Fish Physiology and Biochemistry*, 15, pp. 121-130.

MULAZZANI, L.; CURTIN, R.; ANDRES, M. y MALORGIO, G. (2012). Multilevel governance and management of shared stocks with integrated markets: The European anchovy case. *Marine Policy*, Pendiente de publicación.

MULLER-FEUGA, A. (1990). *Modélisation de la croissance des poissons en élevage*. Rapports scientifiques et techniques de l`IFREMER. Institut Francais de Recherche pour l`Exploitation de la Mer, Francia.

MURILLAS, A. y CHAMORRO, J.M. (2006). Valuation and management of fishing resources underprice uncertainty. *Environmental and Resource Economics*, 33 (1), pp. 39-71.

MURILLAS, A.; PRELLEZO, R.; GARMENDIA, E.; ESCAPA, M.; GALLASTEGUI, C. y ANSUATEGI, A. (2008). Multidimensional and intertemporal sustainability assessment: A case study of the basque trawl fisheries. *Fisheries Research*, 91 (2-3), pp. 222-238.

N

NATHANAILIDES, C.; PASCHOS, I.; TSOUMANI, M.; PERDIKARIS, C. y KAPARELIOTIS, A. (2010). Capacity for thermal acclimation and winter mortality of sea bass *Dicentrarchus labrax* in freshwater earthen ponds. *Italian Journal of Zoology*, 77 (1), pp. 23-28.

NAVARRO, A.; ZAMORANO, M.J.; HILDEBRANDT, S.; GINÉS, R.; AGUILERA, C. y AFONSO, J.M. (2009). Estimates of heritabilities and genetic correlations for growth and carcass traits in gilthead seabream (*Sparus auratus* L.), under industrial conditions. *Aquaculture*, 289 (3-4), pp. 225-230.

NAVARRO-MARTÍN, L.; BLÁZQUEZ, M.; VIÑAS, J.; JOLY, S. y PIFERRER, F. (2009). Balancing the effects of rearing at low temperature during early development on sex ratios, growth and maturation in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Limitations and opportunities for the production of highly female-biased stocks. *Aquaculture*, 296 (3-4), pp. 347-358.

NEILL, W.H.; MILLER, J.M.; VAN DER VEER, H.W. Y WINEMILER, K.O. (1994). Ecophysiology of marine fish recruitment: a conceptual framework for understanding interannual variability. *Netherlands Journal of Sea Research*, 32, pp. 135-152.

NELSON, R. y WINTER, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Hardvard University Press, Cambridge, MA.

NGOC, Q.T.K. y FLAATEN, O. (2010). Protected areas for conflict resolution and management of recreational and commercial fisheries. *Marine Resource Economics*, 25 (4), pp. 409-426.

NIEMINEN, E.; LINDROOS, M. y HEIKINHEIMO, O. (2012). Optimal bioeconomic multispecies fisheries management: A baltic Sea case study. *Marine Resource Economics*, 27 (2), pp. 115-136.

NOBLE, M. (1997). Manufacturing competitive priorities and productivity: An empirical study. *International Journal of Operations and Production Management*, 17 (1), pp. 85-99.

NONAKA, I. (1991). The knowledge-creating company. *Hardvard Business Review*, 32 (3), pp. 27-38.

NONAKA, I. (1993). On a knowledge creating organization, reproducido en *Economía y Management*, 3 (Mayo de 1994), pp. 31-48.

NONAKA, I. (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization Science*, 5 (1), pp. 14-37.

NONAKA, I. y TAKEUCHI, H. (1995). *The knowledge-creating company*. Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos.

NØSTBAKKEN, L. (2006). Regime switching in a fishery with stochastic stock and price. *Journal of Environmental Economics and Management*, 51 (2), pp. 231-241.

NØSTBAKKEN, L. (2008). Stochastic modelling of the North Sea herring fishery under alternative management regimes. *Marine Resource Economics*, 23 (1), pp. 65-86.

NRC (1983). Nutrient requirements of warm water fishes and shellfishes. *Nutrient Requirements of Domestic Animals*, p.102.

O

OCA, J.; REIG, L. y FLOS, R. (2002). Is land-based sea bream production a feasible activity on the northwest Mediterranean coast? Analysis of production costs. *Aquaculture International*, 10 (1), pp. 29-41.

ORTEGA, L.; CASTILLA, J.C.; ESPINO, M.; YAMASHIRO, C. y DEFEO, O. (2012). Effects of fishing, market price, and climate on two South American clam species. *Marine Ecology Progress Series*, 469, pp. 71-85.

OSMAN, I.H. y LAPORTE, G. (1996). Metaheuristics: A bibliography. *Annals of Operations Research*, 63 (5), pp. 513-623.

P

PANG, H.; MAKARECHIAN, M.; BASARAB, J.A. y BERG, R.T. (1999a). Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. *Canadian Journal of Animal Science*, 79 (4), pp. 409-417.

PANG, H., MAKARECHIAN, M. y BASARAB, J.A. (1999b). A simulation study on the effects of cow size and milk production on bioeconomic efficiency of range beef cattle. *Journal of Applied Animal Research*, 16 (2), pp. 119-128.

PAQUOTTE, P. (1999). L'entreprise aquacole: specificités économiques. En Miner, M.C. y Kempf, M. (Eds.). *Aquaculture et environnement: Poissons marins.* AC Ifremer, Francia, pp. 33-45.

PASCOE, S. y REVILL, A. (2004). Costs and benefits of bycatch reduction devices in european brown shrimp trawl fisheries. *Environmental and Resource Economics*, 27 (1), pp. 43-64.

PELLETIER, D.; MAHEVAS, S.; DROUINEAU, H.; VERMARD, Y.; THEBAUD, O.; GUYADER, O. y POUSSIND, B. (2009). Evaluation of the bioeconomic sustainability of multi-species multi-fleet fisheries under a wide range of policy options using ISIS-Fish. *Ecological Modelling*, 220 (7), pp. 1013-1033.

PENMAN, S.H. (1991). An evaluation of accounting rate of return. *Journal of Accounting, Auditing and Finance*, spring: pp. 233-255.

PENROSE, E.T. (1959). *The theory of the growth of the firm*. Basil Blackwell, Londres, Reino Unido.

PERES, H. y OLIVA TELES A. (1999). Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 179, pp. 325-334.

PÉREZ, E.P.; ARAYA, A.; ARANEDA, M. y ZUÑIGA, C. (2012). Bioeconomic effect from the size selection in red abalone intensive culture Haliotis rufescens as a production strategy. *Aquaculture International*, 20 (2), pp. 333-345.

PERSON-LE RUYET, J.; MAHE, K.; LE BAYON, N. y LE DELLIOU, H. (2004). Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 237 (1-4), pp. 269-280.

PETERAF, M.A. (1993). The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view. *Strategic Management Journal*, 14, pp. 179-191.

PETERSEN, E.H.; LEVER, C.; SCHILIZZI, S. y HERTZLER, G. (2007). Bioeconomics of reservoir aquaculture in Vietnam. *Aquaculture Economics and Management*, 11 (3), pp. 267-284.

PETERSEN, E.H.; MY CHINH, D.T.; DIU, N.T.; VAN PHUOC, V.; PHUONG, T.H.; VAN DUNG, N.; DAT, N.K.; GIANG, P.T. y GLENCROSS, B.D. (2013b). Bioeconomics of Grouper, Serranidae: Epinephelinae, Culture in Vietnam. *Reviews in Fisheries Science*, 21 (1), pp. 49-57.

PETERSEN, E.H. y PHUONG, T.H. (2010). Tropical spiny lobster (*Panulirus ornatus*) farming in Vietnam - bioeconomics and perceived constraints to development. *Aquaculture Research*, 41 (10), pp. 634-642.

PETERSEN, E.H. y PHUONG, T.H. (2011). Bioeconomic Analysis of Improved Diets for Lobster, Panulirus ornatus, Culture in Vietnam. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42 (1), pp. 1-11.

PETERSEN, E.H.; PHUONG, T.H.; DAT, N.K; TUAN, V.A.; TRUC, L.V. y GLENCROSS, B.D. (2011a). Bioeconomics of Asian seabass, *Lates calcarifer*, culture in Vietnam. ACE Discussion Paper, 3.

PETERSEN, E.H.; PHUONG, T.H.; VAN DUNG, N.; GIANG, P.T.; DAT, N.K.; TUAN, V.A.; NGHI, T.V. y GLENCROSS, B.D. (2013a) Bioeconomics of mud crab, Scyllaparamamosain, culture in Vietnam. *Reviews in Aquaculture*, 5 (1), pp. 1-9.

PETERSEN, E.H. y SCHILIZZI, S. (2010). The impact of price and yield risk on the bioeconomics of reservoir aquaculture in Northern Vietnam. *Aquaculture Economics and Management*, 14 (3), pp. 185-201.

PETERSEN, E.H.; SUC, N.X.; THANH, D.V. y HIEN, T.T. (2011b). Bioeconomic analysis of extensive mud crab farming in Vietnam and analysis of improved diets. *Aquaculture Economics and Management*, 15 (2), pp. 83-102.

PICCHITTI, S.; SCAPIGLIATI, G.; FANELLI, M.; BARBATO, F.; CANESE, S.; MASTROLLA, L.; MAZZINI, M. y ABELLI, L. (2001). Sex-related variations of serum immunoglobulins during reproduction in gilthead sea bream and evidence for a transfer from the female to the eggs. *Journal of Fish Biology*, 59 (6), pp. 1503-1511.

PINTASSILGO, P.; FINUS, M.; LINDROOS, M. y MUNRO, G. (2010). Stability and success of regional fisheries management organizations. *Environmental and Resource Economics*, 46 (3), pp. 377-402.

POLANCO, E. (1991): L'aquaculture dans la région sud-Atlantique de Andalousie: évolution historique. *Aqua-Rev*, 39, pp. 13-17.

POLANCO, E. (1997): *Evolución histórica del aprovechamiento del mar en Cantabria*. En: Cantabria y el agua. Ed. Mediterráneo, Madrid, pp. 89-103.

POLI, R.; KENNEDY, J. y BLACKWELL, T. (2007). Particle swarm optimization: an overview. *Swarm Intelligence*, 1 (1), pp. 33-57.

POLO, A.; YÚFERA, M. y PASCUAL, E. (1991). Effects of temperature on egg and larval development of *Sparus Aurata L*. *Aquaculture*, 92 (C), pp. 367-375.

POLZONETTI, V.; CARDINALI, M.; MOSCONI, G.; NATALINI, P.; MEIRI, I. y CARNEVALI, O. (2002) Cyclic ADPR and calcium signaling in sea bream (*Sparus aurata*) egg fertilization. *Molecular Reproduction and Development*, 61 (2), pp. 213-217.

POMEROY, R.; BRAVO-URETA, B.E.; SOLÍS D. y JOHNSTON, R.J. (2008). Bioeconomic modelling and salmon aquaculture: An overview of the literature. *International Journal of Environment and Pollution*, 33 (4), pp. 485-500.

PONCE-MARBÁN, D.; HERNÁNDEZ, J.M. y GASCA-LEYVA, E. (2006). Simulating the economic viability of nile tilapia and australian redclaw crayfish polyculture in Yucatan, Mexico. *Aquaculture*, 261 (1), pp. 151-159.

POOT-LÓPEZ, G.R y GASCA-LEYVA, E. (2009). Substitution of balanced feed with chaya, *Cnidoscolus chayamansa*, leaf in tilapia culture: A bioeconomic evaluation. *Journal of the World Aquaculture Society*, 40 (3), pp. 351-362.

POOT-LÓPEZ, G.R.; HERNÁNDEZ, J.M. y GASCA-LEYVA, E. (2010). Input management in integrated agriculture-aquaculture systems in Yucatan: Tree spinach leaves as a dietary supplement in tilapia culture. *Agricultural Systems*, 103 (2), pp. 98-104.

PORTER, M. E. (1979). How competitive forces shape strategy. *Harvard Business Review*, 57 (2), pp. 137-145.

PORTER, M.E. (1980). *Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors*. Free Press, Nueva York, Estados Unidos.

PORTER, M.E. (1985). *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance*. Free Press, Nueva York, Estados Unidos.

PORTER, M.E. (1988), *Ventaja competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. CECSA, México.

PORTER, M.E. (1990a). *Estrategia competitiva. Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia*, CECSA, México, 13ª imp.

PORTER, M.E. (1990b). ¿Dónde radica la ventaja competitiva de las naciones? *Harvard-Deusto Business Review*, 44, pp. 3-26.

PORTER, M.E. (1996). What is strategy? *Harvard Business Review*, 74 (6), pp. 61-78.

PORTER, M.E. (1998). *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors: With a new introduction*. Free Press, Nueva York, Originally published by Free Press, Nueva York, 1980.

PRAHALAD, C.K. y HAMEL, G. (1990). The core competence of the corporation. *Harvard Business Review*, 68 (3), pp. 79-91.

PUGA, R.; VÁZQUEZ, S.H.; MARTÍNEZ, J.L. y DE LEÓN, M.E. (2005). Bioeconomic modelling and risk assessment of the cuban fishery for spiny lobster *Panulirus argus*. *Fisheries Research*, 75 (1-3), pp. 149-163.

PUNT, A.E.; DENG, R.A.; DICHMONT, C.M.; KOMPAS, T.; VENABLES, W.N.; ZHOU, S.; PASCOE, S.; HUTTON, T.; KENYON, R.; VAN DER VELDE, T. y KIENZLE, M. (2010). Integrating size-structured assessment and bioeconomic management advice in Australia's northern prawn fishery. *ICES Journal of Marine Science*, 67 (8), pp. 1785-1801.

PUNT, M.J.; WEIKARD, H.P. y VAN IERLAND, E.C. (2012). Marine protected areas in the high seas and their impact on international fishing agreements. *Natural Resource Modeling*, Pendiente de publicación.

PUROHIT, D. y CHAUDHURI, K.S. (2004) A bioeconomic model of nonselective harvesting of two competing fish species. *ANZIAM Journal*, 46 (2), pp. 299-308.

R

RABANAL, H.R. (1998). History of aquaculture. ASEAN/UNDP/FAO Regional small-scale coastal fisheries development project. Manila, Filipinas.

RAMÍREZ-CENDRERO, J.M. (2002). Los nuevos desarrollos de la economía industrial. Repercusiones en la política industrial y valoraciones críticas. Dpto. de Economía Aplicada I (Economía internacional y desarrollo), Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: http://pendientedemigracion.ucm.es/info/ec/jec8/Datos/documentos/comunicaciones/Fundamentos/Ramirez%20Juan%20Manuel.PDF

RASINES, I.; GÓMEZ, M.; RODRÍGUEZ, I. y CHEREGUINI, O. (2009). Calidad de las puestas inducidas hormonalmente en relación con la hora de ovulación y el momento del masaje abdominal en lenguado senegalés. Libro de Resúmenes del XII Congreso Nacional de Acuicultura. Madrid, España, pp. 482.

RASMUSSEN, P. (2001). Bayesian estimation of change points using the general linear model. *Water Resources Research*, 37 (11), pp. 2723-2731.

RASSWEILER, A.; COSTELLO, C. y SIEGEL, D.A. (2012). Marine protected areas and the value of spatially optimized fishery management. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109 (29), pp. 11884-11889.

RAUCH, H. E.; BOTSFORD, L.W. y SHLESER, R.A. (1975). Economic optimization of an aquaculture facility. *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-20, pp. 310-319.

RAVAGNAN, G. (1984). L'e´levage du loup et de la daurade en valliculture. The culture of seabass and seabream in ponds. En: Barnabe, G.; Billard, R. (Eds.). *L'Aquaculture Du Bar Et Des Sparide´s*. INRA, Paris, Francia.

REITHE, S. y ASCHAN, M.M. (2004). Bioeconomic analysis of by-catch of juvenile fish in the shrimp fisheries - an evaluation of management procedures in the Barents Sea. *Environmental and Resource Economics*, 28 (1), pp. 55-72.

RICHARDS, F.P.; REYNOLDS, W.W. y McCAULEY, R.W. (1977). Temperature preference studies in environmental impact assesments: an overview with procedural recommendations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34, pp. 729-761.

RIVERO, P. y CUERVO, J.A. (1986). El análisis económico-financiero de la empresa. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 49, pp. 15-33.

RIZZO, G. y SPAGNOLO, M. (1996). A model for the optimal management of sea bass *Dicentrarchus labrax* aquaculture. *Marine Resources Foundation*, 11 (4), pp. 267-286.

ROBINSON, N.; SCHIPP, G.; BOSMANS, J. y JERRY, D.R. (2010a). Modelling selective breeding in protandrous, batch-reared Asian sea bass (*Lates calcarifer*, Bloch) using walkback selection. *Aquaculture Research*, 41 (10), pp. e643-e655.

ROBINSON, N.; LI, X. y HAYES, B. (2010b). Testing options for the commercialization of abalone selective breeding using bioeconomic simulation modelling. *Aquaculture Research*, 41 (9), pp. e268-e288.

ROCHA, A.; GÓMEZ, A.; GALAY-BURGOS, M.; ZANUY, S.; SWEENEY, G.E. y CARRILLO, M. (2007a). Molecular characterization and seasonal changes in gonadal expression of a thyrotropin receptor in the European sea bass. *General and Comparative Endocrinology*, 152 (1), pp. 89-101.

ROCHA, A.; GÓMEZ, A.; ZANUY, S.; CERDÁ-REVERTER, J.M. y CARRILLO, M. (2007b). Molecular characterization of two sea bass gonadotropin receptors: cDNA cloning, expression analysis, and functional activity. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 272 (1-2), pp. 63-76.

RODRÍGUEZ, L.; BEGTASHI, I.; ZANUY, S. y CARRILLO, M. (2005). Long-term exposure to continuous light inhibits precocity in European male sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.): Hormonal aspects. *General and Comparative Endocrinology*, 140 (2), pp. 116-125.

RODRÍGUEZ, R.; FELIP, A.; CERQUEIRA, V.; HALA, E.; ZANUY, S. y CARRILLO, M. (2012). Identification of a photolabile period for reducing sexual maturation in juvenile male sea bass (*Dicentrarchus labrax*) by means of a continuous light regime. *Aquaculture International*, 20 (6), pp. 1071-1083.

ROSS, A. (2002). A multi-dimensional empirical exploration of technology investment, coordination and firm performance. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 32 (7), pp. 591-609.

RUBIO, V.C.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. y MADRID, J.A. (2005). Effects of salinity on food intake and macronutrient selection in European sea bass. *Physiology and Behavior*, 85 (3), pp. 333-339.

RUESGA, S.M.; FERNÁNDEZ-POLANCO, J. M y BICHARA, J. (Coords.) (2005). *Acuicultura marina mediterránea. Producción, comercialización y competencia internacional del sector español de la lubina y la dorada*. Mundi-Prensa. Madrid.

RUMELT, R.P. (1991). How much does industry matter? *Strategic Management Journal*, 12, pp. 167-185.

RUYET, J.P.L.; MAHE, K.; LE BAYON, N. y LE DELLIOU, H. (2004). Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus Labrax*. *Aquaculture*, 237 (1-4), pp. 269-280.

S

SAAVEDRA, M. y POUSÃO-FERREIRA, P. (2006). A preliminary study on the effect of lunar cycles on the spawning behaviour of the gilt-head sea bream, *Sparus aurata*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86 (4), pp. 899-901.

SADEGHI-SEFIDMAZGI, A.; MORADI-SHAHRBABAK, M.; NEJATI-JAVAREMI, A.; MIRAEI-ASHTIANI, S.R. y AMER, P.R. (2012). Breeding objectives for Holstein dairy cattle in Iran. *Journal of Dairy Science*, 95 (6), pp. 3406-3418.

SADEK, S.; OSMAN, M.F. y MANSOUR, M.A. (2004). Growth, survival and feed conversion rates of sea bream (*Sparus aurata*) cultured in earthen brackish water ponds fed different feed types. *Aquaculture International*, 12 (4-5), pp. 409-421.

SAILLANT, E.; FOSTIER, A.; HAFFRAY, P.; MENU, B. y CHATAIN, B. (2003). Saline preferendum for the European sea bass, *Dicentrarchus Labrax*, larvae and juveniles: Effect of salinity on early development and sex determination. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 287 (1), pp. 103-117.

SAKA, S.; FIRAT, K. y SÜZER, C. (2001). Effects of light intensity on early life development of gilthead sea bream larvae (*Sparus aurata*). *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 53 (3-4), pp. 139-146.

SALAS, V. (1992), *Aspectos micro-organizativos de la competitividad. Documento de Trabajo 9205*, Fundación Empresa Pública.

SALAS-LEITON, E.; ANGUIS, V.; MANCHADO, M. y CAÑAVATE, J.P. (2008). Growth, feeding and oxygen consumption of senegalese sole (*Solea Senegalensis*) juveniles stocked at different densities. *Aquaculture*, 285 (1-4), pp. 84-89.

SALAS-LEITON, E., ANGUIS, V.; MARTÍN-ANTONIO, B.; CRESPO, D.; PLANAS, J.V.; INFANTE, C.; CAÑAVATE, J.P. y MANCHADO, M. (2010). Effects of stocking density and feed ration on growth and gene expression in the senegalese sole (*Solea Senegalensis*). Potential effects on the immune response. *Fish and Shellfish Immunology*, 28 (2), pp. 296-302.

SANA, S.S. (2011). An integrated project of fishery and poultry. *Mathematical and Computer Modelling*, 54 (1-2), pp. 35-49.

SANA, S.S.; PUROHIT, D. y CHAUDHURI, K. (2012). Joint project of fishery and poultry - A bioeconomic model. *Applied Mathematical Modelling*, 36 (1), pp. 72-86.

SÁNCHEZ, J.A.; DEL POZO, A. y SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. (2009). Clonación y distribución de la expresión de dos cryptocromos de lubina. En: Libro de Resúmenes. XII Congreso Nacional de Acuicultura, Madrid, pp. 348.

SÁNCHEZ-LOZANO, N.B.; MARTÍNEZ-LLORENS, S.; TOMÁS-VIDAL, A. y CERDÁ, M.J. (2009). Effect of high-level fish meal replacement by pea and rice concentrate protein on growth, nutrient utilization and fillet quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*, L.). *Aquaculture*, 298 (1-2), pp. 83-89.

SÁNCHEZ-LOZANO, N.B.; TOMÁS, A.; MARTÍNEZ-LLORENS, S.; NOGALES, S.; BLANCO, J.E.; MOÑINO, A.; PLA, M. y CERDÁ, M.J. (2007). Growth and economic profit of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fed sunflower meal. *Aquaculture*, 272 (1-4), pp. 528-534.

SÁNCHEZ-RAMOS, I.; CROSS, I.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, G. y REBORDINOS, L. (2009). Polimorfismos en genes candidatos relacionados con el crecimiento y su asociación con caracteres cuantitativos en una población cultivada de dorada (*Sparus aurata*). En: Libro de Resúmenes. XII Congreso Nacional de Acuicultura, Madrid, pp. 344.

SÁNCHEZ-ZAZUETA, E.; HERNÁNDEZ, J.M. y MARTINEZ-CORDERO, F.J. (2013). Stocking density and date decisions in semi-intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) farming: A bioeconomic approach. *Aquaculture Research*, 44 (4), pp. 574-587.

SÁNCHEZ-ZAZUETA, E. y MARTÍNEZ-CORDERO, F.J. (2009). Economic risk assessment of a semi-intensive shrimp farm in Sinaloa, Mexico. *Aquaculture Economics and Management*, 13 (4), pp. 312-327.

SAROGLIA, M.; CARICATO, G.; FRITTELLA, F.; BRAMBILLA, F. y TEROVA, G. (2009). Dissolved oxygen regimen (PO 2) may affect osmorespiratory compromise in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Italian Journal of Animal Science*, 9 (1), pp. 73-78.

SAROGLIA, M.; CECCHINI, S.; TEROVA, G.; CAPUTO, A. y DE STRADIS, A. (2000). Influence of environmental temperature and water oxygen concentration on gas diffusion distance in sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Fish Physiology and Biochemistry*, 23 (1), pp. 55-58.

SCAPIGLIATI, G.; BUONOCORE, F.; RANDELLI, E.; CASANI, D.; MELONI, S.; ZARLETTI, G. et al. (2010). Cellular and molecular immune responses of the sea bass (*Dicentrarchus Labrax*) experimentally infected with betanodavirus. *Fish and Shellfish Immunology*, 28 (2), pp. 303-311.

SCHMIT-NIELSEN, K. (1983). *Fisiología Animal. Adaptación y Medio Ambiente*. Ediciones Omega, Barcelona, España, pp. 499.

SCHRECK, C.B. y MOYLE, P.B. (1990). *Methods for fish Biology*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, Estados Unidos.

SCHUMPETER, J. A. (1934). *The theory of economic development*. Hardvard University Press, Cambridge, MA.

SEIJO, J.C. (1987). Modelación de pesquerias tropicales. XXV Aniversario del Instituto Nacional de Pesca (1), pp. 85-90.

SEIJO, J.C.; CADDY, J.F. y EUAN, J. (1994). *SPATIAL: space-time dynamics in marine fisheries. A software package for sedentary species*. FAO Computerized information series: Fisheries, 6, pp. 116.

SEIJO, J.C. y DEFEO, O. (1994). Externalidades positivas en pesquerías: la incidencia de interdependencias ecológicas. Jaina (México), 5 (1), 18.

SEIJO J.C.; DEFEO, O. y SALAS, S. (1998). *Fisheries bioeconomics theory, modelling and management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. Italia.

SEIJO, J.C.; NOVELO, O. y CONCHA, W. (1996). *SIBEC: Simulación bioeconómica de pesquerías*. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Yucatán, México.

SEIJO, J.C.; PÉREZ, E.P. y CADDY, J.F. (2004). A simple approach for dealing with dynamics and uncertainty in fisheries with heterogeneous resource and effort distribution. *Marine and Freshwater Research*, 55 (3), pp. 249-256.

SEPULCRE, M.P.; LÓPEZ-CASTEJÓN, G.; MESEGUER, J.; y MULERO, V. (2007). The activation of gilthead seabream professional phagocytes by different PAMPs underlines the behavioural diversity of the main innate immune cells of bony fish. *Molecular Immunology*, 44 (8), pp. 2019-2026.

SETHI, G.; COSTELLO, C.; FISHER, A.; HANEMANN, M. y KARP, L. (2005). Fishery management under multiple uncertainty. *Journal of Environmental Economics and Management*, 50 (2), pp. 300-318.

SHAMSHAK, G.L. (2011). Economic evaluation of capture-based bluefin tuna aquaculture on the US east coast. *Marine Resource Economics*, 26 (4), pp. 309-328.

SHAMSHAK, G.L. y ANDERSON, J.L. (2009). Dynamic stochastic adaptive bioeconomic model of offshore bluefin tuna aquaculture. *Aquaculture Economics and Management*, 13 (2), pp. 155-175.

SHARMA, B. y FISHER, T. (1997). Functional strategies and competitiveness: An empirical analysis using data from Australian manufacturing. *Benchmarking for Quality Management and Technology*, 4 (4), pp. 286-294.

SILVESTRI, S. y MAYNOU, F. (2009). Application of a bioeconomic model for supporting the management process of the small pelagic fishery in the Veneto region, Northern Adriatic Sea, Italy. *Scientia Marina*, 73 (3), pp. 563-572.

SIRIKRAI, S.B. y TANG, J.C.S. (2006). Industrial competitiveness analysis: Using the analytic hierarchy process. *The Journal of High Technology Management Research*, 17 (1), pp. 71-83.

SKINNER, W. (1969). Manufacturing - Missing link in corporate strategy. *Harvard Business Review*, May-June, pp. 136-145.

SKONHOFT, A. y SOLSTAD, J.T. (1996). Wildlife management, illegal hunting and conflicts. A bioeconomic analysis. *Environment and Development Economics*, 1 (2), pp. 165-181.

SMIRNOV, B.P.; BARYBINA, I.A. y KLYASHTORIN, L.B. (1987). Relationship between standard metabolism and temperature in juvenile Pacific salmon. *Journal of Ichthyology*, 27, pp. 15-22.

SMITH, M.D. (2007). Generating value in habitat-dependent fisheries: The importance of fishery management institutions. *Land Economics*, 83 (1), pp. 59-73.

SMITH, M.D. y CROWDER, L.B. (2011). Valuing ecosystem services with fishery rents: A lumped-parameter approach to hypoxia in the neuse river estuary. *Sustainability*, 3 (11), pp. 2229-2267.

SMITH, M.D.; ZHANG, J. y COLEMAN, F.C. (2008). Econometric modeling of fisheries with complex life histories: Avoiding biological management failures. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55 (3), pp. 265-280.

SPARRE, P. (1976). A Markovian decision process applied to optimization of production planning in fish farming. *Cogelser, Meddelelser Danmarks Fiskeri Og Havunders*, 7, pp. 111-197.

STAUFFER, G.D. (1973). A growth model for salmonids reared in hatchery environments. Tesis de Maestría. University of Washington, Seattle, Washington, Estados Unidos.

STEPHANIS, J. (1995). Economic viability of production systems sea bass/sea bream in Greece (industrial scale). En: *Aspects économiques de la production aquacole*. CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes. 14, pp. 65-77.

STEWART, R.R. y MARTEL, M. (1995). Application of a bioeconomic strategic planning model to an industrial forest in Saskatchewan. *Water, Air, and Soil Pollution*, 82 (1-2), pp. 43-55.

STICKNEY, R.R. (2000). *Encyclopedia of Aquaculture*. Wiley-Blackwell, Toronto, Canada.

SUÁREZ, A. (1977). La rentabilidad y el tamaño de las empresas españolas. *Económicas y Empresariales*, 5, pp. 56-63.

SUAU, P. y LÓPEZ, J. (1976). Contribución al estudio de la dorada, *Sparus aurata* L. *Investigación Pesquera*, 40, pp. 169-199.

SUCRÉ, E.; BOSSUS, M.; BODINIER, C.; BOULO, V.; CHARMANTIER, G.; CHARMANTIER-DAURES, M. y CUCCHI, P. (2013). Osmoregulatory response to low salinities in the European sea bass embryos: A multi-site approach. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 183 (1), pp. 83-97.

T

TANDLER, A.; ANAV, F.A. y CHOSHNIAK, I. (1995). The effect of salinity on growth rate, survival and swimbladder inflation in gilthead seabream, *Sparus aurata*, larvae. *Aquaculture*, 135 (4), pp. 343-353.

TANDLER, A.; HAR'EL, M.; WILKS, M.; LEVINSON, A.; BRICKELL, L.; CHRISTIE, S. et al. (1989). Effect of environmental temperature on survival, growth and population structure in the mass rearing of the gilthead seabream, *Sparus Aurata*. *Aquaculture*, 78 (3-4), pp. 277-284.

TANDLER, A. y HELPS, S. (1985). The effects of photoperiod and water exchange rate on growth and survival of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, Linnaeus: Sparidae)

from hatching to metamorphosis in mass rearing systems. *Aquaculture*, 48 (1), pp. 72-83.

TAYLOR, M.H.; KOCH, V.; WOLFF, M. y SÍNSEL, F. (2006). Evaluation of different shallow water culture methods for the scallop *Nodipecten subnodosus* using biologic and economic modeling. *Aquaculture*, 254 (1-4), pp. 301-316.

TEECE, D.J. (1988). Technological change and the nature of the firm. En: Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, G. y Soete, L. (Eds.). *Technical change and economic theory*. Pinter Publisher, London, pp. 256-281.

TEECE, D.J.; PISANO, G. y SHUEN, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18 (7), pp. 509-533.

THANH, N.V. (2012). Bioeconomic model of eastern baltic cod under the influence of nutrient enrichment. *Natural Resource Modeling*, Pendiente de publicación.

THE ECONOMIST (2003). Blue revolution. The promise of fish farming. Special Report. *The Economist*. Visto en: http://www.economist.com/node/1974103.

THETMEYER, H.; WALLER, U.; BLACK, K.D.; INSELMANN, S. y ROSENTHAL, H. (1999). Growth of european sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) under hypoxic and oscillating oxygen conditions. *Aquaculture*, 174 (3-4), pp. 355-367.

THØGERSEN, T.; HOFF, A. y FROST, H. (2012). Linking effort and fishing mortality in a mixed fisheries model: Comparing linear versus non-linear assumptions. *Fisheries Research*, 127-128, pp. 9-17.

THONGRAK, S.; PRATO, T.; CHIAYVAREESAJJA, S. y KURTZ, W. (1997). Economic and water quality evaluation of intensive shrimp production systems in Thailand. *Agricultural Systems*, 53 (2-3), pp. 121-141.

TIAN, X.; LEUNG, P. S. y LEE. D. J. (2000). Size economies and optimal scheduling in shrimp production: Results from a computer simulation model. *Aquacultural Engineering*, 22 (4), pp. 289-307.

TOAN, T.D. y SCHILIZZI, S.G.M. (2010). Modeling the impact of government regulations on the performance of reservoir aquaculture in Vietnam. *Aquaculture Economics and Management*, 14 (2), pp. 120-144.

TRACEY, M.; VONDEREMBSE, M. A. y LIM, J. S. (1999). Manufacturing technology and strategy formulation: Keys to enhancing competitiveness and improving performance. *Journal of Operations Management*, 17, pp. 411-428.

TUDOR, M. (1999). Diurnal changes of dissolved oxygen in fouling land-based tanks for rearing of sea bass. *Aquacultural Engineering*, 19 (4), pp. 243-258.

U

UPTON, D.M. (1994). The management of manufacturing flexibility. *California Management Review*, Winter, pp. 72–89.

URBAN JR, E.R., y PRUDER, G.D. (1991). A method of economic comparisons for aquaculture diet development. *Aquaculture*, 99 (1-2), pp. 127-142.

UYSAL, O. y BULKAN, S. (2008). Comparison of genetic algorithm and particle swarm optimization for bicriteria permutation flowshop scheduling problem. *International Journal of Computational Intelligence Research Year*, 4 (2), pp. 129-134.

V

VALDERRAMA, D. y ANDERSON, J.L. (2007). Improving utilization of the Atlantic Sea scallop resource: An analysis of rotational management of fishing grounds. *Land Economics*, 83 (1), pp. 86-103.

VAN HAM, E.H.; BERNTSSEN, M.H.G.; IMSLAND, A.K.; PARPOURA, A.C.; BONGA, S.E.W. y STEFANSSON, S.O. (2003). The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 217 (1-4), pp. 547-558.

VAN WALSUM, P.; HELMING, J.; STUYT, L.; SCHOUWENBERG, E. y GROENENDIJK, P. (2008). Spatial planning for lowland stream basins using a bioeconomic model. *Environmental Modelling and Software*, 23 (5), pp. 569-578.

VÁZQUEZ, G.; ARRUZA, P.; LARRAÑETA, M.; LOSADA, J. M. y POLANCO, E. (1995). *Adaptación del sector pesquero español a la normativa de la CEE , Tomo I.* Fundación Alfonso Martín Escudero. Ed. Mundi-Prensa.

VELÁZQUEZ, M.; ZAMORA, S. y MARTÍNEZ, F.J. (2006). Effect of dietary energy content on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) feeding behaviour and nutritional use of the diet. *Aquaculture Nutrition*, 12 (2), pp. 127-133.

VILLAMIZAR, N.; GARCÍA-ALCAZAR, A. y SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. (2009). Effect of light spectrum and photoperiod on the growth, development and survival of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Aquaculture*, 292 (1-2), pp. 80-86.

VILLAMIZAR, N.; GARCÍA-MATEOS, G. y SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F.J. (2011). Behavioral responses of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae and Artemia sp. exposed to constant light or darkness vs. light/dark cycles of white, red or blue wavelengths. *Aquaculture*, 317 (1-4), pp. 197-202.

VILLANUEVA, R.R.; ARANEDA, M.E.; VELA, M. y SEIJO, J.C. (2013). Selecting stocking density in different climatic seasons: A decision theory approach to intensive aquaculture. *Aquaculture*, 384-387, pp. 25-34.

VINAGRE, C.; MADEIRA, D.; NARCISO, L.; CABRAL, H.N. y DINIZ, M. (2012a). Effect of temperature on oxidative stress in fish: Lipid peroxidation and catalase activity in the muscle of juvenile seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Ecological Indicators*, 23, pp. 274-279.

VINAGRE, C.; NARCISO, L.; CABRAL, H.N.; COSTA, M.J. y ROSA, R. (2012b). Coastal versus estuarine nursery grounds: Effect of differential temperature and heat waves on juvenile seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 109, pp. 133-137.

VIÑAS, J. y PIFERRER, F. (2008). Stage-specific gene expression during fish spermatogenesis as determined by laser-capture microdissection and quantitative-PCR in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) gonads. *Biology of Reproduction*, 79 (4), pp. 738-747.

VOSTI, S.A.; BRAZ, E.M.; CARPENTIER, C.L.; D'OLIVEIRA, M.V.N. y WITCOVER, J. (2003). Rights to frest products, deforestation and smallholder income: Evidence from the Western Brazilian Amazon. *World Development*, 31 (11), pp. 1889-1901.

W

WAGNER, B.A. y YOUNG, J.A. (2009). Seabass and seabream farmed in the Mediterranean: swimming against the tide of market orientation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14 (6), pp. 435-446

WARD, P.T.; LEONG, G.K. y BOYER, K.K. (1994). Manufacturing proactiveness and performance. *Decision Sciences*, 25 (3), pp. 337–358.

WERNERFELT, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5 (2), pp. 171-180.

WHITE, C. (2009). Density dependence and the economic efficacy of marine reserves. *Theoretical Ecology*, 2 (3), pp. 127-138.

WHITE, C. y COSTELLO, H. (2011). Matching spatial property rights fisheries with scales of fish dispersal. *Ecological Applications*, 21 (2), pp. 350-362.

WHITE, C.; KENDALL, B.E.; GAINES, S.; SIEGEL, D.A. y COSTELLO, C. (2008). Marine reserve effects on fishery profit. *Ecology Letters*, 11 (4), pp. 370-379.

WHITE, J.W.; SCHOLZ, A.J.; RASSWEILER, A.; STEINBACK, C.; BOTSFORD, L.W.; KRUSE, S.; COSTELLO, C.; MITARAI, S.; SIEGEL, D.A.; DRAKE, P.T. y EDWARDS, C.A. (2013). A comparison of approaches used for economic analysis in marine protected area network planning in California. *Ocean and Coastal Management*, 74, pp. 77-89.

WINBERG, G.G. (1960). Rate of metabolism and food requirements of fishes. *Fisheries Research Board of Canada*, 194, pp. 202.

WISE, R. y CACHO, O. (2005). A bioeconomic analysis of carbon sequestration in farm forestry: A simulation study of Gliricidia sepium. *Agroforestry Systems*, 64 (3), pp. 237-250.

WOLFOVÁ, M.; PŘIBYL, J. y WOLF, J. (2001). Economic weights for production and functional traits of Czech dairy cattle breeds. *Czech Journal of Animal Science*, 46 (10), pp. 421-432.

WOLFOVÁ, M.; WOLF, J.; KVAPILÍK, J. y KICA, J. (2007). Selection for profit in cattle: I. Economic weights for purebred dairy cattle in the Czech Republic. *Journal of Dairy Science*, 90 (5), pp. 2442-2455.

WOO, N.Y.S. y KELLY, S.P. (1995). Effects of salinity and nutritional status on growth and metabolism of spams sarba in a closed seawater system. *Aquaculture*, 135 (1-3), pp. 229-238.

Y

YAMAZAKI, S.; GRAFTON, R.Q. y KOMPAS, T. (2010). Non-consumptive values and optimal marine reserve switching. *Ecological Economics*, 69 (12), pp. 2427-2434.

YAMAZAKI, S.; GRAFTON, Q.R.; KOMPAS, T. y JENNINGS, S. (2012). Biomass management targets and the conservation and economic benefits of marine reserves. *Fish and Fisheries*, Pendiente de publicación.

YAMAZAKI, S.; KOMPAS, T. y GRAFTON, R.Q. (2009). Output versus input controls under uncertainty: The case of a fishery. *Natural Resource Modeling*, 22 (2), pp. 212-236.

YE, Y.; LONERAGAN, N.; DIE, D.; WATSON, R. y HARCH, B. (2005). Bioeconomic modelling and risk assessment of tiger prawn (*Penaeus Esculentus*) stock enhancement in exmouth Gulf, Australia. *Fisheries Research*, 73 (1-2), pp. 231-249.

YEMSHANOV, D.; MCKENNEY, D.W.; DE GROOT, P.; HAUGEN, D.; SIDDERS, D. y JOSS, B. (2009). A bioeconomic approach to assess the impact of an alien invasive insect on timber supply and harvesting: a case study with Sirex noctilio in eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 39 (1), pp. 154-168.

YU, R. y LEUNG, P. (2005). Optimal harvesting strategies for a multi-cycle and multi-pond shrimp operation: A practical network model. *Mathematics and Computers in Simulation*, 68 (4), pp. 339-354.

Z

ZAMBONINO INFANTE, J.L. y CAHU, C.L. (1994). Development and response to a diet change of some digestive enzymes in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 12, pp. 399-408.

ZHANG, J. y SMITH, M.D. (2011). Estimation of a generalized fishery model: A two-stage approach. *Review of Economics and Statistics*, 93 (2), pp. 690-699.

ZHANG, W. y SWINTON, S.M. (2009). Incorporating natural enemies in an economic threshold for dynamically optimal pest management. *Ecological Modelling*, 220 (9-10), pp. 1315-1324.

ZILLI, L.; SCHIAVONE, R.; CHAUVIGNE, F.; CERDA, J.; STORELLI, C. y VILELLA, S. (2009). Evidence for the involvement of aquaporins in sperm motility

activation of the teleost gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Biology of Reproduction*, 81 (5), pp. 880-888.

ZIMMERMANN, F.; HEINO, M. Y STEINSHAMN, S.I. (2011a). Does size matter? A bioeconomic perspective on optimal harvesting when price is size-dependent. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68 (9), pp. 1651-1659.

ZIMMERMANN, F.; STEINSHAMN, S.I. y HEINO, M. (2011b). Optimal harvest feedback rule accounting for the fishing-up effect and size-dependent pricing. *Natural Resource Modeling*, 24 (3), pp. 365-382.

ZOHAR, Y.; BILLARD, R. y WEIL, C. (1984). La reproduction de la daurade (*Sparus aurata*) et du bar (*Dicentrarchus labrax*): Connaisance du cycle sexuel et controle de la gametogenese et de la ponte. *L'Aquaculture du bar et des Sparides*, INRA PUBL. pp. 3-24.

ZOHAR, Y. y GORDIN, H. (1979). Spawning kinetics in the gilthead sea-bream, *Sparus aurata* L. After low doses of human chorionic gonadotropin. *Journal of Fish Biology*, 15, pp. 665-670.

ZÚÑIGA, S. (2010). A dynamic simulation analysis of Japanese abalone (*Haliotis discus hannai*) production in Chile. *Aquaculture International*, 18(4), pp. 603-620.

APÉNDICE A

Temperaturas mensuales del agua en el mar Mediterráneo

Tabla 47. Temperaturas mensuales del agua en las localizaciones analizadas (ºC). Monthly water temperatures on the locations analyzed (ºC).

	SS[a]	SES	ES	NWI	SWI	SEI	NEI	WG	SG	WT	ST	SET
Enero / January	15	14	14	14	15	14	14	15	16	16	17	18
Febrero / February	15	14	13	14	14	14	13	15	15	16	16	17
Marzo / March	15	14	13	14	14	14	13	15	15	16	16	17
Abril / April	16	15	14	15	15	15	14	16	16	17	17	18
Mayo / May	17	18	17	17	18	17	16	18	18	19	19	20
Junio / June	19	21	20	20	21	21	20	21	21	22	23	24
Julio / July	21	23	23	22	24	23	22	23	24	24	25	26
Agosto / August	22	25	25	23	25	25	24	25	24	24	26	27
Septiembre / September	22	24	24	23	24	24	23	24	24	24	26	27
Octubre / October	20	21	20	20	22	21	20	22	22	22	24	25
Noviembre / November	18	19	19	18	19	18	17	20	19	20	22	23
Diciembre / December	16	16	16	16	17	16	15	17	18	18	19	20
Media / Average	18.00	18.67	18.17	18.00	19.00	18.50	17.58	19.25	19.33	19.83	20.83	21.83
σ	2.73	4.10	4.32	3.52	4.11	4.12	4.03	3.72	3.55	3.27	3.93	3.93

[a] Sur España / southern Spain (SS), sudeste de España / southeastern Spain (SES), este de España / eastern Spain (ES), noroeste de Italia / northwestern Italy (NWI), sudoeste de Italia / southwestern Italy (SWI), sudeste de Italia / southeastern Italy (SEI), nordeste de Italia / northeastern Italy (NEI), oeste de Grecia / western Greece (WG), sur de Grecia / southern Greece (SG), oeste de Turquía / western Turkey (WT), sur de Turquía / southern Turkey (ST), sudeste de Turquía / southeastern Turkey (SET).

APÉNDICE B

Temperaturas mensuales del agua en las Islas Canarias y la costa mediterránea española

Tabla 48. Temperatura del agua y estacionalidad de los precios de venta. Water temperature (°C) and seasonality of sales prices.

Mes / Month	Islas Canarias Canary Islands	Costa mediterránea Mediterranean coast	Estacionalidad Seasonality (%)
Enero / January	20.5	14.1	95.5
Febrero / February	19.7	13.5	96.2
Marzo / March	19.5	13.8	105.3
Abril / April	19.5	14.9	107.8
Mayo / May	19.7	17.8	111.6
Junio / June	20.0	20.3	113.1
Julio / July	21.0	23.0	108.6
Agosto / August	22.0	25.4	103.0
Septiembre / September	23.3	24.3	98.4
Octubre / October	23.9	21.1	94.6
Noviembre / November	22.7	18.7	87.7
Diciembre / December	21.5	16.2	87.1

APÉNDICE C

Valores de los parámetros de producción utilizados en la simulación del cultivo de dorada

Tabla 49. Precios de venta en function del tamaño commercial. Sales prices depending on the commercial size.

Tamaño Size g	€/kg
300-400	4.3
400-600	4.5
600-800	5.3
800-1000	8.2

Tabla 50. Precio del pienso en función del peso del pez. Feed price depending on fish weight.

Tamaño Size g	€/kg
0-15	1.1
15-35	1.0
35-50	0.8
> 50	0.7

Tabla 51. Precio de los alevines en función de su peso. Price of fingerlings depending on their weight.

Peso Weight (g)	€/unit	Peso Weight (g)	€/unidad €/unit
3	0.25	11	0.33
4	0.26	12	0.34
5	0.27	13	0.35
6	0.28	14	0.36
7	0.29	15	0.37
8	0.30	16	0.38
9	0.31	17	0.39
10	0.32	18	0.40

Tabla 52. Tasas de mortalidad de los peces. Fish mortality rates.

Temperatura Temperature	Tamaño Size (g)	Tasa de mortalidad / Mortality rate (%)
< = 25 Cº	<= 50 g	0.017
	<= 200 g	0.010
	<= 500 g	0.007
	> 500 g	0.006
> 25 Cº	mort = mort(*w*) * (1 + 0.05 * (Temperature - 25)/ 30)	

Tabla 53. Tasa diaria de crecimiento como porcentaje del peso del pez. Daily specific growth rate as a percentage of fish weight.

		Peso /Weight g					
		0-35	35-100	100-200	200-300	300-500	500-1000
Temperatura / Temperature °C	10	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	14	0.20	0.12	0.08	0.07	0.06	0.02
	16	0.44	0.26	0.19	0.15	0.10	0.04
	18	0.77	0.46	0.34	0.26	0.15	0.08
	20	1.34	0.81	0.57	0.45	0.26	0.11
	22	2.07	1.27	0.86	0.68	0.40	0.15
	24	2.65	1.64	1.10	0.87	0.51	0.22
	26	3.30	2.04	1.36	1.09	0.63	0.28
	27	3.56	2.19	1.47	1.17	0.67	0.32
	28	3.61	2.22	1.50	1.19	0.68	0.33
	29	2.85	1.75	1.18	0.94	0.54	0.24
	30	2.13	1.32	0.88	0.70	0.41	0.20

Tabla 54. Tasa diaria de alimentación como porcentaje del peso del pez. Daily feeding rate as a percentage of fish weight.

		Peso / Weight g					
		0-35	35-100	100-200	200-300	300-500	500-1000
Temperatura / Temperature °C	10	0.88	0.50	0.45	0.40	0.26	0.26
	12	0.88	0.50	0.45	0.40	0.26	0.26
	14	0.88	0.50	0.45	0.40	0.26	0.26
	16	0.99	0.60	0.55	0.50	0.34	0.26
	18	1.43	0.80	0.70	0.65	0.43	0.34
	20	2.09	1.20	1.15	0.95	0.64	0.51
	22	2.64	1.60	1.45	1.25	0.81	0.60
	24	3.19	2.00	1.70	1.45	0.98	0.77
	26	3.96	2.50	2.15	1.85	1.23	0.94
	27	4.51	2.80	2.45	2.10	1.34	1.11
	28	4.73	3.00	2.60	2.25	1.45	1.19
	29	3.96	2.50	2.20	1.85	1.24	0.94
	30	3.08	2.00	1.70	1.45	0.97	0.77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de la situación acuícola en España hasta la creación de las Autonomías (1981-1982)..... 47

Tabla 2. Producción mundial de pescado..... 51

Tabla 3. Producción acuícola por regiones. 51

Tabla 4. Principales productores acuícolas a nivel mundial y en Europa en 2010. 52

Tabla 5. Importancia de la producción pesquera total, de la pesca y de la acuicultura española en la UE-27..... 57

Tabla 6. Comparación de las principales macro-magnitudes, nacionales, agrarias y acuícolas en el periodo 2009-2011..... 61

Tabla 7. Macromagnitudes y cuenta de resultados por tipos de acuicultura. Año 2011. 62

Tabla 8. Empleo en acuicultura. Número de unidades de trabajo anual (UTA) y personas por tipo de acuicultura y sexo. Años 2007-2011..... 63

Tabla 9. Número de establecimientos con producción, por origen del agua y tipo de establecimiento..... 65

Tabla 10. Producción de las principales especies de acuicultura marina y continental y las zonas en que se desarrolla. Año 2011. 67

Tabla 11. Producción de las principales especies de piscicultura marina en España. Cantidad, valor y valor por kg de la producción. Año 2010. 72

Tabla 12. Producción marina de engorde comercial de peces en España. Cantidad, valor y valor por kg de la producción por comunidades autónomas en el periodo 2008-2011..... 73

Tabla 13. Evolución del número de unidades de producción piscícola marina activas en España en el periodo 2005-2011.. 74

Tabla 14. Número de instalaciones de reproducción (*hatcheries*) en España por comunidades autónomas en el periodo 2007-2011. 74

Tabla 15. Instalaciones de pre-engorde por comunidades autónomas.. 75

Tabla 16. Instalaciones de engorde por comunidades autónomas..... 75

Tabla 17. Producción mundial de dorada (*Sparus aurata*).. 85

Tabla 18. Principales países productores de dorada (*Sparus aurata*) en el año 2010. 86

Tabla 19. Producción española de dorada (*Sparus aurata*)..... 87

Tabla 20. Evolución de la producción española de dorada (*Sparus aurata*) por comunidades autónomas y del precio medio de primera venta..... 88

Tabla 21. Producción mundial de lubina (*Dicentrarchus labrax*)..... 97

Tabla 22. Principales países productores lubina (*Dicentrarchus labrax*) en el año 2010..... 98

Tabla 23. Producción española de lubina (*Dicentrarchus labrax*)..... 99

Tabla 24. Evolución de la producción española de lubina (*Dicentrarchus labrax*) por comunidades autónomas y del precio medio de primera venta..... 101

Tabla 25. Investigaciones bioeconómicas en la pesca en el periodo 2004-2013 (Abril de 2013)..... 148

Tabla 26. Investigaciones bioeconómicas en la acuicultura en el periodo 2004-2013 (Abril de 2013). 152

Tabla 27. Hipótesis a contrastar por el modelo propuesto. 172

Tabla 28. Media, desviación típica y correlaciones simples de las variables explicativas. .. 179

Tabla 29. Solución estandarizada del modelo. 181

Table 30. Hypotheses to be tested in the proposed model..... 192

Table 31. Mean, standard deviation and simple correlations of the explanatory variables... 195

Table 32. Standardized solution of the model. 196

Table 33. Simulation parameters. Characteristics of the seabream farm and settings for the control variables. 211

Table 34. Value of the control parameters of PSO algorithm. 211

Table 35. Optimal strategies for the production of seabream in the Canary Islands and on the Spanish Mediterranean coast. 213

Tabla 36. Parámetros de simulación. Características de la instalación de cultivo de dorada y los valores de las variables de decisión. 234

Tabla 37. Valor de los parámetros de control del algoritmo PSO. 234

Tabla 38. Estrategias óptimas para la producción de dorada en las Islas Canarias y en la costa mediterránea española. 236

Table 39. Nomenclature used in the bioeconomic model. 247

Table 40. Bioeconomic model for seabream production. 248

Table 41. Data of the optimal strategies for the locations analyzed in the western Mediterranean. 255

Table 42. Data of the optimal strategies for the locations analyzed in the eastern Mediterranean. 257

Tabla 43. Nomenclatura del modelo bioeconómico. 269

Tabla 44. Modelo bioeconómico para el cultivo de dorada. 271

Tabla 45. Datos de las estrategias de producción óptimas analizadas en el oeste del mar Mediterráneo. 277

Tabla 46. Datos de las estrategias optimas de producción en las localizaciones analizadas en el este del mar Mediterráneo. 280

Tabla 47. Temperaturas mensuales del agua en las localizaciones analizadas (ºC). Monthly water temperatures on the locations analyzed (ºC). 377

Tabla 48. Temperatura del agua y estacionalidad de los precios de venta. Water temperature (°C) and seasonality of sales prices. 381

Tabla 49. Precios de venta en function del tamaño commercial. Sales prices depending on the commercial size. 385

Tabla 50. Precio del pienso en función del peso del pez. Feed price depending on fish weight. 385

Tabla 51. Precio de los alevines en función de su peso. Price of fingerlings depending on their weight. 385

Tabla 52. Tasas de mortalidad de los peces. Fish mortality rates. 385

Tabla 53. Tasa diaria de crecimiento como porcentaje del peso del pez. Daily specific growth rate as a percentage of fish weight. 386

Tabla 54. Tasa diaria de alimentación como porcentaje del peso del pez. Daily feeding rate as a percentage of fish weight. 386

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la producción mundial de la pesca y la acuicultura. 50

Figura 2. Evolución de la producción europea de la pesca y la acuicultura. 53

Figura 3. Evolución de las exportaciones e importaciones de productos pesqueros en Europa 54

Figura 4. Evolución de la producción española de la pesca y la acuicultura. 56

Figura 5. Evolución de las exportaciones e importaciones de productos pesqueros en España. 57

Figura 6. Evolución de la producción de acuicultura marina en España por grupo de especies en el periodo 1950-2010. 69

Figura 7. Evolución de la producción de peces marinos y su variación interanual en el periodo 1980-2010 en España. 70

Figura 8. Evolución de la producción de peces marinos por especies en el periodo 1985-2010 en España..... 71

Figura 9. Espécimen adulto de dorada. 79

Figura 10. Ciclo de producción extensivo de la dorada (*Sparus aurata*)..... 81

Figura 11. Ciclo de producción intensivo de la dorada (*Sparus aurata*). 81

Figura 12. Evolución de la producción mundial de dorada (*Sparus aurata*).. 84

Figura 13. Evolución de la producción acuícola de dorada (*Sparus aurata*) en España en términos de cantidad y de valor..... 87

Figura 14. Espécimen adulto de lubina.. 92

Figura 15. Ciclo de producción extensivo de la lubina (*Dicentrarchus labrax*)..... 93

Figura 16. Ciclo de producción intensivo de la lubina (*Dicentrarchus labrax*). 94

Figura 17. Evolución de la producción mundial de lubina (*Dicentrarchus labrax*). 96

Figura 18. Evolución de la producción acuícola española de lubina (*Dicentrarchus labrax*) en términos de cantidad y de valor.. 100

Figura 19. Modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina... 173

Figure 20. Explanatory model of the profitability of marine fish farming companies. 192

Figure 21. Evolution of the seabream weight (w) and the seasonality of its price (q_h) in the Canary Islands and on the Spanish Mediterranean coast along the five years period simulated. 214

Figure 22. Evolution of the feed conversion rate during the production of seabream in the Canary Islands and on the Spanish Mediterranean coast along the five years period simulated. 216

Figura 23. Evolución del peso de la dorada (w) y de la estacionalidad de su precio (q_h) en las Islas Canarias y en la costa mediterránea española durante los cinco años del periodo simulado. 237

Figura 24. Evolución de la tasa de conversión del alimento durante la producción de dorada en las Islas Canarias y en la costa mediterránea española a lo largo del periodo de cinco años simulado. 239

Figure 25. Geographical position of the fish farms at the 12 locations analyzed. Left to right: Southern Spain, southeastern Spain, eastern Spain, northwestern Italy, southwestern Italy, southeastern Italy, northeastern Italy, western Greece, southern Greece, western Turkey, southern Turkey and southeastern Turkey. 252

Figure 26. Evolution of fish weight and of the seasonality of fish price over the period of analysis. 258

Figure 27. Evolution of the feed conversion rate and of the seasonality of its price. 260

Figura 28. Posición geográfica de la granja en cada una de las 12 localizaciones analizadas. De izquierda a derecha: Sur de España, sudeste de España, este de España,

noroeste de Italia, sudoeste de Italia, sudeste de Italia, nordeste de Italia, oeste de Grecia, sur de Grecia, oeste de Turquía, sur de Turquía, sudeste de Turquía. 275

Figura 29. Evolución del peso y de la estacionalidad del precio de venta del pez. 281

Figura 30. Evolución de la tasa de conversión del alimento. 283

ADENDA

Título: Análisis de competitividad de las empresas de acuicultura. Aplicaciones empíricas al cultivo de la dorada (*Sparus Aurata*) y la lubina (*Dicentrarchus Labrax*)

Autor: Llorente García, Ignacio

Director: Luna Sotorrío, Ladislao

Fecha: 20-7-2013

Universidad: Universidad de Cantabria

Departamento: Administración de Empresas

El presente documento contiene las referencias bibliográficas y los códigos DOI de los artículos que se corresponden con el contenido de la primera y tercera de las aplicaciones empíricas que forman parte del Capítulo IV de la Tesis Doctoral.

1ª Aplicación empírica. Apartados 4.2 (en Español) y 4.3 (en Inglés).

Llorente, I. and Luna, L. (2012). Modelo explicativo de la rentabilidad de las empresas de piscicultura marina. Aplicación empírica a la cría de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) en España. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 12(2), pp. 31-55.

DOI: 10.7201/earn.2012.02.02

ISSN: 1578-0732. e-ISSN: 2174-7350

3ª Aplicación empírica. Apartados 4.6 (en Inglés) y 4.7 (en Español).

Llorente, I. and Luna, L. (2013). The Competitive Advantages Arising from Different Environmental Conditions in Seabream, *Sparus aurata*, Production in the Mediterranean Sea. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(5), 611–627.

DOI: 10.1111/jwas.12069

Online ISSN: 1749-7345

© Copyright by the World Aquaculture Society 2013