



Genoma España
Sector agroalimentario

Genómica de especies piscícolas

Informe de Vigilancia Tecnológica



Genómica de especies piscícolas

Informe de Vigilancia
Tecnológica



Genoma España
Sector agroalimentario

GENÓMICA DE ESPECIES PISCÍCOLAS

El presente informe de Vigilancia Tecnológica ha sido realizado en el marco del convenio de colaboración conjunta entre Genoma España y la Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid (FGUAM), entidad que gestiona el Círculo de Innovación en Biotecnología (CIBT), perteneciente al Sistema de Promoción Regional de la Innovación MADRID+D.

Los autores de este informe agradecen la colaboración ofrecida por toda la comunidad científica y empresarial para la realización de este informe, en especial a:

- D.^a Mar Ajubita, D.^a Isabel Cano, D. David Muñoz y D. Carlos Buergo (Phyllum).
- Dra. Carmen Amaro (Univ. de Valencia).
- Dr. Julio Coll (INIA).
- Dra. María Amparo Estepa (Univ. Miguel Hernández).
- Dra. Rosa Flos (Centro de Referencia en Acuicultura de la Generalitat de Catalunya).
- Dra. Alicia Gibello (Univ. Complutense de Madrid).
- Dr. Miguel Jover (Univ. Politècnica de Valencia).
- Dr. Victoriano Mulero (Univ. Murcia).
- Dr. Lluís Tort (Univ. Autònoma de Barcelona).
- Dr. Alberto Villena (Univ. de León).
- Dr. José Antonio Sánchez (Univ. de Oviedo).
- Dra. Sara Isabel Pérez (CIB-CSIC).

La reproducción parcial de este informe está autorizada bajo la premisa de incluir referencia al mismo, indicando: Genómica de Especies Piscícolas. GENOMA ESPAÑA/ CIBT-FGUAM.

Genoma España no se hace responsable del uso que se realice de la información contenida en esta publicación. Las opiniones que aparecen en este informe corresponden a los expertos consultados y a los autores del mismo.

© Copyright: Fundación Española para el Desarrollo de la Investigación en Genómica y Proteómica/ Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid

Autores: Marta López (CIBT)

Paloma Mallorquín (CIBT)

Miguel Vega (Genoma España)

Edición: Silvia Enríquez (Genoma España)

Referencia: GEN-ES03003

Fecha: Noviembre 2003

Depósito Legal: M-54061-2003

ISBN: 84-607-9254-4

Diseño y realización: Spainfo, S.A.

Índice de contenido

• RESUMEN EJECUTIVO	7
1. INTRODUCCIÓN A LA GENÓMICA Y PROTEÓMICA	8
2. INTRODUCCIÓN A LA ACUICULTURA	9
2.1. Definición de acuicultura.	9
2.2. El estado mundial de la acuicultura.	10
3. ESPECIES PISCÍCOLAS CULTIVADAS EN ESPAÑA	13
3.1. Producción de las especies piscícolas cultivadas en España.	14
3.2. Distribución geográfica de las actividades de acuicultura en España.	17
3.3. Actividades de I+D en acuicultura en España.	18
4. APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA ACUICULTURA DE ESPECIES PISCÍCOLAS	20
4.1. Secuenciación.	20
4.2. Genómica funcional.	24
4.3. Vacunas.	25
4.4. Selección Asistida por Marcadores.	33
4.5. Transgénesis.	36
4.6. Embriogénesis y Células madre.	48
4.7. Clonación reproductiva de peces.	49
4.8. Producción de proteínas.	50
4.9. Tecnología de la PCR.	52
4.10. Técnicas de control del sexo.	55
4.11. Probióticos.	56
5. ESPECIES PISCÍCOLAS CULTIVADAS EN TERRITORIO ESPAÑOL	57
5.1. Dorada.	57
5.2. Lubina y besugo.	57
5.3. Salmón.	58
5.4. Rodaballo.	58
5.5. Atún rojo.	59
5.6. Lenguado.	59
5.7. Trucha.	60
5.8. Anguila.	61
5.9. Esturión.	61
5.10. Tenca.	62
5.11. Tilapia.	62
5.12. Otras especies piscícolas de posible interés para la acuicultura española.	63

6. EL SECTOR EMPRESARIAL EN LA ACUICULTURA ESPAÑOLA	66
6.1. Estructura organizativa del sector de la acuicultura en España.	68
6.2. Condicionantes de la acuicultura española.	69
7. LEGISLACIÓN RELACIONADA CON LA ACUICULTURA	72
8. EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS ESPAÑOLAS	75
9. EJEMPLOS DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ESPAÑOLES EN GENÓMICA DE ESPECIES PISCÍCOLAS	76
10. CONCLUSIONES	83
11. ANEXOS	85
• Anexo I: Proyectos de investigación en España sobre biotecnología aplicada al cultivo de especies piscícolas.	85
• Anexo II: Patentes publicadas o solicitadas en España sobre biotecnología aplicada al cultivo de especies piscícolas.	95
• Anexo III: Clasificación de empresas de acuicultura en España por especie cultivada.	96
12. REFERENCIAS	100
GLOSARIO	104

Resumen ejecutivo

La importancia de la acuicultura crece cada año debido a la disminución de las reservas de pesca mundiales y al incremento de la demanda de los productos del mar. España posee una amplia extensión litoral y fluvial que le han permitido, en las dos últimas décadas, lograr un puesto competitivo en la acuicultura mundial, si bien ciertas amenazas se divisan sobre el horizonte. Las especies piscícolas con mayor producción en España son la trucha arcoiris, la dorada, la lubina, y el rodaballo.

No cabe duda que las técnicas genómicas y proteómicas suponen uno de los determinantes para el desarrollo de esta industria. Algunas de las aplicaciones más claras son: el diseño de vacunas más efectivas que disminuyan la mortalidad de los peces por enfermedades infecciosas y eviten la administración de medicamentos costosos y poco efectivos; la caracterización de marcadores genéticos asociados a características de interés comercial, que permita la selección de reproductores que tuvieran en su ADN las características deseadas; las técnicas de transgénesis que han demostrado sus aplicaciones en el diseño de peces resistentes a enfermedades y a condiciones ambientales adversas, o cuyo crecimiento y maduración han sido modificados con el fin de conseguir ejemplares mayores en menor tiempo; y por último la identificación de especies y la detección temprana de patologías.

El rodaballo es actualmente la especie con mayor producción acuícola en España, mientras que la producción de lubina y la dorada han sufrido un duro revés debido a la competitividad procedente de otros países europeos.

La especie de mayor interés para la acuicultura española es el lenguado, que posee grandes expectativas de mercado si se consigue solventar algunos de los problemas que en estos momentos dificultan su cultivo.

Como parte de la elaboración del presente informe, se ha realizado un análisis de la producción científica y tecnológica española en el campo de la biotecnología aplicada a especies piscícolas. El resultado de dicho análisis pone de manifiesto que el importante esfuerzo público realizado (en términos de financiación) en los últimos años no ha producido retornos apreciables a la industria ni ha mejorado nuestra posición científica. Algunas de las causas de esta situación se encuentran en la falta de coordinación entre los grupos de investigación, la realización de proyectos en especies o con objetivos que carecen de interés para nuestra industria y la escasa financiación privada para acometer investigación en genómica de peces.

A la vista de las importantes inversiones que están realizando países competidores como Chile o Noruega, no es atrevido vaticinar que España podría seguir perdiendo capacidad competitiva en este sector. La única forma de lograr competir con éxito radica en incrementar el valor de nuestra producción final, objetivo que puede lograrse por, entre otras, la aplicación de nuevas tecnologías como la genómica. Bajo esta creencia, Genoma España junto con grupos científicos, empresas privadas españolas, administraciones y socios internacionales, como Genoma Canadá, ha puesto en marcha uno de los proyectos más estratégicos, y más ambiciosos, nunca establecido en nuestro país, sobre genómica de peces.

1. Introducción y objetivos del informe

La Genómica y la Proteómica son dos de las tecnologías que más interés están despertando en los últimos años. Sin embargo, todavía existe cierta confusión respecto a los ámbitos de acción de ambas tecnologías. Mientras que la Genómica trata el estudio del genoma en su conjunto, la Proteómica se basa específicamente en el análisis de las proteínas codificadas por el genoma.

El objetivo de este informe es revisar las tecnologías biológicas en general, y la genómica y proteómica en particular que permiten una mejora en el cultivo de especies piscícolas marinas o de agua dulce. Por este motivo, y aunque en el texto se haga referencia a esta práctica como acuicultura en general, nos centraremos tan solo en el cultivo de peces o piscicultura.

2. Introducción a la acuicultura

2.1. Definición de acuicultura

El término acuicultura engloba todas las actividades que tienen por objeto la producción, desarrollo y comercialización de organismos acuáticos, animales o vegetales, de aguas dulces o saladas¹. Esto implica el control de las diferentes etapas de su desarrollo, proporcionando a los organismos los medios adecuados para su reproducción, crecimiento, desarrollo y engorde.

Existe una gran variedad de términos que se aplican indistintamente para referirse al desarrollo de prácticas de acuicultura. Sin embargo, existe una división de dichas actividades que se corresponden con la fragmentación del mercado de los productos cultivados. De esta forma, podemos hablar de Maricultura o Maricultura para referirnos cultivos en agua marina, mientras que la Acuicultura continental se trata de una acuicultura de agua dulce.

DEFINICIÓN DE ACUICULTURA SEGÚN LA FAO²

“La acuicultura es la cría y cultivo de los organismos acuáticos, ya sean peces, moluscos, crustáceos o plantas acuáticas. El cultivo implica algún tipo de intervención en el proceso para incrementar la producción, por ejemplo el almacenamiento regular, la alimentación, la protección contra los depredadores, etc. El cultivo implica también la propiedad individual o colectiva del stock explotado. Con fines estadísticos, los organismos acuáticos que son recolectados por un individuo o un colectivo que los ha tenido durante el periodo de cultivo contribuyen a la acuicultura, mientras que los organismos acuáticos que son explotables por todos como recurso de propiedad pública, con o sin licencia apropiada, constituyen la cosecha de las pesquerías.”
(FAO, 1997).

¹ Barnabe, G. (1990). Aquaculture. Ellis Horwood Books in Aquaculture and Fisheries Support. Ellis Horwood Ltd.

² FAO (1999). Desarrollo de la Acuicultura. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable 5.

2.2. El estado mundial de la acuicultura

Durante el año 2000, la producción total en acuicultura, incluyendo plantas acuáticas, fue de 46 millones de toneladas en peso y de un valor de 56.500 millones dólares. Cabe destacar que China fue responsable del 71% de la producción, y del 50% del valor total. Excluyendo a las plantas acuáticas, China como principal país productor en acuicultura obtuvo un volumen de producción de 24,6 millones de toneladas durante el año 2000, mientras que en el resto del mundo esta cifra se reduce a 11 millones de toneladas.

Según datos proporcionados por la FAO, en el año 2000 más de la mitad de la producción acuícola mundial procedía de aguas marinas y salobres. No obstante, se ha registrado un mayor crecimiento en los últimos 30 años en la producción acuícola de agua dulce³.

PRODUCCIÓN ACUÍCOLA MUNDIAL

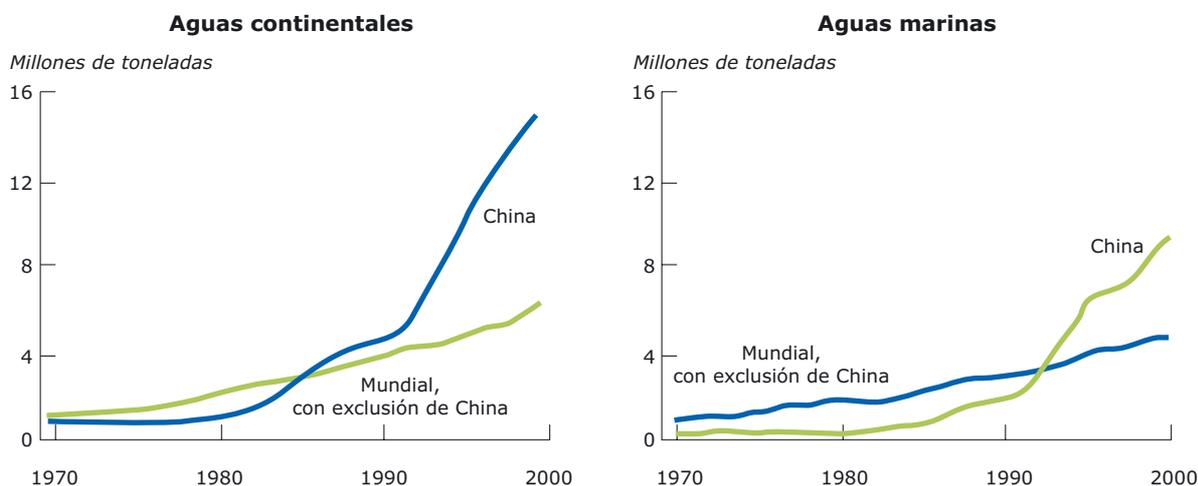


Fig. 1. Producción acuícola mundial en aguas marinas y continentales. Fuente: El estado mundial de la pesca y la acuicultura. 2002. FAO (<http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s00.htm>).

A diferencia de la pesca de captura, el ritmo de crecimiento de la acuicultura a nivel mundial se ha valorado en un 7,2%⁴ en los últimos 30 años, siendo China el país con mayor crecimiento de producción, en torno al 11%⁵. Según estos datos, la acuicultura crece con mayor rapidez que todos los demás sectores de producción de alimentos de origen animal. El aumento de la producción en acuicultura es en parte debido a la gran diversidad de especies acuáticas que pueden adaptarse fácilmente a diversas condiciones de producción en distintas regiones del mundo.

Además, si tenemos en cuenta que la población mundial experimenta una expansión continua, que según Naciones Unidas alcanzará los 8 mil millones en el año 2025, y que las reservas de pesca se aproximan a su vez a su límite biológico, umbral que se estima se alcanzará en el año 2040⁶, la acuicultura representa una más que interesante oportunidad de negocio.

³ El estado mundial de la pesca y la acuicultura (2002). FAO. (<http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s00.htm>).

⁴ González Laxe, F. (2001). Avances en el desarrollo de la acuicultura marina. Instituto de Estudios Económicos Fundación Pedro Barrié de la Maza.

⁵ El estado mundial de la pesca y la acuicultura (2002). FAO. (<http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s00.htm>).

⁶ Igor I. Solar. Biotecnología Aplicada a la Acuicultura. Aqunoticias, 6-10. Dic. 2001-Ene. 2002.

La consideración de series estadísticas desde el año 1996 sobre producción y consumo de pescado a nivel mundial, arroja un importante aumento tanto de las producciones acuícolas como del consumo de pescado por persona y día, así como estancamiento de las capturas marinas.

PRODUCCIÓN PESQUERA MUNDIAL Y SU UTILIZACIÓN

	1996	1997	1998	1999	2000	2001*
	(millones de toneladas)					
PRODUCCIÓN						
CONTINENTAL						
Captura	7,4	7,5	8,0	8,5	8,8	8,8
Acuicultura	15,9	17,5	18,5	20,1	21,4	22,4
Continental total	23,3	25,0	26,5	28,6	30,2	31,2
MARINA						
Captura	86,1	86,4	79,3	84,7	86,0	82,5
Acuicultura	10,8	11,1	12,0	13,3	14,2	15,1
Marina total	96,9	97,5	91,3	98,0	100,2	97,6
Captura total	93,5	93,9	87,3	93,2	94,8	91,3
Acuicultura total	26,7	28,6	30,5	33,4	35,6	37,5
Total de la pesca mundial	120,2	122,5	117,8	126,6	130,4	128,8
UTILIZACIÓN						
Consumo humano	88,0	90,8	92,7	94,4	96,7	99,4
Usos no alimentarios	32,2	31,7	25,1	32,2	33,7	29,4
Población (miles de millones)	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,1
Suministro de pescado como alimento por persona (kg)	15,3	15,6	15,7	15,8	16,0	16,2
Con exclusión de las plantas acuáticas.						
* Estimación preliminar.						

Tabla 1. Producción pesquera mundial y su utilización (Fuente: El estado mundial de la pesca y la acuicultura. 2002. FAO) (<http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s00.htm>).

Los datos relativos a la producción de Acuicultura procedentes de los Estados miembros de la Unión Europea durante el año 2000 indican una aportación de tan solo el 1,1% en acuicultura continental, y un 7,24% en acuicultura marina. Otro dato relevante es la disminución en la producción de acuicultura continental y pesca en comparación con los datos referentes al año 1996.

PRODUCCIÓN PESQUERA DE LA UNIÓN EUROPEA, BALANCE DE ALIMENTOS Y COMERCIO

	1988	1992	1996	2000
Producción de la acuicultura				
Continental (miles de Tm)	195	226	250	240
Porcentaje del total mundial	2,7	2,4	1,6	1,1
Marina (miles de Tm)	714	686	889	1 049
Porcentaje del total mundial	15,7	11,2	8,2	7,4
Producción de la pesca				
Continental (miles de Tm)	97	96	104	86
Porcentaje del total mundial	1,6	1,5	1,4	1,0
Marina (miles de Tm)	7.037	6.570	6.507	5.861
Porcentaje del total mundial	8,5	8,3	7,6	6,8
Producción de la pesca y la acuicultura				
Suma total (miles de Tm)	8.043	7.578	7.750	7.236
Porcentaje del total mundial	8,0	7,5	6,4	5,5
Balance de alimentos				
Suministro alimentario total (millones de Tm)	7.795	8.358	8.805	—
Suministro per cápita (kg)	21,5	22,7	23,5	—
Proporción del pescado en las proteínas animales (%)	9,3	9,9	10,3	—
Comercio de productos pesqueros				
Importaciones totales (millones \$)	12.261	17.270	19.352	19.609
Porcentaje del total mundial	38,7	43,0	36,7	35,5
Exportaciones totales (millones \$)	6.400	8.580	11.000	11.398
Porcentaje del total mundial	20,2	21,4	20,9	20,6

Tabla 2. Producción pesquera de la Unión europea, balance de alimentos y comercio (Fuente: El estado mundial de la pesca y la acuicultura. 2002. FAO) (<http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s00.htm>).

3. Especies piscícolas cultivadas en España

España es uno de los países con mayor consumo de pescado en el mundo, según datos pertenecientes al año 1995 España importaba una media de un millón de toneladas de pescado por año. La producción acuícola nacional se encuentra en el orden de 0,25-0,3 millones de toneladas anuales⁷. El mejillón, la trucha arcoiris, la dorada, la lubina y el rodaballo, son las especies de mayor producción en España.

Las características geográficas de España, con gran extensión de litoral aunque con un limitado número de bahías, e importantes núcleos urbanos y turísticos en la costa, obligan a realizar la mayor parte de las actividades de acuicultura en mar abierto⁸.

PRINCIPALES ASPECTOS QUE FAVORECEN LAS EXPECTATIVAS DE CRECIMIENTO DE LA ACUICULTURA MARINA PISCÍCOLA EN ESPAÑA

- Disminución de capturas.
- Dimensión del mercado español.
- Cambio de hábitos alimenticios.
- Tendencia a mayor elaboración de los productos.
- La costa y su climatología.
- Mejora en la eficacia del sistema de transportes.
- Apoyo IFOP⁹.
- Número suficiente de empresas con tamaño y tecnología adecuada, la calidad de sus productos y su conocimiento sobre los mercados locales.

(Fuente: Acuicultura [1999] Documentos COTEC sobre necesidades tecnológicas).

⁷ Coll Morales, J. (2002). Development of Aquaculture in Spain. Aquaculture Europe 33, 3-8.

⁸ 11 Acuicultura (1999). Documentos COTEC sobre necesidades tecnológicas.

⁹ IFOP: Instrumento Financiero de Orientación de la Pesca <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l60017.htm>

3.1. Producción de las especies piscícolas cultivadas en España

Las especies con producción de al menos 10.000 toneladas por año son el mejillón, la trucha arcoiris, la dorada, el rodaballo y la lubina. Esta producción significa más del 18% de la pesca española, el 25% de la acuicultura de Europa y el 3% de la acuicultura del mundo. España continúa siendo el mayor productor de mejillón con un porcentaje del 32,7% del total mundial, y uno de

los principales en el cultivo de la trucha, con un 7,1% del total.

La siguiente tabla contiene una relación de las especies piscícolas que han sido cultivadas en territorio español, y su estado comercial y de desarrollo. Estos datos provienen de Fishbase¹⁰, base de datos desarrollada por el WorldFish Center en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)¹¹, con el apoyo de la Comisión Europea.

PECES CULTIVADOS EN ESPAÑA

Nombre científico	Nombre local	Uso	Origen
Acipenser naccarii	Esturión del Adriático	experimental	cuestionable
Anguilla anguilla	Anguila	comercial	nativo
Dentex dentex	Dentón	comercial	nativo
Dicentrarchus labrax	Lubina	comercial	nativo
Lampetra planeri	Lamprea de arroyo	experimental	cuestionable
Oncorhynchus mykiss	Trucha arcoiris	comercial	introducido
Oreochromis ssp.	Tilapia roja	comercial	introducido
Salmo salar	Salmón del Atlántico	comercial	nativo
Scophthalmus maximus	Rodaballo	comercial	nativo
Seriola dumerili	Seriola	experimental	nativo
Solea solea / Senegalensis	Lenguado	comercial	nativo
Sparus auratus	Dorada	comercial	nativo
Thunnus thynnus	Atún	comercial	nativo
Tinca tinca	Tenca	comercial	nativo

PECES POTENCIALMENTE CULTIVABLES EN ESPAÑA

Acipenser baerii	Esturión siberiano	introducido
Acipenser sturio	Esturión común	nativo
Alburnus alburnus	Albur	introducido
Ameiurus melas	Pez gato	introducido
Ameiurus nebulosus	Pez gato	introducido

¹⁰ FishBase (<http://www.fishbase.org>).

¹¹ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación <http://www.fao.org>

PECES POTENCIALMENTE CULTIVABLES EN ESPAÑA (Continuación)

Carassius auratus	Pez rojo	introducido
Carassius carassius	Carpin	nativo
Coryphaena hippurus	Dorado	nativo
Cyprinus carpio	Carpa	introducido
Diplodus sargus	Sargo	nativo
Esox lucius	Lucio	introducido
Hucho hucho	Salmón del Danubio	introducido
Ictalurus punctatus	Pez gato	introducido
Liza aurata	Galupe	nativo
Liza ramada	Capitón	nativo
Liza saliens	Galúa blanca	nativo
Megalops atlanticus	Pez lagarto	nativo
Micropterus salmoides	Black-bass	introducido
Mugil cephalus	Albur	nativo
Pagrus pagrus	Pargo	nativo
Perca fluviatilis	Perca europea	introducido
Pleuronectes platessa	Solla	nativo
Pomatomus saltatrix	Anchoa de banco	nativo
Pseudocaranx dentex	Jurel dorado	nativo
Rutilus rutilus	Rutilo	introducido
Salmo trutta	Trucha común	nativo
Salvelinus alpinus	Salvelino	nativo
Salvelinus fontinalis	Salvelino	introducido
Sander lucioperca	Lucioperca	introducido
Scardinius erythrophthalmus	Escardino	introducido
Scomber japonicus	Caballa	nativo
Silurus glanis	Siluro	introducido
Solea impar	Lenguado	nativo
Trachinotus ovatus	Palometa blanca	nativo

Tabla 3. Peces cultivados en España y potencialmente cultivables en España (Fuente: Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2003; FishBase. World Wide Web electronic publication. <http://www.fishbase.org> version 10 Septiembre-June 2003).

Según datos procedentes de la Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR)¹², la producción en acuicultura española en el 2001 fue superior a las 313.000 toneladas, de las que casi 257.000 corresponden a producción de moluscos, 56.000 toneladas a peces y el resto a crustáceos. En el siguiente gráfico se puede observar la predominancia del cultivo de la trucha arcoiris en España, con un 11% de la producción total acuícola, seguida de lejos por la dorada, con un 3%, y en menos medida por túnidos, rodaballo y lubina.

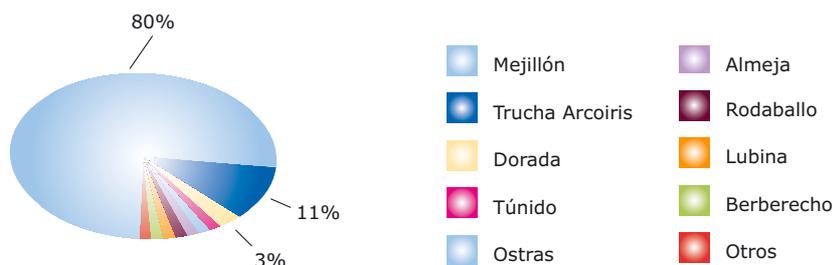


Fig. 2. Producción en España en el 2001 por especie (Tm). Fuente: JACUMAR, <http://www.mapya.es/jacumar>

El desarrollo de la acuicultura en España ha sido sobrepasado en los últimos años por varios países que han sufrido un rápido progreso. Este es el caso de Noruega y Chile, mientras que otros países con menor producción total son importantes competidores en el cultivo de determinadas especies, como por ejemplo Grecia.

situada en un puesto inferior a poca distancia de España. En este año España se situó en el puesto 11 del ranking mundial de productores. Pese a que la producción total española en acuicultura ha aumentado en los últimos años, se observa una pérdida de competitividad con respecto al año 1997.

En 1997 España alcanzó el 1% de la producción mundial en volumen y el 20% de la producción de la Unión Europea. Al año siguiente, la acuicultura española ocupaba el primer puesto en producción dentro del Unión Europea¹³. En 1999 Noruega se colocaba por delante, mientras que Francia estaba

La capacidad máxima de producción de especies piscícolas en España se estima en 600.000 toneladas. La mitad de las Comunidades Autónomas todavía no han explorado sus posibilidades en la acuicultura, por lo que todavía existe un amplio margen de crecimiento¹⁴.

PRODUCCIÓN ACUÍCOLA EN TONELADAS

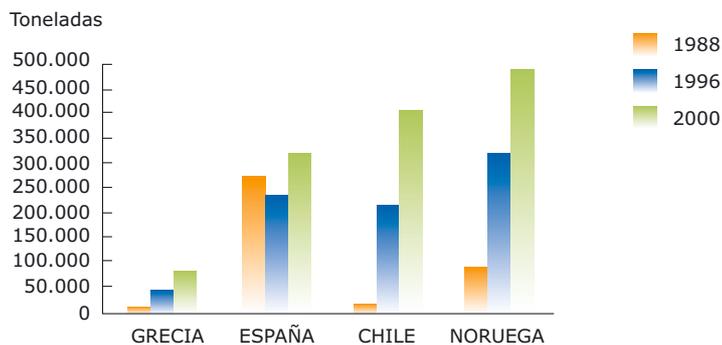


Fig. 3. Producción en acuicultura de Grecia, España, Chile y Noruega. Fuente: JACUMAR, <http://www.mapya.es/jacumar>

¹² Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos, JACUMAR (<http://www.mapya.es/jacumar>).

¹³ Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos, JACUMAR (<http://www.mapya.es/jacumar>), según datos de la FAO.

¹⁴ Arnal, J. I. (1980). Posibilidades de la Acuicultura en el litoral español. Beca Rumasa de Investigación. Análisis Económicos S.A. 1:1-337.

3.2. Distribución geográfica de las actividades de acuicultura en España

Según las características de cada zona geográfica, se ha apostado por el cultivo de especies que se adapten mejor a las condiciones de determinadas zonas. Del mismo modo, el desarrollo de los sistemas de cultivo ha sido diferente en función de las necesidades de cultivo de dichas especies y las características biogeográficas de la zona.

Cataluña y Andalucía lideran la producción de acuicultura de especies piscícolas en la región mediterránea y sur-atlántica, principalmente mediante el cultivo de lubina y dorada. En la zona cantábrica y del norte del atlántico, en especial Galicia, predomina el cultivo del rodaballo como principal especie acuícola. En la última década, la acuicultura marina española ha sufrido un crecimiento significativo.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA ACUICULTURA MARINA EN ESPAÑA

Región o zona	Especies	Comentarios
Cantábrico y Galicia	Moluscos (mejillón, ostra, almeja, berberecho).	Bateas, parques de cultivo.
	Rodaballo.	Instalaciones en tierra.
	Salmón.	En regresión (no compite con industrias más maduras del norte europeo).
	Pulpo, besugo.	Cultivos experimentales.
Área mediterráneo y Sur-atlántica	Lubina y dorada.	Jaulas flotantes o estanques de cultivo (antiguas explotaciones salineras de la región sur-atlántica).
	Ostras, almejas, mejillón (langostino en menor medida).	Mar abierto.
	Atún rojo, pulpo, dentón y lenguado.	En un futuro.
Canaria y Balear	Lubina y dorada.	Jaulas flotantes.
Valencia y zona sur	Anguila.	Producción limitada, satisface la demanda nacional.
Sin zona específica	Atún.	Engorde de animales capturados vivos.
	Langostino.	Producción limitada, sin gran éxito empresarial.
	Besugo, dentón, pulpo.	Nuevas tecnologías.
	Almeja y moluscos pectínidos.	Interés por su producción.

Tabla 4. Distribución geográfica de la acuicultura marina española (Fuente: JACUMAR; <http://www.mapya.es/jacumar>; Libro Blanco de Acuicultura en España. MAPYA, 2001).

Por lo que respecta al cultivo de especies continentales, la primera especie es la trucha arcoiris, cultivada en tanques de cultivo, cuya cría se centra principalmente en Galicia, y en un segundo nivel, en Castilla-La Mancha, Castilla y León, Navarra, Asturias, Cataluña, Andalucía y La Rioja.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA ACUICULTURA CONTINENTAL EN ESPAÑA

Región o zona	Especies	Comentarios
Tramos altos de ríos con caudales elevados, constantes, y con pequeñas fluctuaciones de temperatura, y cierta alcalinidad. Fuentes de agua oxigenadas y aprovechadas mediante recirculación.	Trucha arcoiris	Tanques de cultivo.
Lagos y embalses de Extremadura, y Castilla y León en menor medida.	Tenca	Consumo local.
Baleares.	Carpa	Pequeña producción.
Cuenca del Guadalquivir.	Esturión	Intento de cultivo.
Casi todos los ríos de la península.	Cangrejo rojo	Intento de freno mediante la introducción del cangrejo señal.

Tabla 5. Distribución geográfica de la acuicultura continental española (Fuente: JACUMAR; <http://www.mapya.es/jacumar>; Libro Blanco de Acuicultura en España. MAPyA, 2001).

3.3. Actividades de I+D en acuicultura en España

España ha invertido desde sus primeros planes en acuicultura en 1982 alrededor de 70 millones de euros en el desarrollo de tecnología propia con aplicaciones en acuicultura. Más de 20 especies

distintas se encuentran actualmente en distintas fases de desarrollo¹⁵.

Desde 1982, fecha en la cual se puso en marcha el primer programa de I+D en acuicultura en España, se han desarrollado diversos programas hasta la actualidad.

PROGRAMAS NACIONALES ESPAÑOLES EN ACUICULTURA

Período	Programa
1982-1988	1.º Programa de I+D en acuicultura.
1988	Plan de Cultivos Marinos.
1988-1991	Programa Nacional de Recursos Marinos y Acuicultura.
1992-1999	Programa Nacional de Ciencias Agrarias (Subprograma de Ganaderías y Acuicultura).
1996-1999	Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Marinas.
1988-1999	Programas en transferencia de resultados de investigación y dotación de infraestructuras.

Tabla 6. Programas Nacionales españoles en acuicultura (Fuente: Coll Morales, J. (2002). Development of Aquaculture in Spain. Aquaculture Europe 33, 3-8, tomado de: Libro Blanco de Acuicultura en España. MAPyA, 2001).

¹⁵ Coll Morales, J. (2002). I Reunión de la Red Nacional sobre Biología Molecular de Peces. INIA Investigación y Desarrollo n2, 12-15, tomado de: Libro Blanco de Acuicultura en España. MAPyA, 2001.

Los proyectos de investigación que se desarrollaron durante estos periodos tuvieron lugar principalmente en varios centros pertenecientes al CSIC, el Instituto Español Oceanográfico (IEO), el Instituto de Investigaciones Agrarias y Alimentarias (INIA), y distintas universidades y empresas¹⁶.

En el año 2001 tuvo lugar la primera reunión de la Red Nacional sobre Biología Molecular de Peces entre un grupo de laboratorios españoles participantes en la red¹⁷. En esta reunión se elaboró un listado de aquellas herramientas o tecnologías clave en el desarrollo de la I+D en la acuicultura española:

- Estudio y caracterización de la regulación de la transcripción en las especies seleccionadas (identificación de factores de transcripción, promotores, amplificadores).
- Obtención de librerías genómicas y cDNA de especies seleccionadas mediante diversas tecnologías de genómica y proteómica (microarrays de ADN y proteínas, mapeo de genes, etc.).
- Desarrollo de métodos de transfección de cigotos e identificación de marcadores moleculares de los transgenes insertados.
- Mejora en la integración controlada del ADN en los genomas de especies seleccionadas.
- Desarrollo de un banco de células (líneas celulares, células madre).

En diciembre del año 2002 tuvo lugar una sesión preparatoria para la elaboración de un proyecto de tres años de duración sobre biotecnología aplicada a genómica de peces, dirigida por Genoma España¹⁸ en colaboración con Genome Canadá¹⁹, su homóloga canadiense. Los representantes del sector empresarial expusieron sus necesidades en el sector de la acuicultura, mientras que los investigadores explicaron qué posibles soluciones podían ofrecer desde su experiencia investigadora. Como consecuencia de esta reunión se llegó a una serie de preacuerdos con distintas empresas y grupos de investigación, quienes consideraron prioritaria la investigación en peces planos, es decir, rodaballo y lenguado. Los proyectos presentados se centran en la identificación de ETS o Expressed Sequence Tags, con aplicaciones en embriología, inmunología y crecimiento. Asimismo, dejaron constancia de la importancia del estudio de peces modelo, como son el pez cebra y el pez fugo. Es interesante señalar la falta de interés por parte de las empresas en especies antes consideradas en auge, en concreto la dorada y la lubina, ya que la baja supervivencia de alevines y la competencia procedente de otros países mediterráneos ha obligado a buscar otras opciones más rentables.

En el ANEXO I del presente informe se recogen los centros de investigación españoles que actualmente tienen en marcha proyectos de investigación financiados con fondos públicos, relacionados con las técnicas de genómica y proteómica aplicadas a la acuicultura de especies piscícolas.

¹⁶ Coll Morales, J. Desarrollo futuro de la acuicultura en España. Noticia: El Correo Agrario 09/06/01.

¹⁷ Coll Morales, J. (2002). I Reunión de la Red Nacional sobre Biología Molecular de Peces. INIA Investigación y Desarrollo n2, 12-15, tomado de: Libro Blanco de Acuicultura en España. MAPyA, 2001).

¹⁸ Genoma España <http://www.gen-es.org>

¹⁹ Genome Canadá <http://www.genomecanada.ca>

4. Aplicaciones de la biotecnología en la acuicultura de especies piscícolas

Una especie modelo para ser cultivada sería aquella que obtenga un alto precio en un mercado establecido, elevada tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades, requerimientos biológicos o ambientales no demasiado estrictos, y que sus primeros estadios de vida sean fáciles de obtener, tanto a partir de animales capturados en el medio natural como a través de la cría en cautividad.

El presente informe pretende realizar un análisis únicamente de las técnicas que la genómica y proteómica proporcionan como herramientas para el desarrollo de la acuicultura. Por este motivo, el resto de técnicas de mejora genética, como son la manipulación cromosómica y los sucesivos cruzamientos entre miembros de la misma o diferente especie, tan solo serán tratadas en la introducción como técnicas complementarias.

4.1. Secuenciación

El genotipado sistemático y la secuenciación del genoma proporcionan el acceso a todos los genes de una determinada especie, lo que permite la selección de especies piscícolas en función de sus características genéticas (selección en base al genotipo), y no sólo en función de su aspecto o circunstancias particulares (selección en base al fenotipo) tal y como se venía realizando hasta la fecha.

La selección en base al genotipo tiene entre sus principales ventajas la rapidez y la eficacia, permitiendo la obtención del producto en un tiempo considerablemente menor (ej. progenie de peces). Hasta la fecha, la selección en base al genotipo es marginal puesto que se trata de una técnica nueva y además requiere del desarrollo previo de nuevos conocimientos. No obstante, la gran mayoría de países competidores con España en el sector de la acuicultura ya han introducido la selección en base al genotipo en sus programas de mejora y/o de introducción de nuevas especies.

Las estrategias seguidas por el principal consorcio de Secuenciación del Genoma de Pez cebra son la **Secuenciación de librerías genómicas aleatorias y la secuenciación clon por clon.**

SECUENCIACIÓN DE LIBRERÍAS GENÓMICAS ALEATORIAS

- El genoma completo es multiplicado y fragmentado muchas veces al azar en millones de pedazos del ADN no mayores a 500 bases cada uno.
- La secuencia de bases que forma cada fragmento es determinada mediante un proceso conocido como secuenciación.
- Mediante un programa informático se comparan las secuencias de millones de fragmentos, identificando los segmentos superpuestos.
- Los segmentos superpuestos forman segmentos de mayor tamaño que son ensamblados para dar lugar a la secuencia del genoma completo.

SECUENCIACIÓN CLON POR CLON

- Determinación de las secuencias del ADN de los genes expresados (ESTs²⁰). Estos marcadores son utilizados para dividir cada cromosoma en pequeñas regiones (mapeado).
- Cada segmento localizado entre dos marcadores es multiplicado y fragmentado al azar.
- La secuencia es determinada mediante regiones superpuestas, como ocurría en el método anterior.

²⁰ EST: Expressed Sequence Tag o identificador de una secuencia expresada (consultar el siguiente cuadro para obtener más información).

Realmente ninguna de estas estrategias por separado puede dar paso a una secuencia consenso convincente del genoma del pez de interés, por lo que en últimos años los proyectos de secuenciación de organismos superiores han empleado las dos estrategias para llegar a la completa secuenciación de los genomas. Los proyectos de secuenciación necesitan el apoyo de iniciativas que permitan el acceso público a los resultados, tales como las secuencias de genes que se recopilan en GenBank²¹, o en bases de datos ESTs.

EST (Expressed Sequence Tag)

Los genes presentes en el ADN son expresados en ARN mensajero (ARNm) a través del proceso de transcripción. El ARNm es luego traducido en proteínas a través del proceso de traducción. La construcción de ESTs se realiza mediante la copia de ARNm en fragmentos de ADN complementario (cADN) por la enzima transcriptasa inversa. Los ESTs son por tanto una representación de los genes que se están transcribiendo en un tejido en un momento determinado y en una especie concreta.

Aplicaciones de las bases de datos de ESTs:

- Identificación de genes que se transcriben en un determinado momento.
- Detección de genes que se transcriben en un tejido.
- Identificación de posibles genes.
- Caracterización de los límites de un gen e intrones.
- Secuenciación de genes en especies donde no se dispone del genoma completo secuenciado.

²¹ GenBank <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/index.html>

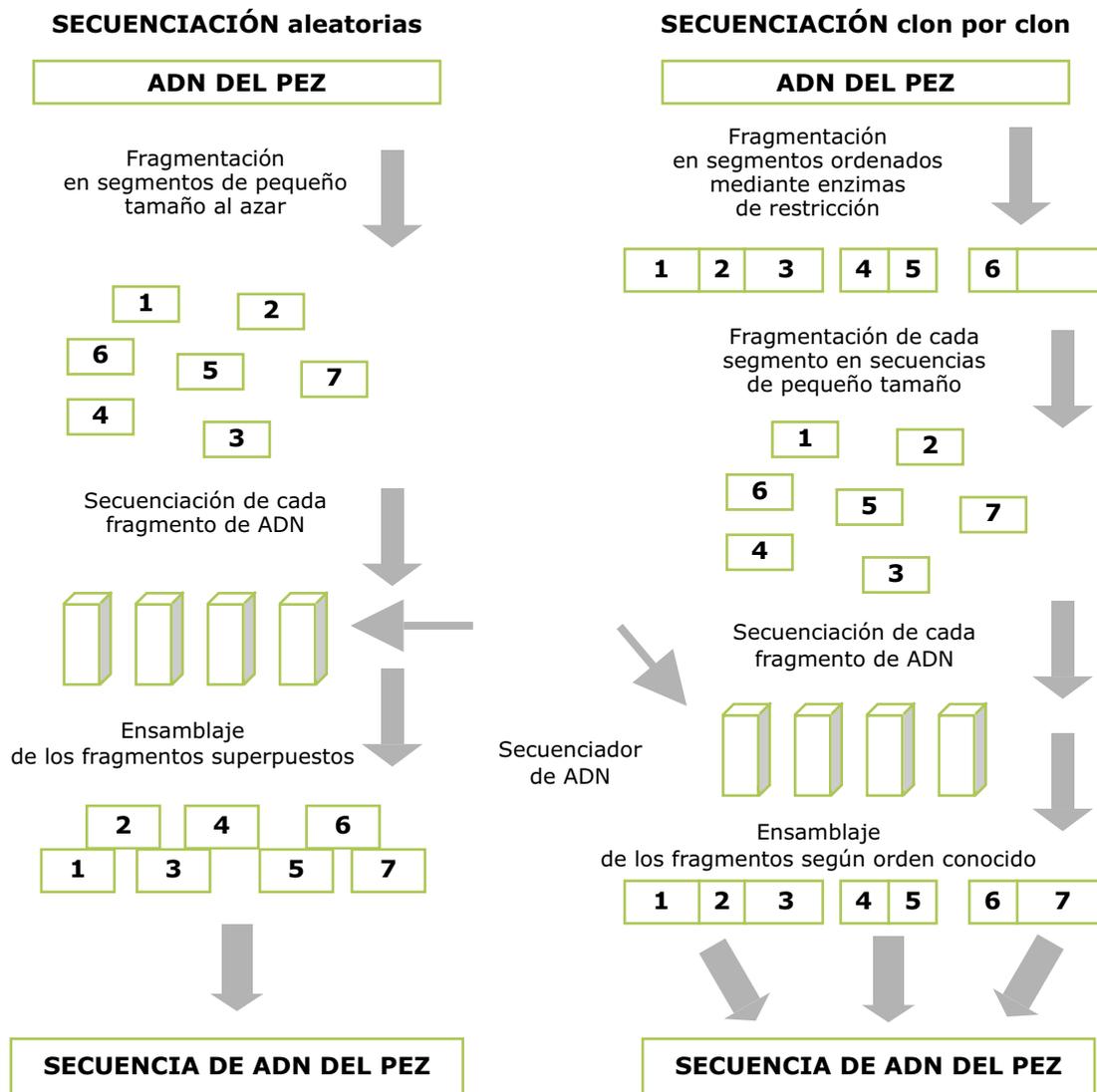


Fig. 4. Métodos de secuenciación del genoma (Fuente: adaptado de, Genoma Humano: el Negocio de la Vida. Instituto Panamericano de Alta Dirección de Empresa. Tecnologías que rompen esquemas. ¿Qué está pasando? Política de empresa, Continuidad 2000-2001).

Las especies cultivadas en acuicultura pertenecen en su mayoría a especies próximas entre sí, como es el caso de la dorada, lubina y besugo. Este es el motivo por el cual se elige generalmente una especie para realizar un análisis de su genoma, y posteriormente trasladar la información al resto de especies relacionadas. El estudio de sus genes es sin embargo necesario a nivel de especie, ya que los genes de interés no suelen encontrarse en las zonas conservadas de estas especies.

Actualmente se dispone del genoma completo secuenciado del pez fugo (*Fugu rubripes*), y existen numerosas iniciativas de secuenciación de diferentes especies piscícolas en distintos países²². Tanto al pez fugo como al pez cebra (*Danio rerio*) se les considera "peces modelo", puesto que los resultados obtenidos

en la secuenciación de su genoma podrían explicar muchos procesos biológicos característicos de las especies piscícolas, tales como la reproducción, el crecimiento o la supervivencia a enfermedades o condiciones climáticas entre otros. Además, estos resultados son altamente extrapolables a otras especies de interés comercial, sirviendo así a mejorar la producción y/o la productividad de las granjas piscícolas.

A partir de estas secuencias completas se pretende la caracterización de secuencias génicas, la identificación de marcadores genéticos de interés en acuicultura y la búsqueda de nuevas dianas terapéuticas para el desarrollo de nuevos fármacos veterinarios.

²² The Zebrafish Information Network , ZFIN (<http://zfin.org>). Fugu Genome Project <http://www.fugu-sg.org>

PROYECTOS DE SECUENCIACIÓN DEL GENOMA DE ESPECIES PISCÍCOLAS

Organismo	Institución	Financiación	Base de datos	Estatus
Danio rerio (pez cebra)	Washington Univ Sanger Institute	NHI ²³	NCBI ²⁴ Washington University ²⁵ University of Oregon ²⁶ Fishman-MGH ²⁷ Carnegie Institute of Washington Stanford University ²⁸ Sanger Institute ²⁹	Incompleta
Oreochromis niloticus (tilapia)	Univ. of New Hampshire		Roslin Institute ³⁰	Incompleta
Salmo salar (Salmón Atlántico)	Genome British Columbia	Genome BC Genome Canada Roslin Institute	Genome BC/Genome Canada ³¹ Roslin Institute ³²	Incompleta
Takifugu rubripes (pez fugo)	International Collaboration ³³	MRC ³⁴ DOE ³⁵	HGMP-RC ³⁶ Joint Genome Institute ³⁷ Sanger Institute ³⁸ Institute of Molecular and Cell Biology ³⁹	Completa
Tetraodon nigroviridis (Pez globo verde)	Genoscope Whitehead Institute	NHGRI ⁴⁰	Genoscope ⁴¹ Whitehead Institute ⁴²	Incompleta
Oryzias latipes (medaka)	Medaka Genome Initiative	Japanese government	Medaka fish ⁴³ Medaka Genome Initiative ⁴⁴	Incompleta

Tabla 7. Proyectos de secuenciación del genoma de especies piscícolas. Fuente: elaboración propia, tomado de: GOLD™ Genomes OnLine Database, <http://wit.integratedgenomics.com/GOLD>

²³ National Institutes of Health, US Department of Health and Human Services (<http://www.nih.gov>).

²⁴ National Center for Biotechnology Information, USA (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>).

Zebrafish Genome resources (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/guide/zebrafish/index.html>).

²⁵ WashU-Zebrafish Genome Resources Project (<http://zfish.wustl.edu>).

²⁶ ZFIN: Zebrafish information network (<http://zfin.org>).

²⁷ MGH / CVRC Zebrafish Server (<http://zebrafish.mgh.harvard.edu>).

²⁸ Stanford Genome Evolution Center (<http://cegs.stanford.edu/index.jsp>).

²⁹ ZFIN: Zebrafish information network (<http://zfin.org>).

Zebrafish Genome resources (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/guide/zebrafish/index.html>).

³⁰ Tilapia mapping database (<http://www.thearkdb.org/browser?species=tilapia>).

³¹ GRASP, Genomic Research on Atlantic Salmon Project, Genome BC/Genome Canada (<http://web.uvic.ca/cbr/grasp>).

³² Salmon mapping database (<http://www.thearkdb.org/browser?species=salmon>).

³³ International Fugu Genome Consortium: Institute of Molecular and Cell Biology (Singapore), Joint Genome Institute (U.S. Department of Energy), Human Genome Mapping Project (UK), Institute for Systems Biology (USA) (<http://www.fugu-sg.org/project/info.html>).

³⁴ MRC, Medical Research Council, UK (<http://www.mrc.ac.uk>).

³⁵ DOE, US Department of Energy (<http://www.doe.gov>) of California for The US Department of Energy.

³⁶ HGMP-RC, The Fugu Genomics Project, Medical Research Council, UK (<http://fugu.hgmp.mrc.ac.uk>).

³⁷ Puffer fish project, EEUU, Joint Genome Institute, DOE (<http://www.jgi.doe.gov/fugu>).

³⁸ Fugu rubripes Sequencing Project (http://www.sanger.ac.uk/Projects/F_rubripes).

³⁹ Fugu genome project, Institute of Molecular and Cell Biology, Singapur (<http://www.fugu-sg.org>).

⁴⁰ NHGRI, National Human Genome Research Institute, USA (<http://www.genome.gov>).

⁴¹ Tetraodon nigroviridis Genome Análisis, Francia (<http://www.genoscope.cns.fr/externe/tetraodon>).

⁴² Tetraodon nigroviridis genome at Whitehead, EEUU (<http://www-genome.wi.mit.edu/annotation/tetraodon>).

⁴³ Medaka fish, Japón (<http://biol1.bio.nagoya-u.ac.jp:8000>).

⁴⁴ Medaka Genome Initiative (<http://medaka.dsp.jst.go.jp/MGI>).

4.2. Genómica funcional⁴⁵

La información procedente de la secuenciación de genomas de peces, como el pez cebra, medaka y pez fugo, proporciona la identificación de genes que potencialmente posean características ventajosas o deseables comercialmente. El paso siguiente a esta identificación de secuencias génicas es lo que comúnmente se conoce por **análisis de la expresión y regulación de los genes**. Dicho análisis nos acerca al conocimiento de la función de los genes de interés y de cómo estos se activan o se inhiben.

PRINCIPALES OBJETIVOS DEL ANÁLISIS DE LA EXPRESIÓN GÉNICA EN PECES

- Identificación de marcadores genéticos.
- Diseño de vacunas más efectivas.
- Desarrollo de peces transgénicos.

Generalmente el análisis de la expresión génica se realiza mediante separación de proteínas por medio de electroforesis en geles bidimensionales, seguida de la secuenciación de las proteínas por espectrometría de masas⁴⁶. Mediante estas herramientas se elaboran mapas de proteínas y fragmentos peptídicos, los cuales se emplean para detectar la presencia y analizar la expresión de proteínas implicadas en la regulación de diversos procesos, tales como el desarrollo del pez y la resistencia a las enfermedades más comunes.

Sin embargo, existen otras técnicas como los microarrays o chips de ADN, que permiten el análisis de la expresión génica de miles de genes simultáneamente mediante la evaluación de los niveles de ARNm⁴⁷. En la actualidad, tan solo se están realizando este tipo de estudios por medio

de microarrays de ADN en pez cebra, especie para la que se conocen un gran número de ESTs⁴⁸. Debido al incremento de ESTs identificados en los últimos años (ver sección anterior), en un futuro cercano será posible realizar el análisis de la expresión génica de otras especies de interés en acuicultura. El lenguado⁴⁹, carpa, tilapia, y trucha son algunas de las especies piscícolas de las que se dispone actualmente de un mayor número de secuencias expresadas⁵⁰. Sin embargo, es necesaria la puesta en marcha de proyectos de investigación españoles que permitan identificar un gran número de ESTs en peces. Como consecuencia directa se obtendría una información muy valiosa que sería empleada en la mejora del crecimiento, engorde, y reproducción de las especies con mayor potencial en acuicultura.

⁴⁵ Genómica funcional: comprende la utilización de los conocimientos resultantes del estudio del genoma para obtener cantidades masivas de datos sobre la regulación y la expresión en sistemas celulares completos.

⁴⁶ Para más información consultar las fichas tecnológicas del I Informe de Prospectiva Tecnológica sobre el Impacto de la Biotecnología en el Sector Sanitario, realizado por Genoma España y el OPTI, y que puede obtenerse gratuitamente en la página web: <http://www.gen-es.org>

⁴⁷ López, M.; Mallorquín, P.; Vega, M. (2002). Informe de Vigilancia Tecnológica: Microarrays y biochips de ADN. CIBT-FGUAM/Genoma España.

⁴⁸ EST (Expressed Sequence Tag): secuencia parcial de un cDNA clonado. Expressed Sequence Tags database, NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/dbEST>).

⁴⁹ En Japón se está desarrollando un chip de cDNA para el lenguado japonés.

⁵⁰ Melamed, M., *et al.* (2002). The potential impact of modern biotechnology on fish aquaculture. *Aquaculture* 204, 255-269.

4.3. Vacunas

Las enfermedades infecciosas son la causa mayoritaria de las pérdidas económicas en Acuicultura. La pérdida se estima en un 10% de los peces cultivados que mueren al año, causando algunas de estas enfermedades mortalidades superiores al 90%⁵¹.

La primera vacuna comercializada contra una enfermedad propia de peces cultivados salió al mercado en 1976 en Estados Unidos⁵², por lo que el desarrollo de vacunas para peces todavía es una ciencia joven. Desde entonces, se han conseguido grandes avances que además han sido introducidos en la industria de la acuicultura con éxito. Actualmente, gran parte de las investigaciones en vacunas piscícolas se llevan a cabo por grupos de investigación de la Universidad con departamentos de I+D de empresas comerciales que quieren aumentar la eficacia de la vacunación.

Durante los últimos 20 años la vacunación ha sido uno de los métodos preventivos más efectivos en el control de enfermedades infecciosas en los peces cultivados, principalmente en el salmón.

Las ventajas principales del uso de vacunas son la reducción en la mortalidad debido a enfermedades infecciosas, y la reducción en el empleo de antibióticos⁵³ ya que disminuye la aparición de resistencias y efectos secundarios⁵⁴.

Para desarrollar una vacuna piscícola es imprescindible establecer e identificar los factores de virulencia o agente patógeno, y los mecanismos de respuesta del pez a nivel celular y humoral. Además, la inducción del sistema inmune debe ser optimizada de tal forma que los peces vacunados sean capaces de desarrollar mecanismos de protección inmune contra el agente patógeno.

LA RESPUESTA INMUNE DE LOS PECES

El **sistema inmune innato** es el primer mecanismo de defensa de los peces, el cual incluye barreras físicas como las mucosas y piel, leucocitos, y sustancias que inhiben inespecíficamente el crecimiento de microorganismos infecciosos.

El **sistema inmune adaptativo** posee dos estrategias de defensa, la respuesta humoral (reconocimiento y unión de antígenos⁵⁵ solubles con células B, quienes secretan anticuerpos contra estos antígenos) y la respuesta celular (reconocimiento de antígenos de superficie celular por células T), por la cual se eliminan las células infectadas.

⁵¹ Fernández-Alonso, M.; Estepa, A.; Coll, JM. Vacunas DNA en Acuicultura. Revista AquaTIC, nº 4, Septiembre 1998.

⁵² Vacuna contra la ERM (enteric mouth disease), causada por la bacteria *Yersinia ruckeri*.

⁵³ Vinitnantharat, S.; Gravningen, K.; Greger, E. (1999). Fish Vaccines. Advances in Veterinary Medicine. Vol. 41, 539-550.

⁵⁴ Heppell, J.; Davis, H. L. (2000). Application of DNA vaccine technology to aquaculture. Advanced Drug Delivery Reviews 43, 29-43.

⁵⁵ Antígeno: sustancia que induce la formación de anticuerpos, debido a que el sistema inmune la reconoce como una amenaza.

a) Métodos de vacunación

Factores tan importantes como la temperatura, la edad de los peces a vacunar, vía de administración, dosis, estacionalidad y el estado inmunológico del pez, pueden influir en la inducción de una determinada respuesta inmune y por tanto en el proceso de vacunación.

Los peces pueden ser inmunizados mediante tres métodos, *inyección intramuscular o intraperitoneal, inmersión y administración oral*, que ofrecen distintos niveles de protección y eficiencia para cada tipo de vacuna. Hasta el momento, tan solo la inyección y la inmersión han sido desarrollados para su uso en una escala industrial.

Existen varios tipos de vacunas orales que están siendo aplicadas en fase experimental en peces de cultivo, con varias patentes concedidas⁵⁶, pero por el momento no es una opción tan efectiva como los otros métodos de vacunación.

Dentro de la acuicultura se han realizado diferentes estudios para obtener vacunas orales eficaces frente a patógenos como *Y. ruckerii* para el que existe una vacuna oral comercial eficaz en el tratamiento de la enfermedad entérica de la boca roja en trucha arco iris, *V. anguillarum*, *V. vulnificus*, *A. salmonicida*, *A. hydrophila* entre otros⁵⁷. En España, podemos destacar el desarrollo de la vacuna oral para anguilas *Vulniva*⁵⁸, por parte del departamento de Microbiología y Ecología de la Facultad de Biología de la Universidad de Valencia.

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ADMINISTRACIÓN DE VACUNAS MÁS COMUNES EN PECES

	Inmersión	Inyección	Oral
Aplicación	Sencilla	Moderada	Muy sencilla
Nivel de estrés	Bajo	Moderado	ninguno
Laboriosidad	Moderada	Alta	Baja
Eficacia	Buena	Muy buena	Baja
Duración de la protección	3-12 meses	12-24 meses	2-4 meses
Control de la dosis	Impreciso	Preciso	Impreciso
Coste	Bajo	Alto	Bajo

Tabla. 8. Comparación de los métodos de administración de vacunas más comunes en peces (Fuente: Vinitnantharat, S., et al. (1999). *Advances in Veterinary Medicine*. Vol. 41, 539-550; Heppell, J., et al. (2000). *Adv. Drug Deliv. Rev.* 43, 29-43).

⁵⁶ Oral vaccines. WO03020040

⁵⁷ AquaVac™. Schering-Plough Animal Health/Aquaculture Vaccines Ltd. (<http://www.avl.co.uk>).

⁵⁸ Esteve-Gassent, M. D.; Barrera, R.; Fouz, B.; Amaro, C. (2003). Effectiveness of oral re-immunisation after vaccination against *Vibrio vulnificus* serovar E in farmed European eel. *Aquaculture In press*. Vaccine against vibriosis produced by *Vibrio vulnificus* biotype 2 in eels. ES2127702.

Según la mayoría de expertos consultados, parece necesario avanzar en el conocimiento del consumo y absorción de las vacunas incorporadas a los piensos secos, y desarrollar sistemas de protección que permitan la absorción efectiva de dichos antígenos.

b) Tipos de vacunas

El primer paso en el desarrollo de vacunas piscícolas consiste en la identificación de factores de virulencia del organismo infeccioso, es decir, los antígenos responsables de desencadenar la infección. Una vez realizada esta caracterización, la inducción de la respuesta inmune debe ser optimizada de modo que el animal vacunado desarrolle una respuesta inmune de larga duración contra el patógeno del que procede el factor de virulencia⁵⁹.

Existen dos tipos de vacunas piscícolas, las **vacunas tradicionales** (inactivadas o vivas), y las **nuevas vacunas** desarrolladas mediante ingeniería genética (recombinantes y de ADN).

VACUNAS TRADICIONALES

- **Vacunas inactivadas o muertas⁶⁰:** procedentes de extractos bacterianos, son las denominadas bacterinas⁶¹, que generalmente se administran mediante métodos de inyección e inmersión. Efectivas en varias enfermedades infecciosas provocadas por bacterias, con pocos efectos secundarios. Necesitan coadyuvantes en caso de ser administradas mediante inyección.
- **Vacunas vivas o atenuadas:** organismo patógeno vivo atenuado. Tienen la capacidad de distribuir el antígeno a toda la población mediante la administración de la vacuna en dosis bajas, y estimulan la respuesta celular del sistema inmune de los peces.

NUEVAS VACUNAS

- **Vacunas recombinantes⁶²:** inserción de genes codificantes de antígenos en bacterias, virus o levaduras para conseguir la expresión de la proteína antigénica que será usada como vacuna.
- **Vacunas ADN:** plásmido que contiene un gen codificante para proteínas antigénicas.

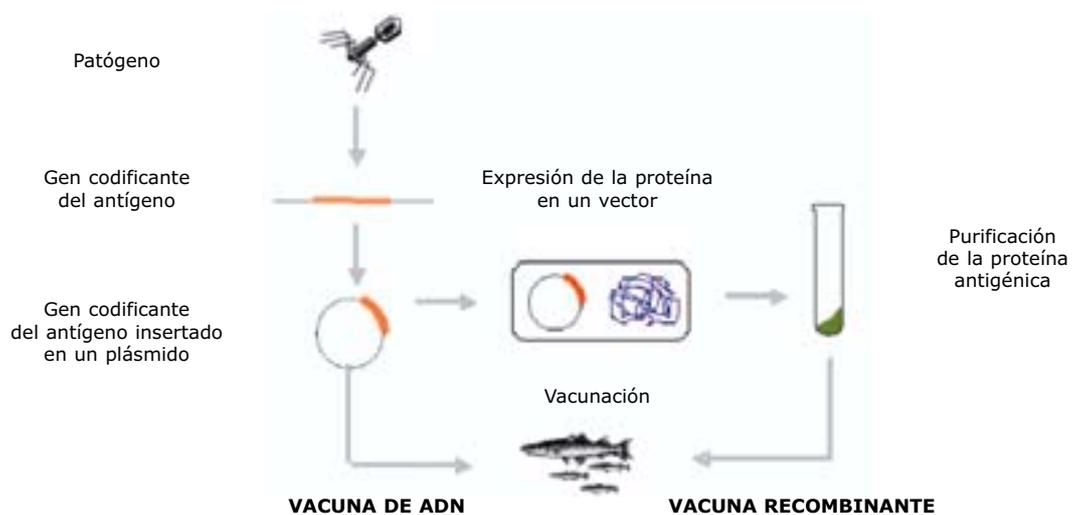


Fig. 5. Desarrollo de vacunas recombinantes y de ADN (Fuente: elaboración propia).

⁵⁹ Factor de virulencia: cualquier factor que aumenta la capacidad de un agente infeccioso de infectar un organismo hospedador (proteínas externas, toxinas, etc).

⁶⁰ Prepn of deactivated dual vibrio vaccine for sea fish. CN1360948.

⁶¹ Bacterinas: son un tipo de vacunas compuestas por bacterias inactivadas o muertas mediante la acción de agentes físicos, agentes químicos o de ambos conjuntamente.

⁶² Tecnología de ADN recombinante: tecnología molecular que hace posible aislar y manipular un fragmento de ADN de un organismo para introducirlo en otro.

Actualmente sólo varias enfermedades causadas por bacterias se han podido controlar utilizando **vacunas tradicionales** inactivadas o atenuadas. Por este motivo, la posibilidad de introducir en el mercado nuevas vacunas más eficientes y eficaces es necesaria en acuicultura.

La investigación sobre **vacunas recombinantes** piscícolas se centra en las vacunas víricas, aunque se han desarrollado diversas vacunas contra infecciones bacterianas de salmónidos⁶³. Hasta el momento, la única vacuna vírica recombinante autorizada en acuicultura en Estados Unidos se utiliza para vacunar salmones mediante inyección contra la necrosis infecciosa pancreática (consultar tabla de la presente sección). Una de las vías de investigación más prometedoras en la obtención de vacunas recombinantes es la expresión de proteínas patógenas en levaduras⁶⁴ o plantas transgénicas, que permitirían la producción de proteínas antigénicas a gran escala. Esta tecnología aún no se ha aplicado a la piscicultura por lo que es una investigación abierta que ya se ha propuesto a la UE⁶⁵.

Por otro lado, se han obtenido resultados positivos con **vacunas de ADN** contra la Septicemia hemorrágica viral (VHS) y la Necrosis infecciosa hematopoyética (IHN) en salmónidos⁶⁶. El principal método de administración de ADN suele ser la inyección en peces lo suficientemente grandes, aunque en la actualidad, se están experimentando otras técnicas más novedosas, como pueden ser el bombardeo con partículas de oro o tungsteno que llevan adheridas ADN, ultrasonidos, electroporación (sistemas "libres de aguja"), tecnología MircoPor™, intestinal o a través de las branquias⁶⁷. Otras alternativas que se están investigando son la administración oral por inmersión mediante complejos de ADN-liposomas

y ADN microencapsulado en truchas⁶⁸. La introducción de ADN por medio de técnicas de sonicación es una de las últimas alternativas que se encuentran en desarrollo. Esta técnica emplea ultrasonidos administrados de forma continua, en pulsos, o más frecuentemente de manera conjunta con métodos de inmersión, para introducir con éxito ADN en peces⁶⁹.

⁶³ A vaccine against piscirickettsia salmonis based on a recombinant 17 kd protein. CA2281913. Fish vaccine against piscirickettsia salmonis. EP1282710.

⁶⁴ Yeast Derived Vaccine Against Ipnv. WO0238770.

⁶⁵ Rocha A.; Coll, JM. Investigación actual en vacunas para la acuicultura. Revista AquaTIC, nº 11, Octubre 2000.

⁶⁶ Prieto, A. (2002). La prevención y el control de enfermedades en el cultivo de peces. Aspectos a considerar. CIVA 2002 (<http://www.civa2002.org>), 583-605.

⁶⁷ Workshop on DNA vaccination 19 th June 2001.5th Nordic Symposium on Fish Immunology, 19th June 2001.

⁶⁸ Variables en Vacunación DNA en el Modelo Trucha-Rabdovirus, Fernández-Alonso, M.; Coll, J. M.; Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim. Vol. 14 (1, 2 y 3), 1999.

⁶⁹ Zhou, Y-C., *et al.* (2002). Ultrasonic immunization of sea bream, *Pagrus major* (Temminck & Schlegel), with a mixed vaccine against *Vibrio alginolyticus* and *V. Anguillarum*. Journal of Fish Diseases Vol 25. 6, 325.

Fernández-Alonso, M.; Rocha, A.; Coll, J. M. (2001). DNA vaccination by immersion and ultrasound to trout viral haemorrhagic septicaemia virus. Vaccine 19: 3067-3075.

En la siguiente tabla se comparan las principales ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de vacunas descritos anteriormente.

COMPARACIÓN DE LOS TIPOS DE VACUNAS EN ACUICULTURA

Tipo de vacuna	Ventajas	Desventajas
Vacunas inactivadas (muertas)	<ul style="list-style-type: none"> • Pocos efectos secundarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Administración con coadyuvantes (pueden causar alteraciones en las vísceras). • Sólo estimulan la respuesta inmune humoral. • El antígeno puede perder su conformación.
Vacunas atenuadas (vivas)	<ul style="list-style-type: none"> • Estimulan la respuesta inmune humoral y celular (mayor memoria y eficacia). • Bajas dosis de vacuna. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de dispersión incontrolada. • Posibles efectos secundarios.
Vacunas recombinantes	<ul style="list-style-type: none"> • Sin efectos secundarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo una vacuna autorizada hasta el momento. • Costosas de producir en grado de pureza y cantidad suficiente. • No son capaces de evitar la infección y la generación de portadores asintomáticos. • Sólo estimulan la respuesta inmune humoral.
Vacunas de ADN	<ul style="list-style-type: none"> • Sin efectos secundarios. • Estimulan la respuesta inmune humoral y celular (mayor memoria y eficacia). • Inmunidad de larga duración. • Tecnología aplicable a todas las enfermedades. • Presentación del antígeno en la conformación adecuada. • Actividad adyuvante del ADN (presencia de dinucleótidos CpG repetidos en el ADN bacteriano). • Termoestables y capaces de ser utilizadas en cualquier especie y edad. • Posibilidad de fabricar vacunas multivalentes contra varios patógenos en el mismo o en diferentes plásmidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo estudiada para vacunas víricas. • Posible riesgo de integración del plásmido de ADN en el genoma del hospedador.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de vacunas en acuicultura (Fuente: elaboración propia).

c) Principales enfermedades infecciosas de especies piscícolas

La mayoría de las vacunas comerciales para peces están diseñadas contra enfermedades bacterianas. Actualmente no existen vacunas contra patógenos parásitos, y muy poca como tratamiento preventivo en enfermedades víricas. Las razones de esta escasez de vacunas son el alto coste de desarrollo de nuevos productos, unido al tamaño relativamente pequeño de la industria en acuicultura, así como el bajo precio de los peces cultivados. Por otra parte, muchas vacunas se encuentran en desarrollo experimental y sin embargo no son viables comercialmente debido a su alto coste y baja rentabilidad, insuficiente protección, o falta de seguridad⁷⁰. No obstante, entre los expertos consultados, no cabe duda que estas vacunas tendrán una importancia creciente en el futuro.

Las **parasitosis**⁷¹ propias de las especies piscícolas no tienen tratamientos eficaces, especialmente contra las que pueden considerarse más patógenas, como la escuticociliatosis y la mixosporosis⁷². Sólo en el caso de ciertos ectoparásitos se conocen algunos tratamientos

eficaces, pero son caros y su aplicación en la práctica está limitada por su elevado coste y por las normas legales vigentes, cada vez más restrictivas en estos aspectos. Algunos de estos tratamientos se basan en la inyección de compuestos inhibitorios de la síntesis de la quitina, componente principal de la envoltura externa de estos parásitos⁷³. La obtención de vacunas contra parásitos está limitada por numerosos factores, incluyendo entre otros la complejidad de los ciclos y la variabilidad antigénica de los parásitos. En el caso de los peces, hay que considerar también el escaso conocimiento de su respuesta inmunitaria a los parásitos.

En el caso de los **virus**, no hay medidas terapéuticas efectivas ni han podido comercializarse aún vacunas útiles y eficaces. Los mayores esfuerzos en la investigación de virus propios de peces se han realizado con aquellos virus que afectan a las especies de mayor interés comercial, y que ocasionan por ello grandes pérdidas a la industria del sector. Debido a este interés, se sabe más sobre virus de salmónidos que del resto de especies piscícolas⁷⁴.

PRINCIPALES ENFERMEDADES VÍRICAS QUE AFECTAN A DIVERSAS ESPECIES DE SALMÓNIDOS

- **Necrosis pancreática infecciosa (IPNV)**: responsable de la mayor parte de las infecciones víricas en truchas en España.
- **Necrosis hematopoyética infecciosa (IHNV)**: afecta a varias especies de salmónidos, de reciente introducción en Europa.
- **Septicemia hemorrágica viral (VHSV)**: en la actualidad prácticamente erradicado.
- **Necrosis nerviosa viral o encefalopatía viral (NNV)**: producida por un nodavirus, afectando a cultivos europeos, aunque no se ha registrado en España todavía.
- **Enfermedad del páncreas (PD)**: producida por un togavirus, afecta al salmón atlántico.
- **Anemia infecciosa del salmón (ISA)**: producida por un ortomixovirus, afecta al salmón atlántico.

⁷⁰ Heppell, J.; Davis, H.L. (2000). Application of DNA vaccine technology to aquaculture. *Advanced Drug Delivery Reviews* 43, 29-43.

⁷¹ Parasitosis: enfermedad por la simbiosis de un organismo, parásito, que vive a expensas de otro, hospedador, causándole algún tipo de patología.

⁷² Pellitero, P. A., *et al.* Parásitos del rodaballo: Un nuevo reto para su cultivo. *Biopress.net* 6 enero.

⁷³ Control of parasitic infestations in farmed and wild fish. WO9963824.

⁷⁴ Pérez Prieto, S. I.; Rodríguez Saint Jean, S. (2002). Virus en la acuicultura de peces Teleósteos y su impacto en instalaciones españolas. *Biopress.net* 6 enero.

La importancia de estas enfermedades sobre la pérdida de producción y sus consecuencias económicas llevaron a la UE a la puesta en marcha de un programa de erradicación de rhabdovirus en todos los países miembros, basado en la aplicación de métodos de diagnóstico rápido y sensible que permiten detectar el virus en peces enfermos y en peces portadores, evitando la diseminación de estos patógenos. Por otra parte, algunos virus con escasa virulencia pueden convertirse en patógenos altamente virulentos cuando los peces se someten a condiciones de stress o malas condiciones ambientales.

Las vacunas contra enfermedades **bacterianas** suelen estar formadas por bacterias inactivadas, y el método de administración más común es mediante inmersión o inyección junto con adyuvantes oleicos. La investigación en España en cuanto a vacunas contra enfermedades

bacterianas en peces es una de las más activas, destacando la presencia de varias patentes sobre desarrollo de vacunas contra vibriosis, por parte de grupos de investigación procedentes de la Universidad de Santiago de Compostela y la Universidad de Valencia (ver siguiente tabla). El Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) posee a su vez dos patentes en trámite relacionadas con el virus de la septicemia hemorrágica de la trucha, así como un nuevo vector para vacunas de ADN (ver ANEXO II). Las especies piscícolas que centran la atención de los investigadores españoles son los salmones y truchas en su mayoría, seguidos de la anguila, el rodaballo y la dorada (ver ANEXO I).

La siguiente tabla recoge las vacunas desarrolladas o que actualmente se encuentran en vías de desarrollo para las enfermedades de mayor incidencia en acuicultura.

COMPARACIÓN DE LOS TIPOS DE VACUNAS EN ACUICULTURA

Tipo de vacuna	Patógeno	Enfermedad	Estado	Especies piscícolas más afectadas
Bacteriana (inactivada o atenuada)	V. anguillarum ⁷⁵ V. ordalii V. salmonicida	Vibriosis (70% mortalidad)	Empleadas desde hace tiempo	Anguila, dorada, lubina, rodaballo trucha
	V. viscosus	Úlcera de invierno	Experimental ⁷⁶	Salón y trucha de países fríos
	V. vulnificus	Vibriosis Patógeno humano oportunístico	Experimental ⁷⁷ (bacterina toxoide)	Anguila
	A. salmonicida	Furunculosis	Vacunas inyectables usadas con éxito ⁷⁸	Principalmente salmónidos y otras especies de agua dulce en menor medida
	P. piscicida	Pasteurelosis Pseudotuberculosis	Experimental ⁷⁹	Salmónidos, lubina, dorada
	S. parauberis	Estreptococias Enterocosis	Vacunas inyectables usadas con éxito ^{80,81}	Rodaballo, trucha arcoiris, tilapia
	E. ictaluri	Septicemia entérica	Experimental (resultados pobres)	Pez gato
	F. maritimus	Flexibacteriosis	Experimental ⁸²	Rodaballo, salmón
	L. garvieae	Lactococis	Experimental ⁸³	Trucha arcoiris

(Continúa en pág. sig.)

⁷⁵ Anti-Vibrio anguillarum vaccine (gava-3) for the prevention of the vibriosis disease in the turbot and salmonidae, and preparation process. EP1001016, WO9955835 (**desarrollada en la Univ. de Santiago de Compostela**). Fish vaccine comprising an avirulent, invasive bacterium. WO8909616

⁷⁶ Vinitnantharat, S.; Gravingen, K.; Greger, E. (1999). Fish Vaccines. Advances in Veterinary Medicine. Vol. 41, 539-550.

⁷⁷ Collado, R.; Fouz, B.; Sanjuán, E.; Amaro, C. (2000). Effectiveness of different vaccine formulations against vibriosis caused by Vibrio vulnificus serovar E (biotype 2) in European eels *Anguilla anguilla*. Diseases of Aquatic Organisms. 43:91-101.

Vaccine against vibriosis produced by Vibrio vulnificus biotype 2 in eels. ES2127702 (**desarrollado en la Univ. de Valencia**).

(Continúan citas en pág. sig.)

COMPARACIÓN DE LOS TIPOS DE VACUNAS EN ACUICULTURA (Continuación)

Tipo de vacuna	Patógeno	Enfermedad	Estado	Especies piscícolas más afectadas
Viral (inactivadas o atenuadas)	Rhabdovirus	Septicemia hemorrágica viral (VHS)	Experimental	Trucha, salmón
	Rhabdovirus	Necrosis hematopoyética infecciosa (IHNV)	Experimental	Trucha, salmón
	Iridovirus	Enfermedad hemorrágica de la carpa (GCHV)	Producida comercialmente en China ⁸⁴	Carpa herbívora
	Rhabdovirus	Viremia Primavera de la carpa (SVC)	Vacunas inyectables usadas con éxito	Carpa, tenca
Viral (recombinante)	Birnavirus	Necrosis infecciosa pancreática (IPNV)	Usada en Noruega, y EEUU ⁸⁵	Trucha, salmón
	Rhabdovirus	Necrosis hematopoyética infecciosa (IHNV)	Experimental ⁸⁶	Trucha, salmón
	Rhabdovirus	Septicemia hemorrágica viral (VHS)	Experimental ⁸⁷	Trucha, salmón
Parasítica (atenuada)	C. salmositica	Criptobiosis	Experimental ⁸⁸	Trucha
	L. salmonis	Piojo del salmón	Futuro	Salmón

Tabla. 9. Comparación de los métodos de tipos de vacunas en acuicultura (Fuente: elaboración propia, adaptado de: Gudding *et al.* (1999) *Veterinary Immunology and Immunopathology* 72, 203-212).

⁷⁸ Gudmundsdottir, B. K.; Gudmundsdottir, S. (1997). *J. Fish Dis.* 20, 343.

Salmonicida iron regulated protein and lipopolysaccharide vaccine. US5702708.

Attenuated aeromonas strains; fish vaccine NZ237421.

Attenuated strains of *Aeromonas salmonicida* useful as fish vaccines. US549841.

Fish vaccine for aeromonas salmonicida infection. WO9221370.

⁷⁹ Fish vaccine. EP1200121.

Attenuated *Pasteurella piscicida* vaccine for fish. US6350454.

Vaccine. WO0110459.

Procedimiento de obtención de la vacuna anti-*Pasteurella piscicida* (DI) para la prevención de la enfermedad pasteurelosis en dorada y lubina. ES2115550 (**desarrollada en la Univ. de Santiago de Compostela**).

⁸⁰ Gudding, R.; Lillehaug, A.; Midtlyng, P. J.; Brown, F. (1997). *Fish vaccinology*. Dev. Biol. Stand. Karger, Basel, pág. 490.

Chondroitinase attenuated *Edwardsiella ictaluri* and a vaccine for prevention of enteric septicemia (es) in fish. US5536658.

⁸¹ Anti-*Enterococcus* sp. (ET-2) vaccine for the prevention of enterococcal disease in turbot and process for obtaining it WO9955835 (**desarrollada en la Univ. de Santiago de Compostela**).

⁸² Vacuna anti-*Flexibacter maritimus* (FM-95) para la prevención de la enfermedad "flexibacteriosis marina" en rodaballo y peces salmónidos, y procedimiento de obtención. ES2139549 (**desarrollada en la Univ. de Santiago de Compostela**).

⁸³ Dra. Alicia Gibello, Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid (mediante comunicación personal).

⁸⁴ Dixon, P. (1997). En: Gudding, R.; Lillehaug, A.; Midtlyng, P. J.; Brown, F. *Fish vaccinology*, Dev. Biol. Stand., Karger, Basel, 191.

Vaccine and diagnostic agent for iridovirus infectious disease for fish and production of the same and the like. JP9176043.

⁸⁵ Frost, P. & A. Ness 1997. Vaccination of Atlantic salmon with recombinant VP2 of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), added to a multivalent vaccine, suppresses viral replication following IPNV challenge. *Fish and Shellfish Immunology* 7: 609-619.

Vaccine for immunizing fish against infectious pancreatic necrosis virus. US5165925.

Fish pancreatic disease virus. EP0712926.

⁸⁶ Vaccine to control the viral infection of fish. US5354555.

⁸⁷ Recombinant polypeptides of the haemorrhagic septicemia virus in fish. EP0377349.

⁸⁸ Ii, S.; Woo, P.T.K. (1997). *J. Fish Dis.* 20, 369.

Las vacunas hasta ahora mencionadas son monovalentes, es decir, proporcionan protección contra una única enfermedad. Sin embargo, es posible administrar vacunas polivalentes, para más de una enfermedad, debido a los fenómenos de **reactividad cruzada**. Los niveles de protección frente a algunas enfermedades son mayores cuando se suministran vacunas con varios antígenos procedentes de varios patógenos relacionados, en vez de suministrados por separado⁸⁹. De esta forma, un mismo anticuerpo sería capaz de reconocer antígenos procedentes de patógenos diferentes, ya que comparten ciertos determinantes antigénicos. Se ha observado que el sistema inmune de los peces se encuentra menos diversificado que el de los mamíferos, y las vacunas polivalentes han presentado una mayor capacidad de inducción de la respuesta inmune que las vacunas monovalentes. De esta forma se ha establecido que vacunas con antígenos de *Vibrio anguillarum*, *Vibrio salmonicida* y *Aeromonas salmonicida* han dado mayores niveles de protección frente al proceso de la Forunculosis que aquellas vacunas monovalentes empleadas frente a este proceso. Esto puede deberse a la existencia de reacciones cruzadas entre *Vibrio* y *Aeromonas*.

4.4. Selección Asistida por Marcadores

Los peces pasan un periodo relativamente largo hasta la maduración sexual, y por ello los métodos de selección genética tradicionales han evolucionado de forma mucho más lenta que en el sector ganadero, así por ejemplo en salmón tan solo se han estudiado 10 generaciones en 20 años de investigación. Por este motivo, las técnicas moleculares de selección asistida por marcadores, se están convirtiendo en una herramienta imprescindible para acelerar la producción de progenies de peces con características ventajosas o deseables comercialmente.

APLICACIONES DE LOS MARCADORES GENÉTICOS EN ACUICULTURA

- Selección de reproductores:
 - Mayor tamaño y conversión alimenticia
 - Resistencia a enfermedades
 - Resistencia a stress
- Asignación de **parentesco** entre los peces cultivados para evitar problemas de endogamia.
- Identificación de secuencias susceptibles de ser empleadas en la elaboración de **transgénicos**.

⁸⁹ Gudmundsdottir, B. K.; Gudmundsdottir, S. (1997). J. Fish Dis. 20, 343.

Los marcadores genéticos son fragmentos o secuencias de ADN que se pueden relacionar con un rasgo genético. Estos marcadores se distinguen por ser variaciones genéticas que caracterizan poblaciones y subpoblaciones, los llamados *polimorfismos*⁹⁰. Cuando varios marcadores moleculares se asocian inequívocamente con un rasgo genético, se dice que forman un **QTL**⁹¹ (loci de rasgos cuantitativos o cuantificables). Estas regiones del genoma pueden controlar caracteres cuantitativos tales como resistencias a enfermedades, tolerancia a condiciones ambientales extremas, producción, calidad, y en general toda característica que posea una base genética. Estos marcadores se utilizan para realizar **Mapas genéticos por ligamiento**, los cuales aunque no proporcionan información de la secuencia del genoma, permiten localizar QTLs de interés en el genoma.

POLIMORFISMOS EMPLEADOS COMO MARCADORES GENÉTICOS

- **Polimorfismos del tamaño de los fragmentos de restricción (RFLP⁹²):** técnica de detección de fragmentos de ADN de distinto peso molecular, generados mediante la digestión con enzimas de restricción.
- **Perfiles múltiples arbitrarios de amplificación:** técnicas que emplean oligonucleótidos arbitrarios para generar patrones genéticos.
 - **RAPD⁹³** (Polimorfismo del ADN amplificado con cebadores arbitrarios): amplificación por PCR de áreas específicas distribuidas al azar por el genoma. Método sencillo, que no requiere conocimientos previos sobre la secuencia. No da información sobre el número de copias de la secuencia amplificada, y los fragmentos amplificados no suelen corresponder a ADN ligado a algún carácter.
 - **SSCP⁹⁴** (Polimorfismo en la conformación de las cadenas sencillas de ADN): análisis del polimorfismo a través de las diferencias de conformación de fragmentos de ADN de cadena sencilla. Puede llegar a distinguir cambios de pocos nucleótidos.
 - **AFLP⁹⁵** (Polimorfismo de la longitud de los fragmentos amplificados): combina el uso de enzimas de restricción y oligonucleótidos para PCR, de manera que se obtienen marcadores moleculares muy específicos sin necesidad de conocer la secuencia con anterioridad. Capaz de generar muchos marcadores moleculares en una sola reacción.
- **Polimorfismos de repetición:** número variable de repeticiones en tandem o **VNTR⁹⁶**.
 - **Microsatélite (STR⁹⁷):** repetición en tandem de secuencias de entre 2 y 5 nucleótidos. Distribuidos de forma casi homogénea por todo el genoma y con alta heterocigosidad.
 - **Minisatélite:** repetición en tandem de secuencias de unos pocos nucleótidos. Presentan el inconveniente de que no están distribuidos por todo el genoma.
- **Otros marcadores:**
 - **SNP⁹⁸** (Variaciones de una sola base nucleotídica).
 - **EST⁹⁹** (Fragmentos de genes expresados): a diferencia de los anteriores, este tipo de marcador es dependiente de secuencia.

⁹⁰ Polimorfismo: existencia de dos cromosomas alelos de un gen presentes en una población, en una frecuencia significativa.

⁹¹ QTL = Quantitative Trait Loci.

⁹² RFLP = Restriction Fragment Length Polymorphism.

⁹³ RADP = Random Amplified Polymorphic DNA.

⁹⁴ SSCP = Single-Stranded Conformational Polymorphism.

⁹⁵ AFLP = Amplified fragment length polymorphism.

⁹⁶ VNTR = Variable Number of Tandem Repeats.

⁹⁷ STR = Short Tandem Repeat.

⁹⁸ SNP = Single Nucleotide Polymorphism.

⁹⁹ EST = Expressed Sequence Tag.

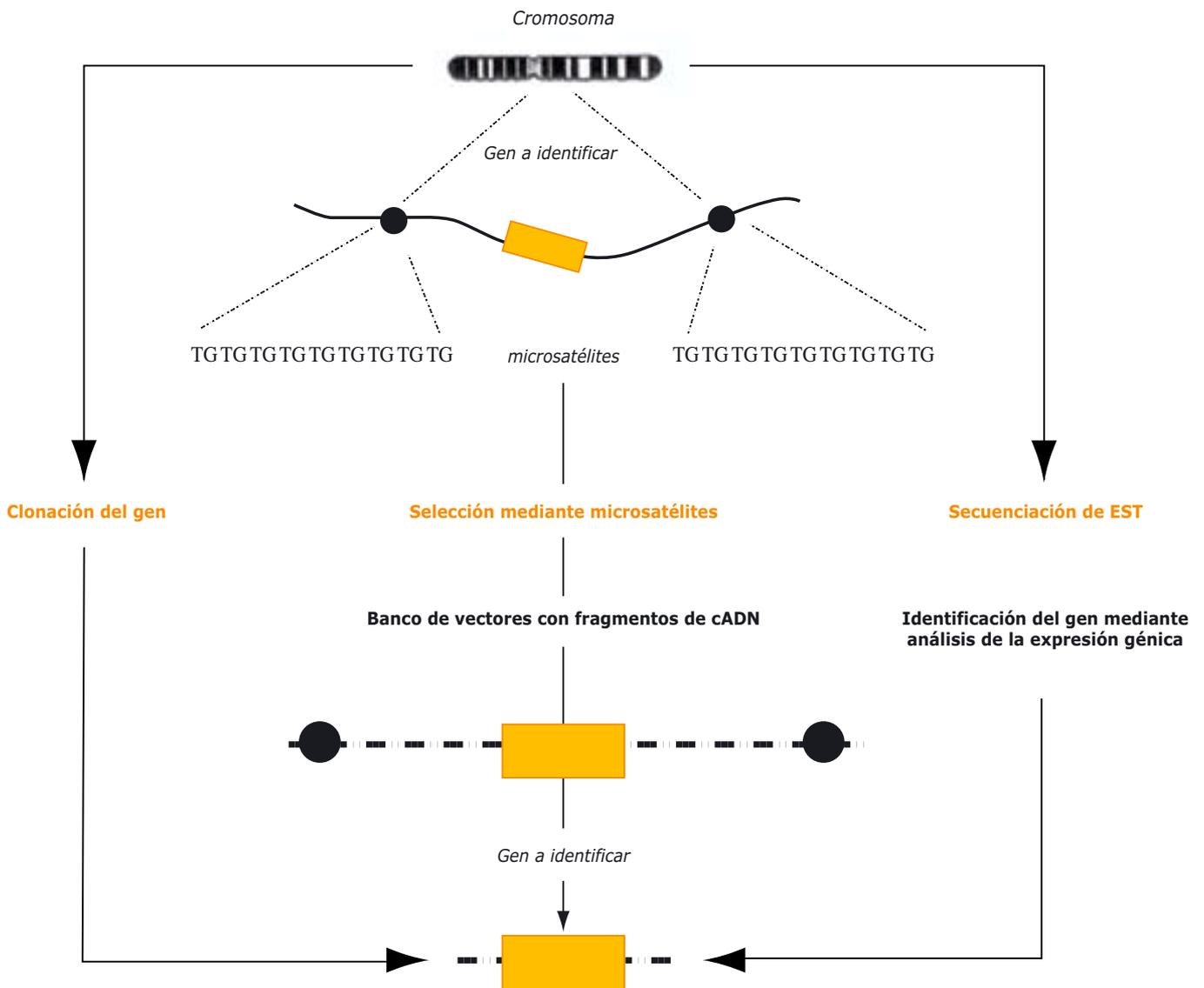


Fig. 6. Identificación de genes de interés a partir de marcadores (Fuente: adaptado de Houdebine, L. M. (2002). Transgenesis to improve animal production. *Livestock Production Science* 74 255-268).

4.5. Transgénesis

La selección de especies piscícolas se ha venido realizando tradicionalmente por medio de sucesivos **cruces e hibridaciones**, por los cuales era posible conseguir individuos con mutaciones naturales. No obstante, la transferencia del material genético no se puede dirigir ni controlar mediante estas técnicas, por lo que actualmente se estudian otras técnicas de mejora genética tales como la transgénesis.

La aplicación de las tecnologías de **transgénesis** en el cultivo de especies piscícolas es complementaria a la utilización de otras técnicas moleculares de selección, diagnóstico o ingeniería de vacunas.

La **transgénesis** se puede definir como la **introducción de ADN foráneo en un genoma**, de modo que se mantenga estable de forma hereditaria y afecte a todas las células en los organismos multicelulares. El ADN foráneo o transgen se introduce en cigotos por medio de diferentes métodos. Los embriones que hayan integrado el ADN extraño en su genoma producirán un organismo transgénico, de modo que el transgen pasará a las siguientes generaciones a través de la línea germinal (gametos).

PASOS A REALIZAR EN LA ELABORACIÓN DE UN PEZ TRANSGÉNICO

1. Elección del gen que se quiere introducir.
2. Obtención del cADN del gen/Clonación del gen que codifica la proteína a insertar.
3. Preparación de la construcción genética a clonar.
4. Inserción de la construcción genética en un plásmido bacteriano.
5. Inserción del plásmido en una cepa bacteriana y amplificación del número de copias del vector millones de veces.
6. Aislamiento de los plásmidos y fragmentación del segmento que contiene únicamente el trasgén.
7. Inserción de millones de copias del trasgén en cada huevo fecundado.
8. Incubación y cultivo de los alevines resultantes.
9. Identificación y selección de los transgénicos que expresen la característica deseada.
10. Establecimiento de un programa de cultivo para estabilizar el trasgén en sucesivas generaciones.
11. Aprobación legal para su comercialización.

Fig. 7. Pasos a realizar en la elaboración de un pez transgénico (Fuente: elaboración propia, tomado de, Matheson, J. C. (1999) Transgenic Fish Developments: Are Transgenic Catfish in Our Future? Catfish Farmers of America Annual Meeting, New Orleans. <http://www.fda.gov/cvm/biotechnology/catfish>).

La introducción del ADN foráneo en el genoma puede realizarse mediante varios métodos, siendo los principales la microinyección, transferencia mediante vectores virales y manipulación de células embrionarias. No obstante, existen otros métodos alternativos que están siendo perfeccionados en la actualidad tales como la electroporación (emisión de pulsos eléctricos de alto voltaje y corta duración), siendo el más novedoso la electroporación con radiofrecuencia¹⁰⁰.

PRINCIPALES TÉCNICAS DE TRANSGÉNESIS

	Descripción	Ventajas	Desventajas
Microinyección de ADN	Microinyección directa de un gen determinado o de una combinación de genes de un miembro de la misma o de distinta especie, en el pronúcleo de un óvulo fecundado in vitro. Una vez realizada la microinyección, los óvulos se introducen en las hembras.	Fácilmente aplicable a una amplia variedad de especies.	El gen se inserta al azar en el genoma.
Transferencia mediante vectores virales	Los retrovirus son capaces de transportar la secuencia génica que se quiera insertar hasta el núcleo de las células receptoras.	El transgén suele estar presente en todas las células de los individuos transgénicos, incluyendo también a la línea germinal.	El gen se inserta al azar en el genoma.
Transgénesis por manipulación de células embrionarias	Introducción de ADN foráneo en lugares específicos del genoma de células embrionarias mediante electroporación, transfección o microinyección. Las células transfectadas son reintroducidas en un embrión que se reimplanta en una hembra.	El gen se inserta en lugares específicos del genoma.	Todos los individuos transgénicos son quimeras (sólo un cierto porcentaje de sus células portan el transgén).

Tabla 10. Principales técnicas de Transgénesis (Fuente: elaboración propia).

¹⁰⁰ Hostetler, H. A., et al. (2003). High efficiency production of germ-line transgenic Japanese medaka (*Oryzias latipes*) by electroporation with direct current-shifted radio frequency pulses. *Transgenic Research* 12:413-424.

Las aplicaciones de las técnicas de transgénesis en organismos acuáticos están dirigidas por un lado a disminuir los costes de producción derivados de las actividades de acuicultura, y por otro a reducir los costes asociados al empleo de antibióticos y mortalidad debido a enfermedades infecciosas.

PRINCIPALES OBJETIVOS DE LA GENERACIÓN DE PECES TRANSGÉNICOS

- Mejora de la tasa de crecimiento.
- Control de la maduración, diferenciación sexual y esterilidad.
- Mejora de la supervivencia por medio de la resistencia a enfermedades.
- Adaptación a condiciones medioambientales.
- Alteración de la composición nutricional de la carne.
- Alteración de determinadas capacidades metabólicas: biofactorías.

La transgénesis como técnica de mejora genética animal presenta todavía una serie de problemas que todavía no están resueltos. Uno de los principales problemas consiste en la posibilidad de ocasionar algún tipo de impacto en funciones biológicas controladas por múltiples genes. Sin embargo, esto no quiere decir que tan solo aquellos genes que controlan características monogénicas pueden ser objeto de transgénesis. Los genes implicados en el crecimiento y desarrollo se encuentran regulados por un gran número de genes, y su expresión tiene lugar por

medio de complejas cascadas de señalización. Sin embargo, la sobreexpresión de la hormona del crecimiento es un ejemplo claro de transgénesis en especies piscícolas, la cual se explicará más adelante.

Las especies de peces sobre los que se han desarrollado un mayor número de especies transgénicas han sido la trucha, el salmón, el pez gato, la tilapia y la carpa dorada. En España la industria no utiliza estas técnicas y tan solo se desarrollan a nivel científico.

PECES MODIFICADOS GENÉTICAMENTE EN DESARROLLO

Especie	Gen foráneo	Efecto	Estatus	País
Salmón atlántico	AFP	Tolerancia al frío.	En fase experimental	EEUU, Canadá
	AFP Salmón GH	Aumento de crecimiento y conversión alimenticia.	En espera de aprobación Método patentado	
Salmón coho	Salmón chinook GH+AFP	Tras un año, aumento del crecimiento en un factor de 10-30.	En fase experimental	Canadá
Salmón chinook	AFP Salmón GH	Aumento de crecimiento y conversión alimenticia.	En fase experimental	Nueva Zelanda
Salmón	Gen lisozima de la trucha arcoiris y gen de la pleurocidina del lenguado.	Resistencia enfermedades.	En fase experimental	EEUU, Canadá

(Continúa en pág. sig.)

PECES MODIFICADOS GENÉTICAMENTE EN DESARROLLO (Continuación)

Especie	Gen foráneo	Efecto	Estatus	País
Trucha arcoiris	AFP Salmón GH	Aumento de crecimiento y conversión alimenticia.	En fase experimental	EEUU, Canadá
Trucha Cutthroat	Salmón chinook GH+AFP	Aumento de crecimiento.	En fase experimental	Canadá
Tilapia	AFP Tilapia GH	Aumento de crecimiento y conversión alimenticia. Herencia estable.	En fase experimental	Canadá, Reino Unido
Tilapia	Tilapia GH	Aumento de crecimiento y herencia estable.	En espera de aprobación	Cuba
Tilapia	Gen modificado de producción de insulina en tilapia	Producción de insulina humana para diabéticos.	En fase experimental	Canadá
Lubina rayada	Genes procedentes de insecto	Aumento de crecimiento y conversión alimenticia (factor de 2-30). Herencia estable.	En fase experimental	EEUU
Misgurnus mizolepis (mud loach)	Mud loach GH+ y promotes de genes de mud loach y ratón	Mejora del crecimiento en cultivo del 33%.	En fase experimental	China, Corea
Pez gato	GH	Mejora del crecimiento en cultivo del 150%. Mejora de la resistencia enfermedades. Tolerancia a bajos niveles de oxígeno.	En fase experimental	EEUU
Carpa común	GH de salmón y humano	Aumento de crecimiento.	En fase experimental	China, EEUU
Carpa mayor de la India GH AFP	GH de humano	Aumento de crecimiento.	En fase experimental	India
Pez dorado	AFP	Tolerancia al frío.	En fase experimental	China, Canadá
Abalón	GH	Aumento de crecimiento.	En fase experimental	EEUU

Tabla 11. Peces Modificados Genéticamente en desarrollo (Fuente: Elaboración propia, tomado de, Diouf, J. (2000) Genetically Modified Organisms and Fisheries. FAO Report; Future Fish: Sigues in Science and Regulation of Transgenic Fish (2003) Pew Initiative on Food And Biotechnology).
GH - Hormona del crecimiento / AIP - Proteína Anticongelante.

Algunas de las aplicaciones de la transgénesis en acuicultura que poseen un mayor desarrollo tecnológico son las siguientes:

a) Control de la maduración

La mayoría de las especies piscícolas no maduran normalmente en condiciones de cautiverio, especialmente cuando las variables ambientales que condicionan el desarrollo gonadal y la maduración de gametos están alteradas o ausentes. En ciertas circunstancias es necesario acelerar o retrasar la maduración, a fin de optimizar y sincronizar la producción de gametos de machos y hembras, de adelantar o desfazar el desarrollo embrionario y la producción de juveniles, o facilitar la hibridación de especies o cepas que difieren en sus períodos de maduración.

Las estrategias reproductivas de las especies piscícolas consisten generalmente en la producción de una enorme cantidad de huevos, lo que implica un gran desarrollo de las gónadas, que pueden llegar a suponer un importante porcentaje del peso corporal. Esto da lugar a que en la época de maduración sexual se paralice casi por completo el crecimiento del animal. Dado que para las especies cultivadas el principal interés se encuentra en la carne, a los productores les interesa controlar el momento en el que se produce la maduración sexual. El esturión es una excepción ya que lo que se pretende es que la maduración tenga lugar, al ser el caviar el producto que tiene valor comercial.

Tradicionalmente el control de la maduración se ha conseguido mediante la administración de compuestos bioactivos análogos a hormonas de mamíferos o peces, que son efectivos en peces teleósteos, tales como extractos de gonadotropina, o compuestos que estimulan la síntesis y liberación de gonadotropina endógena.

El desarrollo de técnicas de inducción de maduración ha superado varias etapas, desde el uso de preparaciones crudas de extractos pituitarios conteniendo gonadotropinas, preparaciones de gonadotropinas semipurificadas, hasta el uso de compuestos que estimulan la síntesis y liberación de gonadotropina endógena.

En la actualidad se está investigando la creación de peces transgénicos estériles cuya actividad reproductiva pueda ser activada por medio de **promotores inducibles**. Como consecuencia, se conseguiría no sólo controlar la reproducción y el crecimiento óptimo de los peces, sino que en caso de fuga no sería posible el cruzamiento con especies salvajes. Hasta el momento esta estrategia tan solo ha sido demostrada en mamíferos¹⁰¹.

La técnica más prometedora para controlar la expresión de genes consiste en la **tecnología antisentido**. Esta técnica se basa en la introducción en la célula de pequeñas secuencias de ADN o ARN que bloquean la expresión de una proteína determinada mediante la unión a ADN de cadena doble o a ARN mensajero. Basándose en esta técnica, se ha desarrollado un promotor del gen de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) fusionada con la secuencia antisentido de este gen. Este fragmento es introducido en el genoma de la trucha arcoiris, permitiendo la expresión de ARN antisentido en cerebro, y observándose una reducción en la producción de esperma¹⁰².

Una alternativa al uso de tecnología antisentido es la introducción de un transgen codificante para **ribozimas**, secuencias catalíticas de ARNm que cortan la secuencia de ARN de manera selectiva. En peces todavía no se ha desarrollado esta tecnología.

b) Crecimiento y conversión alimenticia

Prácticamente la mitad de los costes operativos en acuicultura se atribuyen a la alimentación, y por tanto uno de los principales intereses de la industria de acuicultura consiste en acelerar el crecimiento y mejorar la tasa de eficiencia en la conversión alimenticia de las especies cultivadas.

Los niveles endógenos de hormona de crecimiento o somatotropina (GH) son inferiores a los necesarios para el máximo crecimiento en la mayoría de los peces, incluyendo los salmónidos. Para contrarrestar esta limitación natural tradicionalmente se emplea la administración de factores inhibidores de la somatostatina, o lactógeno placentar aislado de la placenta de mamíferos.

¹⁰¹ Melamed, M., et al. (2002). The potential impact of modern biotechnology on fish aquaculture. *Aquaculture* 204, 255-269.

¹⁰² Melamed, M., et al. (2002). The potential impact of modern biotechnology on fish aquaculture. *Aquaculture* 204, 255-269.

La habilidad para manipular la tasa de crecimiento a través de la **introducción de genes de la hormona del crecimiento** (GH) ha sido demostrada en caso de ratones¹⁰³, y ha sido empleada con éxito en peces, concretamente en el salmón¹⁰⁴. El salmón transgénico engorda dos veces más rápido y come menos que las variedades naturales¹⁰⁵, creciendo incluso en invierno, cuando normalmente casi no aumenta de peso, y tiene un efecto acelerador sobre la secreción de la hormona del crecimiento al inicio del ciclo de vida del pez. Este nuevo transgénico, al que se ha denominado *AquAdvantage*TM, podría obtener autorización por parte de la FDA si se demuestra que no tiene una capacidad de adaptación superior para viabilidad, reproducción o fertilidad. Estados Unidos carece de medidas específicas para evaluar los riesgos presentados por un pez transgénico, por lo que la FDA les considera como un medicamento y por tanto han de ser sometidos a un proceso de autorización similar al de los medicamentos¹⁰⁶.

EFFECTOS DE LA SOBREENPRESIÓN DE HORMONA DEL CRECIMIENTO EN SALMONES

- Aumento del apetito.
- Aumento de la eficiencia de conversión alimenticia.
- Aumento de la tasa de crecimiento.
- Mejor adaptación de salmónidos a aguas marinas.

En comparación con los mamíferos, tan solo existe un número limitado de promotores bien caracterizados procedentes de genes de especies piscícolas. Estos incluyen el gen de la metalotioneína de trucha y salmón, actina B de la carpa, histona del salmón, protamina, y proteína anticongelante del lenguado (AFP¹⁰⁷), siendo este último el que más se emplea como promotor en la inducción de la expresión de la hormona del crecimiento.

VENTAJAS DE USO DEL PROMOTOR AFP FRENTE A OTROS PROMOTORES

- Su presencia puede usarse como marcador debido a que están ausentes en la mayoría de las especies de interés comercial en acuicultura.
- Una vez introducidos, son activos en todas las especies de interés comercial.
- Contienen secuencias reguladoras positivas y negativas.
- La síntesis de AFP esta limitada a una serie de tejidos.
- Al menos existen tres tipos de promotores AFP con diferentes especificidades de tejido.

¹⁰³ Palmiter, R. D.; Brinster, R. L.; Hammer, R. E.; Trumbauer, M. E.; Rosenfeld, M. G. (1982). Dramatic growth of mice that develop from eggs microinjected with metallothionein-growth hormone fusion genes. *Nature* 30, 611-615.

¹⁰⁴ Devlin, R. H.; Yesake, T. Y.; Biagi, C. A.; Donaldson, E. M.; Swanson, P.; Chan, W.-K. (1994). Extraordinary salmon growth. *Nature* 371, 209-210.

Du, S. J.; Gong, Z.; Fletcher, G. L.; Shears, M. A.; King, M. J.; Idler, D. R.; Hew, C. L. (1992). Growth enhancement in transgenic Atlantic salmon by the use of an Aall-fishB chimeric growth hormone gene construct. *BiorTechnology* 10, 176-180.

¹⁰⁵ *AquAdvantage*TM: Aqua Bounty Farms (<http://www.aquabounty.com>).

Transgenic salmonid fish expressing exogenous salmonid growth hormone. US5545808.

¹⁰⁶ Pew Initiative on Food and Biotechnology (<http://pewagbiotech.org>).

¹⁰⁷ AFP= Antifreeze Protein.

Otras hormonas como la prolactina, somatolactina, gonadotropina, y receptores de estrógenos, han sido clonados en diversos organismos, y suponen nuevas estrategias moleculares para el control del desarrollo y reproducción de peces de cultivo¹⁰⁸. Debido a la laboriosidad y coste asociado al suministro de hormonas, la creación de peces transgénicos que sobre-expresen hormonas de interés es una alternativa cada vez más adecuada. Sin embargo, la estricta reglamentación actual está retrasando su aplicación en peces de cultivo destinados al consumo humano¹⁰⁹.

c) Resistencia a bajas temperaturas

Al contrario que los peces transgénicos que sobreexpresan la hormona del crecimiento, la resistencia a bajas temperaturas está dirigida tan solo a ciertas especies cultivadas en regiones determinadas. Ésta se consigue mediante la introducción de genes codificantes para proteínas anticongelantes procedentes de especies polares en las especies que se desea modificar. Esta aplicación está dirigida en particular al salmón atlántico, cuyo cultivo tiene lugar principalmente en Canadá.

PRINCIPALES TIPOS DE PROTEÍNA ANTICONGELANTE

- Glicoproteína de bacalao antártico.
- AFP tipo I del lenguado.
- AFP tipo II del H. Americanus.
- AFP tipo III del M. Americanus.

El gen de AFP tipo I y su promotor han sido empleados en la creación de salmones resistentes al frío, y el tipo III además ha sido introducido en pez dorado demostrándose un aumento en la tolerancia a bajas temperaturas¹¹⁰.

¹⁰⁸ Macouzet, M.; Benjamín, K. S.; Lee, B. H. (1999). Cloning of fish enzymes and other fish protein. *Critical reviews in Biotechnology*. 19(3): 179-196.

¹⁰⁹ La agencia estadounidense Food and Drug Administration, FDA, aprobó en 1993 el uso de somatotrofina bovina recombinada para aumentar la producción de leche, lo que podría facilitar la obtención de autorización por parte de agencias regulatorias del uso de proteínas de la hormona del crecimiento recombinante, una vez que las mejores dosis y mecanismos de administración hayan sido determinados y se compruebe su inocuidad para el consumidor humano.

¹¹⁰ Maclean, N., *et al.* (2000). Transgenis Fish: an evaluation of benefits and risks. *Fish and Fisheries*, 1, 146-172.

d) Resistencia a enfermedades infecciosas

Las especies piscícolas se cultivan generalmente en tanques de cultivo que alojan a una gran densidad de peces, por lo que están sujetos a condiciones susceptibles de provocar enfermedades debidas a infecciones víricas, bacterianas, fúngicas o parasitarias.

La transgénesis permite la aplicación de diversos métodos por los cuales se pueden crear peces modificados genéticamente resistentes a enfermedades infecciosas. Sin embargo, cada uno de estos peces transgénicos son efectivos frente a un tipo de infección o especie patogénica.

PRINCIPALES ESTRATEGIAS DE TRANSGÉNESIS PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A ENFERMEDADES EN PECES

- Tecnología antisentido.
- Ribozimas.
- Expresión de proteínas virales de cubierta.
- Expresión de sustancias y péptidos antibacterianos y antimicrobianos.
- Expresión de citoquinas, interferones, y otros genes implicados en la respuesta inmune.

La tecnología antisentido y el empleo de ribozimas, ya comentados anteriormente, son dos tecnologías que podrían ser utilizadas para bloquear o destruir el ARN procedente del virus respectivamente. Uno de los patógenos candidatos es el virus causante de la Necrosis Hematopoyética Infecciosa (IHNV), responsable de un alto porcentaje de la mortalidad de salmónidos cultivados. Otra de las estrategias que se está contemplando es la expresión de proteínas de la cubierta de este virus, a fin de que compitan con las proteínas virales por sus receptores¹¹¹.

En cuanto a las enfermedades bacterianas, se ha desarrollado un salmón transgénico que posee una mayor resistencia a estas enfermedades. El gen introducido consiste en el gen de la lisozima de trucha arcoiris, con propiedades antibacterianas, controlado por el promotor AFP¹¹².

¹¹¹ Hew, C. L.; Fletcher, G. L. (2001). The role of aquatic biotechnology in aquaculture *Aquaculture* 197, 191-204.

¹¹² Melamed, M., *et al.* (2002). The potential impact of modern biotechnology on fish aquaculture. *Aquaculture* 204, 255-269).

e) Modelos animales experimentales

Entre los distintos grupos de vertebrados candidatos a ser considerados organismos o sistemas modelo¹¹³, los peces teleósteos u óseos son una de las alternativas más empleadas en la investigación de especies piscícolas¹¹⁴.

Las especies de peces que se utilizan en investigación son muchas y variadas, pero en los últimos años el pez cebra (*Danio rerio*) está considerado el modelo por excelencia en el estudio de la biología de vertebrados.

ESPECIES DE PECES UTILIZADAS HABITUALMENTE EN EXPERIMENTACIÓN

Nombre común	Género y especie	Aplicaciones en experimentación
Pez cebra	Danio rerio	<ul style="list-style-type: none"> • Biología del Desarrollo. • Enfermedades genéticas. • Cáncer. • Toxicología de Aguas. • Peces Transgénicos. • Inmunología Comparada. • Fisiología Comparada.
Carpín	Carassius auratus	<ul style="list-style-type: none"> • Neurociencias.
Anguila	Electrophorus electricus	<ul style="list-style-type: none"> • Neurociencias.
Killifish	Fundulus heteroclitis	<ul style="list-style-type: none"> • Endocrinología.
Trucha arcoiris	Oncorhynchus mykiss	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicología de Aguas. • Peces Transgénicos.
Salmón	Salmo salar Oncorhynchus spp	<ul style="list-style-type: none"> • Fisiología comparativa. • Peces transgénicos.
Medaka	Oryzias latipes	<ul style="list-style-type: none"> • Biología del Desarrollo. • Cáncer. • Peces Transgénicos.
Raya eléctrica	Torpedo californica	<ul style="list-style-type: none"> • Neurociencias.
Platy	Xiphophorus maculatus	<ul style="list-style-type: none"> • Cáncer.

Tabla 12. Especies de peces utilizadas habitualmente en experimentación (Fuente: elaboración propia, tomado de: Estepa, A. ¿Porqué el pez cebra? IBMC, Universidad Miguel Hernández).

¹¹³ Organismos o Sistemas modelo: especies animales que se estudian en detalle y que se utilizan como base para generalizar como ocurren determinados procesos biológicos en el resto de las especies relacionadas. No existe una única especie modelo, sino que depende del tipo de estudios que se quieran realizar y las especies con las que se desea comparar los resultados.

¹¹⁴ Estepa, A. ¿Por qué el pez cebra? Instituto de Biología Molecular y Celular, Universidad Miguel Hernández.

La mosca de la fruta y el gusano son dos de los modelos animales más frecuentes en el estudio de la biología del desarrollo en vertebrados. Si embargo el pez cebra presenta una serie de ventajas frente a otros modelos experimentales utilizados tradicionalmente en investigación básica.

VENTAJAS DEL USO DE PEZ CEBRA COMO MODELO EN EXPERIMENTACIÓN

Frente a gusano y mosca de la fruta	Patrón de desarrollo similar al de los vertebrados superiores (incluido el hombre).
	Relaciones sinténicas ¹¹⁵ entre los genomas humanos y de pez cebra.
Frente al resto de vertebrados	Mantenimiento de un elevado número de ejemplares en poco espacio (pequeño tamaño).
	Disponibilidad de gran cantidad de material genético uniforme (una sola hembra puede poner hasta cientos de huevos).
	No se necesitan manipulaciones externas del embrión (fertilización externa de los huevos).
	Corto periodo de desarrollo del embrión y maduración sexual.
	Control de las puestas (alteraciones en la temperatura y fotoperiodo).
	Análisis no invasivo del embrión y seguimiento de la expresión génica en tiempo real (embriones transparentes).
	Más baratos de obtener y mantener que los mamíferos.
Gran divergencia evolutiva y diversidad.	

Tabla 13. Ventajas del uso de pez cebra como modelo en experimentación (Fuente: elaboración propia, tomado de: Estepa, A. ¿Por qué el pez cebra? IBMC, Universidad Miguel Hernández).

¹¹⁵ Un gen sinténico en una especie diferente a la humana es un gen que se encuentra en un segmento particular del genoma de esa especie y que está rodeado por algunos genes similares a los que rodean a este gen en el cromosoma humano.

La biología del pez cebra comenzó a estudiarse en la Universidad de Oregón, el primer centro de investigación que comenzó los estudios del pez cebra en biología del desarrollo. Esta institución ha creado una red internacional del pez cebra que contiene información obtenida por la comunidad científica sobre este pez¹¹⁶. En estos momentos existen numerosas iniciativas similares para el estudio de la biología del pez cebra¹¹⁷, mapeado y secuenciación¹¹⁸, y librerías de cDNA y SNPs¹¹⁹. Recientemente, se ha creado un pez cebra transgénico de varios colores por medio de la introducción de proteínas fluorescentes verdes y

rojas acoplados a promotores específicos de la piel y del músculo¹²⁰. Este pez se denomina pez Frankenstein o TK-1, y es comercializado con fines ornamentales por la empresa taiwanesa Taikong Corporation¹²¹, en Malasia, Japón, Hong Kong y Taiwán, y en breve se prevé la llegada al mercado Estadounidense. El año pasado, se publicó un artículo en cual se demostró que el pez cebra es capaz de lograr la regeneración cardíaca, además de identificar un gen implicado en este proceso, y por tanto abriendo una vía de investigación en la cual este pez actuaría como modelo experimental fundamental¹²².

APLICACIONES DEL PEZ CEBRA COMO MODELO EXPERIMENTAL¹²³

- Estudio de la expresión génica mediante mutaciones puntuales o arbitrarias.
- Estudios de toxicidad y cribado de compuestos químicos o biológicos.
- Estudio de la biología del desarrollo de vertebrados.
- Modelos modificados genéticamente para el estudio de enfermedades humanas congénitas y cribado de nuevos agentes terapéuticos (Anemia, Talasemia, Porfiria, malformaciones del corazón, y Diabetes)¹²⁴.
- Identificación de marcadores y nuevos agentes terapéuticos en peces¹²⁵.

¹¹⁶ Zebrafish Information Network (<http://zfin.org>).

¹¹⁷ Zebrafish Genome Resources (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/guide/zebrafish/index.html>).

Zebrafish Gene Collection, ZGC (<http://zgc.nci.nih.gov>).

Trans-NIH Zebrafish Initiative (<http://www.nih.gov/science/models/zebrafish>).

WashU-Zebrafish Genome Resources Project (<http://zfish.wustl.edu>).

Zebrafish International Resource Center (http://zfin.org/zf_info/stckctr/stckctr.html).

Tübingen Zebrafish Mutants (<http://www.eb.tuebingen.mpg.de/dept3>).

Zebrafish Deletion Project (<http://www.ciwemb.edu/zdp.html>).

¹¹⁸ The Danio rerio Sequencing Project (http://www.sanger.ac.uk/Projects/D_rerio).

Zebrafish Genome Fingerprinting Project (<http://www.sanger.ac.uk/Projects/Drerio/mapping.shtml>).

Radiation Hybrid Database, RHdb (<http://www.ebi.ac.uk/RHdb>).

¹¹⁹ Zebrafish Full Length cDNAs

([http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&db=Nucleotide&filters=ON&term=Danio+AND+rerio+AND+MGC\[KYWD\]](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&db=Nucleotide&filters=ON&term=Danio+AND+rerio+AND+MGC[KYWD])).

Zebrafish SNPs (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=snp>).

¹²⁰ Wan, *et al.* (2002). Generation of a two-color transgenic zebrafish using the green and red fluorescent protein receptor genes, *gfp* and *rfp*. *Mar. Biotechnol* 4:146-154.

¹²¹ Taikong Group (http://www.azoo.com.tw/azoo_tw/taikong/eng).

¹²² Poss, K. D.; Wilson, L. G. & Keating, M. T. (2002). Heart Regeneration in Zebrafish. *Science* Dec 13. 298: 2188-2190.

¹²³ Briggs, J. P. (2002). The zebrafish: a new model organism for integrative physiology. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol* 282: R3-R9

¹²⁴ Transgenic zebra fish embryo model for hematopoiesis and lymphoproliferative disorders. US2003028909, WO0140273. Huc promoter of zebrafish controlling neuron-specific gene expression, method for construction of transgenic animal conferring fluorescence KR2002016986.

Transgenic zebrafish models for neurodegenerative disease US2002187921, WO02082043.

Zebrafish huc promoter capable of directing neuron-specific expression of structural genes, transgenic animal having huc promoter WO0218594.

¹²⁵ Homeobox gene from zebra fish. JP2000038400.

Según los expertos consultados, en España tan solo existe una empresa en Mallorca¹²⁶ que comercialice peces para experimentación, si bien su principal actividad es la cría de peces ornamentales. La importación de peces para experimentación es la opción elegida más frecuentemente por los centros de investigación, ya que aunque conlleva un elevado coste, garantiza las condiciones sanitarias y ambientales necesarias para la realización de los proyectos de investigación.

Las aplicaciones del pez cebrá como modelo experimental son fundamentalmente el estudio de la expresión génica mediante mutaciones puntuales o arbitrarias, el cribado de compuestos químicos o biológicos para la evaluación de su posible toxicidad, y el desarrollo de nuevos agentes terapéuticos¹²⁷.

Algunas de las aplicaciones del pez cebrá se han patentado como modelos modificados genéticamente para el estudio de enfermedades humanas congénitas, y cribado de nuevos agentes terapéuticos¹²⁸. Estos modelos son organismos transgénicos que están siendo utilizados en el estudio de enfermedades como la Anemia, Talasemia, Porfiria, malformaciones del corazón, y Diabetes.

Recientemente, un grupo de investigadores perteneciente a la Universidad Nacional de Singapur ha desarrollado un pez cebrá transgénico destinado a su uso como vacuna comestible contra la hepatitis B¹²⁹. Este pez transgénico produce en sus tejidos musculares una proteína inmunizante contra esta enfermedad, y ha de ser comido crudo ya que las proteínas se destruyen con las altas temperaturas de la cocción. Aunque no se han completado todavía los ensayos clínicos necesarios para su aprobación para el consumo humano, el empleo de peces transgénicos como vacunas humanas es una de las aplicaciones futuras más prometedoras.

En España, el Plan Nacional de I+D para el periodo 2000-2003 actualmente vigente contempla la manipulación genética para la generación de especies animales como sistemas de producción de sustancias de alto valor añadido, así como para su empleo como modelos en el estudio de enfermedades humanas¹³⁰. Varios centros de investigación españoles presentan en sus líneas de investigación el uso de pez cebrá como modelo animal¹³¹.

¹²⁶ Carpeix Pollensa.

¹²⁷ Briggs, J. P. (2002). The zebrafish: a new model organism for integrative physiology. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol* 282: R3-R9.

¹²⁸ Transgenic zebra fish embryo model for hematopoiesis and lymphoproliferative disorders. US2003028909, WO0140273. Huc promoter of zebrafish controlling neuron-specific gene expression, method for construction of transgenic animal conferring fluorescenc KR2002016986.

Transgenic zebrafish models for neurodegenerative disease US2002187921, WO02082043.

Zebrafish huc promoter capable of directing neuron-specific expression of structural genes, transgenic animal having huc promo WO0218594.

¹²⁹ Nacional University of Singapore, Fish Biology and Aquaculture (<http://www.dbs.nus.edu.sg/research/Fish%20bio/index.html>).

¹³⁰ Coll Morales, J. (2002). I Reunión de la Red Nacional sobre Biología Molecular de Peces. INIA Investigación y Desarrollo n2, 12-15.

¹³¹ Universidad de Málaga Dpto. de Biología Celular y Genética (<http://webdeptos.uma.es/biodel>).

Universidad de La Coruña Dpto. de Biología Celular e Molecular (<http://www.udc.es/dep/bm>).

Instituto Cajal (CSIC) Dpto. de Neurobiología del Desarrollo (<http://www.cajal.csic.es/departam/depneurob/ttnb2/resare.htm>).

Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (<http://www.irta.es/esp/index.html>).

Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria (<http://www.ucm.es/info/webvet>).

Universidad de Lleida. Dpto. de Ciencias Médicas Básicas (<http://www.udl.es/dept/cmb>).

Universidad de Barcelona. Facultad de Biología. Dpto. Genética (<http://www.ub.es/genet/departament/welcome.html>).

Universidad Miguel Hernández. Instituto de Biología Molecular y Celular (<http://cbmc.umh.es>).

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Dpto. de Biotecnología <http://www.inia.es>

4.6. Células madre

Una de las estrategias más prometedoras en el desarrollo de peces transgénicos es el desarrollo de la tecnología de **células madre embrionarias**. Estas células provienen de un grupo de células procedentes de un estadio temprano del embrión, y poseen la capacidad de autoregenerarse y de diferenciarse en muchos tipos celulares¹³².

Las células madre embrionarias se extraen del embrión del pez para poder manipularlas *in vitro* e introducir el transgen en su genoma. Posteriormente, se reintroducen estas células en otros embriones que se encuentran en etapas tempranas de su desarrollo, o bien se realiza una extracción y reimplantación de su núcleo en las células embrionarias. Las células madre pasan a formar parte de los distintos linajes celulares que darán lugar a los tejidos, entre ellos a la línea germinal.

Hasta el momento, los peces transgénicos se han producido por medio de la inserción de un transgen directamente en el genoma de los embriones. Como resultado se obtienen a menudo peces con un alto grado de mosaicismo¹³³, es

decir, la integración del transgen en el genoma no ha ocurrido en todas las células del embrión y, por lo tanto, solo una parte de las células del adulto portan el transgen, siendo necesario llegar a la 2ª generación para obtener peces en todas sus células transgénicas. El empleo de células madre podría permitir una mejor integración del transgen en comparación con las técnicas de transgénesis descritas anteriormente, si bien está aún por demostrar. La principal limitación técnica de esta tecnología se encuentra precisamente en la disponibilidad de este tipo de células, ya que en pez cebrá, principal especie con la que se ha investigado esta técnica, tan solo se ha conseguido mantener vivas las células madre por un corto periodo de tiempo. Esto es debido a que todavía no se ha conseguido inhibir la diferenciación espontánea de estas células, lo que sí se ha conseguido en ratón¹³⁴.

En la actualidad se están llevando a cabo proyectos de investigación en células madre embrionarias de pez cebrá¹³⁵, medaka¹³⁶, y dorada¹³⁷, este último por el departamento de Genética de la Universidad de Málaga¹³⁸. La lubina japonesa¹³⁹ y otras especies de menor distribución geográfica también están siendo sometidas a diversos estudios en este campo.

APLICACIONES DEL USO DE CÉLULAS MADRE EMBRIONARIAS

- Vectores de transferencia de ADN foráneo en la línea germinal de peces.
- Sistemas experimentales para estudios *in vitro* de determinación y diferenciación celular durante el desarrollo embrionario de peces.

¹³² Prosper, F. (2002). Células madre adultas. Congreso Nacional de Bioética, "Estado actual de la investigación y ética en Células Madre". Canarias.

¹³³ Mosaicismo: presencia de células con y sin el transgen en un individuo modificado genéticamente.

¹³⁴ Melamed, M., *et al.* (2002). The potential impact of modern biotechnology on fish aquaculture. *Aquaculture* 204, 255-269.

¹³⁵ Raz, E. (2002) Primordial germ cell development in zebra fish. *Cell & Developmental Biology*. Vol.13,2002: pp. 489-495.

¹³⁶ Wakamatsu, Y., *et al.* (2001). Fertile and diploid nuclear transplants derived from embryonic cells of a small laboratory fish, medaka (*Oryzias latipes*). *Proc Natl Acad Sci U S A*. Jan 30;98(3):1071-1076.

¹³⁷ Bejar, J.; Hong, Y.; Alvarez, MC. (2002). An ES-like cell line from the marine fish *Sparus aurata*: characterization and chimaera production. *Transgenic Res*. Jun;11(3):279-89.

¹³⁸ M. Carmen Álvarez. Grupo de Genética de Peces Marinos. Dpto. de Genética de la Universidad de Málaga (<http://webdeptos.uma.es/genetica>).

¹³⁹ Chen, S. L., *et al.* (2003). Establishment of a pluripotent embryonic cell line from sea perch (*Lateolabrax japonicus*) embryos. *Aquaculture* 218, 141-151.

4.7. Clonación reproductiva de peces

Las células embrionarias, o incluso las células adultas o somáticas, ofrecen la posibilidad de producir peces clónicos con determinadas modificaciones en su genoma que sean de interés en acuicultura.

MÉTODOS DE CLONACIÓN REPRODUCTIVA

- **Disgregación de Embriones**

Se basa en el mismo principio por el que nacen gemelos de forma natural. Se pueden separar las células de un embrión en diferentes estados de desarrollo, desde el estado de 2 células hasta el estado de mórula. Cada célula separada puede funcionar como un cigoto que puede desarrollarse para dar un individuo completo. El número de disgregaciones es limitado.

- **Transferencia Nuclear**

Procedimiento mediante el cual se transfiere el núcleo de una célula somática, a un ovocito al que se le ha quitado su propio núcleo. Es el método más empleado en la clonación de animales (ej. oveja Dolly). La célula somática o adulta puede provenir de un pez seleccionado por poseer características valiosas, de un pez transgénico o pueden ser modificados genéticamente en cultivo.

La transferencia nuclear es la técnica empleada con mayor frecuencia en la obtención de peces clónicos. Hasta el momento se ha conseguido desarrollar pez cebra¹⁴⁰ y medaka¹⁴¹ clónicos por medio de transferencia nuclear, en los cuales se insertó el gen codificante de la proteína verde fluorescente (GFP). Aunque esta técnica se encuentra todavía en sus comienzos, posee un elevado potencial en acuicultura, ya que no sólo permitiría la inserción de genes codificantes para proteínas de interés, sino que además evitaría la etapa de selección y cría de reproductores, dando lugar a múltiples peces idénticos.

¹⁴⁰ Lee, K-Y., *et al.* (2002). Cloned zebrafish by nuclear transfer from long-term-cultured cells. *Nature Biotechnology*. August Volume 20 Number 8 pp 795-799.

¹⁴¹ Wakamatsu, Y., *et al.* (2001). Fertile and diploid nuclear transplants derived from embryonic cells of a small laboratory fish, medaka *Oryzias latipes*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98, 1071-1076.

4.8. Producción de proteínas

La ingeniería genética, por medio de la tecnología de ADN recombinante permite la clonación de genes y la producción de la proteína que codifican en células, plantas y seres vivos (proteínas recombinantes). Algunas proteínas procedentes de especies piscícolas poseen propiedades diferentes a las proteínas de los mamíferos. Esto es debido a que los peces están adaptados a vivir en el medio acuático, donde además la disponibilidad de oxígeno se encuentra limitada. La producción de estas proteínas permite una serie de aplicaciones que van desde el procesamiento de alimentos, técnicas moleculares, medicina y acuicultura. Las proteínas de peces que han sido obtenidas por este método son principalmente enzimas, proteínas anticongelantes, hormonas y otras proteínas de interés.

La producción de **proteínas anticongelantes recombinantes** tiene una importante aplicación para la agricultura y procesamiento de alimentos en la industria alimentaria. La expresión de este tipo de proteínas en plantas transgénicas ha demostrado que confiere una mayor resistencia de estos cultivos a las heladas, y ha sido ya empleada en zonas con climas muy fríos. Otra de las aplicaciones comerciales de las proteínas anticongelantes es su expresión en frutas y vegetales para preservarlos en congelación sin que sufran efectos secundarios¹⁴².

La producción de enzimas recombinantes de peces como las **transglutaminasas**¹⁴³ y **proteasas resistentes a bajas temperaturas** tienen un campo de aplicación prometedor, en concreto en cuanto a su aplicación en la industria de procesamiento de alimentos.

Cierto tipo de proteínas de peces son utilizados como agentes terapéuticos en humanos, este es el caso de la **protamina** y la **calcitonina**, y por tanto es interesante la aplicación de técnicas de ingeniería genética para la producción de proteínas recombinantes con fines terapéuticos¹⁴⁴.

La producción de proteínas recombinantes de peces también tiene una aplicación directa en la acuicultura, como puede ser la clonación y expresión *in vitro* de **péptidos antimicrobianos o defensinas**. En concreto, la *pleurocidina*, un péptido procedente de la piel de la platija americana, es el que mejor se ha caracterizado hasta el momento, habiendo demostrado capacidad de protección frente a ciertas vibriosis en salmónidos. En España, el Instituto de Biología Molecular y Celular de la Universidad Miguel Hernández, en colaboración con el INIA, está realizando estudios respecto a la producción de estos péptidos recombinantes mediante vectores de origen piscícola¹⁴⁵. Estos mismos grupos, junto con el Instituto de Acuicultura Torre de la Sal y la Universidad de Southampton, están desarrollando un proyecto en el cual se estudia la utilización de peces como biofactorías para la producción de defensinas humanas¹⁴⁶.

¹⁴² Cold tolerances in plants. US2003022371, US5972679, US5852172, WO9222581. Method of improving plant growth. US6475257.

Ice crystal growth suppression polypeptides and method of making. US5118792.

¹⁴³ Gene encoding transglutaminase derived from fish. US5514573, US5607849. Fish-derived transglutaminase gene. JP6225775, JP7023787.

¹⁴⁴ Stable injectable protamine-active compositions. GB1033736.

Stable injectable protamine-active solutions. GB1033378.

Salmon protamine oral liquor and its prepn. Method. CN1126077.

Transcriptional control factor gene of fish protamine gene. JP7107978.

Fish calcitonin derivative, process for its preparation, and gene system therefor. WO8601226.

Fish calcitonin derivative and production thereof. JP61291598.

Preparation of salmon calcitonin by genetic engineering, and means for carrying out this process. IE872531L.

Genetic engineering method to produce salmon calcitonin, and means to carry out this method. EP0261552.

Method and means for preparing salmon calcitonin by gene engineering. JP63098391.

¹⁴⁵ Brocal, I.; Falcó, A.; Pérez, L.; Coll, J.; Estepa, A. (2003). Péptidos antimicrobianos en acuicultura: clonaje y expresión *in vitro* de la pleurocidina utilizando un vector regulado por secuencias de pez ("all fish vector") Instituto de Biología molecular y celular, Universidad Miguel Hernández/ INIA. IX Congreso Nacional de Acuicultura, Cádiz, Mayo 2003. Libro de Resúmenes.

¹⁴⁶ Peces como biofactorías para la producción de defensinas humanas (CPE03-016-C4). <http://www.inia.es> (Redes temáticas: Fish Biofactory Network).

PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS RECOMBINANTES PROCEDENTES DE ESPECIES PISCÍCOLAS

Tipo de proteína	Nombre de la proteína	Especies piscícolas	Especie de expresión	Propiedades	Aplicaciones
Enzimas	Transglutaminasa	Dorada	E. coli	Participa en el entrecruzamiento de las fibras de miosina.	Mantenimiento de la viscoelasticidad de productos de la pesca.
	Tripsina	Salmón Bacalao	E. coli	Proteasa.	Tratamientos proteolíticos en industria alimentaria.
Proteínas anticongelantes	AFP (Antifreeze protein)	Lenguado	E. coli Levaduras Planta del tabaco Drosophila	Mecanismo de defensa contra la congelación.	Reducción de la tasa de formación de cristales de hielo en la industria alimentaria ¹⁴⁷ .
Hormonas	Hormona de crecimiento (GH)	Salmón Trucha anguila Tilapia Lenguado Carpa dorada Lubina	E. coli baculovirus	Regulación del crecimiento y metabolismo.	Cultivos piscícolas.
	Calcitonina	Salmón	E. coli	Fijación del calcio.	Marcador tumoral y de otras enfermedades, analgésico, terapia antiosteoporosis.
	Factor de crecimiento similar a la insulina tipo II	Trucha	E. coli	Regulación del crecimiento y metabolismo.	Cultivos piscícolas.
Otros	Proteína verde fluorescente (GFP)	Medusa	Pez cebra	Bioluminiscencia.	Estudio de desarrollo de peces usando como modelo el pez cebra transgénico.
	Inhibidores de proteasas	Carpa Salmón	E. coli	Inhibición de proteasas.	Contrarrestar la actividad proteolítica en productos alimentarios.
	Protamina	Salmón Trucha Medaka	Células tumorales HeLa	Hidrólisis de proteínas.	Inhibición de la angiogénesis, inflamación, reacciones inmunes, y crecimiento de tumores.

Tabla 14. Clonación de proteínas procedentes de especies piscícolas (Fuente: elaboración propia, tomado de: Macouzet, M.; Benjamín, K. S.; Lee, B. H. (1999). Cloning of fish enzymes and other fish protein. Critical reviews in Biotechnology. 19(3):179-196).

¹⁴⁷ Ice crystal growth suppression polypeptides and method of making. US5118792.

Antifreeze polypeptide-expressing microorganisms useful in fermentation and freezing of foods. US5676985.

4.9. Tecnología de la PCR

La tecnología de la **PCR**¹⁴⁸ o Reacción en Cadena de la Polimerasa tiene por objetivo amplificar o aumentar la cantidad de ADN de interés.

Se basa en la capacidad de amplificar secuencias específicas de interés, a partir de ácidos nucleicos presentes en muestras biológicas. Las prácticas de acuicultura se sirven de esta técnica como herramienta esencial en campos tales como la trazabilidad de alimentos, el diagnóstico molecular de patógenos en cultivos de especies piscícolas, y la identificación de especies de peces como método de control de posibles fraudes en alimentos procesados.

a) Aplicación de la PCR en el control de la higiene y calidad del alimento

Las técnicas de diagnóstico molecular como la PCR han permitido desarrollar nuevas aplicaciones en la detección de agentes patógenos y evaluación del estado sanitario de los peces.

La detección temprana de algunas patologías puede ser difícil mientras la carga patogénica es baja y los síntomas de la enfermedad no son evidentes. Sin embargo, la técnica de la PCR, utilizando sondas que contienen pequeños fragmentos de ADN específicos de los agentes patógenos en cuestión, permiten amplificar e identificar el ADN del patógeno, incluso en estudios muy tempranos de la infección. En la última década se han desarrollado Kits de ADN para la detección de varios virus, bacterias y parásitos (tabla 15), incluyendo los agentes causantes de Necrosis Hematopoyética Infecciosa (IHN), Septicemia Viral Hemorrágica (VHS), Enfermedad Bacteriana del Riñón (BKD) y Vibrios entre otros. Para consultar las bases técnicas de funcionamiento de la PCR se ruega consultar el Informe de Vigilancia Tecnológica sobre Tecnologías Moleculares de Trazabilidad Alimentaria¹⁴⁹.

ENSAYOS DE PCR PARA LA DETECCIÓN DE PATÓGENOS EN PECES

	Agente	Tipo de ensayo	Gen amplificado
Virus	ISA	RT-PCR	Segmento 8 genómico
	VHS	RT-PCR	Gen N
		RT-PCR	Gen G
	VER	NESTED-RT-PCR	Proteína de la envuelta
	IPN	RT-PCR	Gen VP3
	IPN	RT-PCR	Gen VP2
	IHN	RT-PCR	Gen N
	CC	PCR	Fragmento ADN genómico
	SD	RT-PCR	Glicoproteína E2

(Continúa en pág. sig.)

¹⁴⁸ PCR = Polymerase Chain Reaction.

¹⁴⁹ López, M.; Mallorquín, P.; Vega, M. (2003). Tecnologías Moleculares de Trazabilidad Alimentaria. Informe de Vigilancia Tecnológica. CIBT-FGUAM/Genoma España.

ENSAYOS DE PCR PARA LA DETECCIÓN DE PATÓGENOS EN PECES (Continuación)

	Agente	Tipo de ensayo	Gen amplificado
Bacterias	R. salmoninarum	NESTED RT-PCR	ARNr 16S
		PCR	Antígeno p57
		NESTED RT-PCR	ARNr antígeno p57
		PCR	Antígeno p57
	L. garvieae	PCR	ARNr 16S
		PCR	Dihidropteroatosintasa (enzima metabólica)
	S. iniae	PCR	ARNr 16S
	Y. ruckeri	PCR	ARNr 16S
		PCR	"quorum sensing" ¹⁵⁰
	A. salmonicida	PCR	Proteína de la envuelta
		PCR	ARNr16S
	A. hydrophila	PCR	Hemolisina
	F. psychrophilum	PCR	ARNr 16S
		PCR	ARNr 16S
		NESTED-PCR	ARNr 16S
	P. damsela	PCR	ARNr 16S
	subsp. damsela	PCR	Gen ureC
	P. salmonis ¹⁵¹	NESTED-PCR	ARNr 16S
	V. vulnificus	PCR	Hemolisina
	V. anguillarum	PCR	Hemolisina
P. anguilliseptica	PCR	ARNr 16S	
C. shasta	PCR	ARNr 18S	
Parásitos	M. seriolae y relacionados	PCR	ARNr 18S
	M. cerebralis	PCR	ARNr 18S
	Tetracapsula bryosalmonae	PCR	ARNr 18S

ISA: anemia infecciosa del salmón; **VHS:** septicemia hemorrágica vírica; **VER:** retinopatía y encefalopatía vírica; **IPN:** necrosis pancreática infecciosa; **IHN:** necrosis hemorrágica infecciosa; **CC:** viremia del pez gato; **SD:** enfermedad del sueño.

Tabla 15. Ensayos de PCR para la detección de patógenos en peces (Fuente: Gibello, A.; Blanco, M.; Lucas Domínguez y José F. Fernández-Garayzabal. Utilización de la PCR para el diagnóstico en Ictiopatología. AquaTIC 15, nov. 2001).

¹⁵⁰ Quorum sensing: proceso mediante el cual los microorganismos procariontes se comunican entre ellos por medio de la producción de una molécula señal, o autoinductor, que se libera al medio donde se acumula.

¹⁵¹ Recientemente, en España, un equipo de investigadores liderados por la Fundación Ciencia para la Vida ha definido las secuencias genéticas que caracterizan a la bacteria *Piscirickettsia salmonis*, agente causal de la enfermedad Síndrome Rickettsial del Salmón, SRS, lo que permitirá desarrollar una serie de herramientas para el diagnóstico y prevención de esta grave enfermedad.

Los organismos acuáticos cultivados pueden verse afectados por una amplia variedad de patógenos que incluyen virus, bacterias y parásitos. Según los expertos consultados, la monitorización clínica de las especies piscícolas suele realizarse mediante medios histopatológicos y cultivos microbiológicos. Las empresas de acuicultura generalmente externalizan este servicio a centros de investigación especializados en este campo, como son en España la Universidad Autónoma de Barcelona, la Universidad de Murcia, la Universidad de Santiago de Compostela, y la Universidad Complutense de Madrid. Algunas empresas dedicadas en su mayoría a la comercialización de piensos para acuicultura, ofrecen a su vez un servicio complementario de monitorización clínica. Por otra parte, el control de algunos organismos ictiopatógenos resulta de enorme interés ya que también causan importantes enfermedades en humanos. Dentro de los microorganismos patógenos de peces implicados en zoonosis de transmisión alimentaria se incluyen principalmente bacterias como el *Vibrio vulnificus* y diversos parásitos como los nematodos del tipo *Anisakis spp.* Los microorganismos ictiopatógenos implicados en zoonosis por contacto se limitan a *Streptococcus iniae* y a diversas especies del género *Mycobacterium*, entre las que cabe mencionar *M. marinum* y *M. fortuitum*. Existen otros patógenos de peces que también producen infecciones en humanos, pero cuya implicación en zoonosis no ha sido demostrada, como es el caso de *Lactococcus garvieae*¹⁵².

b) Trazabilidad

Las técnicas de PCR son empleadas en la **identificación de especies** piscícolas en caso de posible fraude, principalmente en alimentos procesados, donde existe la posibilidad de sustituir el contenido por especies de menor valor. Sin embargo, en el caso de la acuicultura, esta aplicación no está tan desarrollada como en la pesca de captura, donde la dificultad de identificar las especies capturadas requiere del empleo de técnicas moleculares diversas¹⁵³.

El empleo de **harinas de origen animal** es actualmente uno de los campos en los cuales la trazabilidad mediante técnicas moleculares puede suponer un nuevo campo de aplicación. La FSA (Food Standards Agency), concluyó en mayo de 2001 que la harina de pescado es segura para utilizar como alimento para animales, incluyendo peces, y que no existe un riesgo significativo de contaminación con la harina de carne y huesos. Esto es debido a que las especies piscícolas que se utilizan para la elaboración de harinas de pescado, que posteriormente son utilizadas en la alimentación animal, en ningún caso proceden de las mismas especies a las que se destina como alimento.

En mayo del presente año entró en vigor la norma de los subproductos animales no destinados al consumo humano, que permitirá la prohibición por parte de cada Estado Miembro de la utilización de harinas y aceites de pescado en la alimentación de especies piscícolas¹⁵⁴. El Reglamento europeo contempla la posibilidad de que cada Estado miembro pueda solicitar una excepción con carácter permanente de parte de su cumplimiento, como por ejemplo permitir la alimentación de especies acuícolas con harinas de pescado, bajo estrictas condiciones dependientes de la especie piscícola y su estado de desarrollo. Esta última posibilidad está siendo actualmente debatida por parte de las agrupaciones de Fabricantes de Alimentos Compuestos para Animales y la comunidad científica¹⁵⁵. Esta excepción no evitará que hayan de realizarse los controles oportunos del origen de las harinas de pescado destinadas al engorde de especies piscícolas.

¹⁵² Dra. Alicia Gibello, Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid (mediante comunicación personal).

¹⁵³ López, M.; Mallorquín, P.; Vega, M. (2003). Tecnologías Moleculares de Trazabilidad Alimentaria. Informe de Vigilancia Tecnológica. CIBT-FGUAM/Genoma España.

¹⁵⁴ Reglamento (CE) no 808/2003 de la Comisión, de 12 de mayo de 2003, por el que se modifica el Reglamento (CE) nº1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.
http://www.europa.eu.int/eur-lex/es/archive/2003/l_11720030513es.html

¹⁵⁵ Advisory Committee on Animal Feedingstuff (ACAF),
<http://www.foodstandards.gov.uk/science/ouradvisors/animalfeedingstuffs/papers/fishmealacaf.html>

4.10. Técnicas de control del sexo

En varias especies de peces los animales de un sexo poseen mejores características productivas que aquellos del otro sexo¹⁵⁶, como son un crecimiento más acelerado o maduración tardía. El control del sexo en organismos piscícolas puede conseguirse mediante la **inversión sexual** por medio de métodos endocrinos, **manipulación de complementos cromosómicos** (Ginogénesis, Androgénesis y Poliploidización) o la combinación de **ambas técnicas**.

TÉCNICAS DE CONTROL DEL SEXO

- **Métodos endocrinos.** Administración de compuestos androgénicos o estrogénicos¹⁵⁷ durante las primeras etapas de desarrollo, permitiendo dirigir la diferenciación sexual de los peces hacia el sexo deseado. Se suelen emplear en combinación con las técnicas siguientes.
- **Ginogénesis y Androgénesis.** Producción de organismos que contienen información únicamente de unos de los progenitores. Con esto se facilitaría la obtención de gametos monosexo, de utilidad para el control de la reproducción y del sexo de la progenie.
- **Poliploidización.** Obtención de organismos con múltiples juegos cromosómicos. Sus principales ventajas es que pueden retrasar la maduración sexual y producir esterilidad, lo que podría minimizar el riesgo ambiental en caso de fuga.

Para controlar la reproducción de los peces se recurre principalmente al cultivo de individuos **monosexo**, es decir, sólo hembras o machos. En algunas especies, uno de los sexos presenta un crecimiento mayor que el otro, como por ejemplo las hembras de los peces planos, como el rodaballo, o los machos de los salmónidos, los cuales maduran en promedio un año antes que las hembras. Por otra parte, el cultivo monosexo evita la reproducción de las especies piscícolas cultivadas, controlando el momento de la fase de reproducción.

En ciertas especies es posible usar estas hormonas sexuales para invertir el sexo de peces produciendo gametos monosexo, los cuales dan lugar a una descendencia dirigida sexualmente. Un ejemplo de esta técnica es el uso de **neo-machos**, machos productores de semen que contienen únicamente cromosomas generadores de hembras¹⁵⁸. En combinación con los métodos endocrinos se suelen realizar manipulaciones cromosómicas, como la poliploidía, que da lugar a la producción de superpeces, generalmente triploides o cuatriploides, o la ginogénesis o androgénesis, que produce peces con un sexo predeterminado.

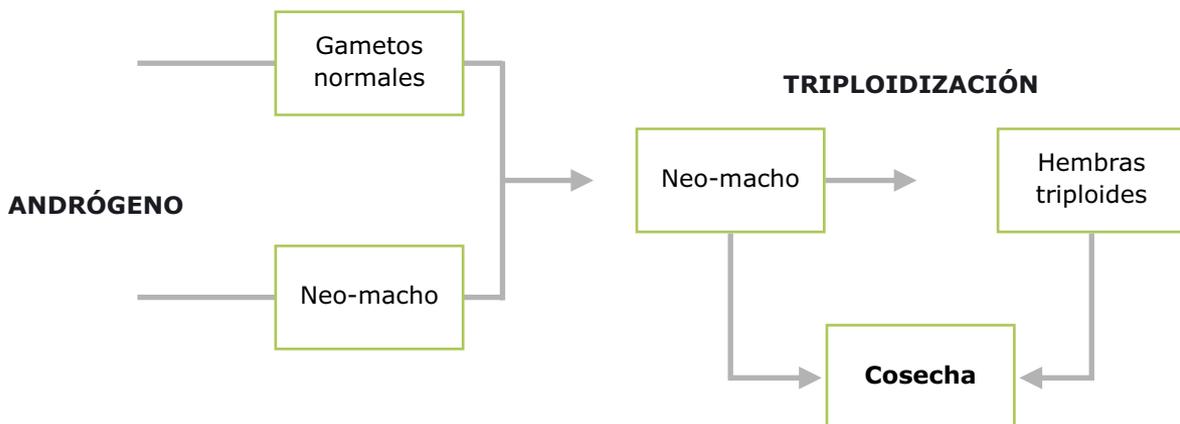


Fig. 9. Procedimiento más frecuente en el desarrollo de cultivos monosexo hembra (Fuente: elaboración propia).

¹⁵⁶ Igor I. Solar. Biotecnología Aplicada a la Acuicultura. Aqunoticias, 6-10. Dic. 2001-Ene. 2002.

¹⁵⁷ Andrógenos y Estrógenos: hormonas sexuales responsables de los caracteres sexuales masculinos y femeninos respectivamente.

¹⁵⁸ Técnica actualmente en uso en Chile para la producción de poblaciones hembra en truchas y en salmón del Atlántico.

El cultivo del salmón es un ejemplo de especie en la cual se ha desarrollado en mayor medida la poliploidía cuyo objetivo es dotar de un mayor número de cromosomas a las células, y por tanto de mecanismos genéticos para adaptarse mejor al medio. No obstante, no parece que estas técnicas tengan una aplicación directa en las especies que se están produciendo en España, puesto que todavía existe poca experiencia¹⁵⁹. En la actualidad se están desarrollando proyectos de investigación sobre la utilización de la manipulación cromosómica en la mejora del rodaballo¹⁶⁰.

Las investigaciones recientes se centrarán en el uso de probióticos como herramientas para incrementar la respuesta inmune de los organismos frente a la presencia de patógenos. En peces y crustáceos se han utilizado bacterias de los géneros *Vibrio* y *Bacillus*, ya que sus paredes celulares presentan compuestos de naturaleza inmunoestimulante.

La **manipulación genética de cepas probióticas** constituirá una herramienta para futuras investigaciones que involucren el estudio de enzimas o sustancias inmunomoduladoras que sean capaces de prevenir infecciones virales.

4.11. Probióticos

En acuicultura, el término probiótico se define como un suplemento microbiano formado por un cultivo simple o mixto de microorganismos seleccionados que son adicionados con el propósito de manipular las comunidades microbianas presentes en los sistemas de producción.

PRINCIPALES PROBIÓTICOS COMO AGENTES DE CONTROL DE INFECCIONES VÍRICAS EN ACUICULTURA

Probiótico	Pez hospedador	Patógeno
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	cepa AH2 <i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>A. salmonicida</i>
<i>Carnobacterium</i> sp.	<i>Salmo salar</i> L.	<i>A. salmonicida</i> <i>V. ordalii</i> <i>Y. ruckeri</i>

Tabla 16. Principales probióticos como agentes de control de infecciones víricas en acuicultura (Fuente: Balcázar, J.L. Uso de probióticos en acuicultura: Aspectos generales. CIVA 2002, 877-881; <http://www.civa2002.org>).

¹⁵⁹ Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.

¹⁶⁰ Crecimiento y desarrollo gonadal comparado de rodaballos diploides y triploides, y producción de poblaciones todo-hembras estériles. Universidad de Santiago de Compostela/Instituto Español de Oceanografía. Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Marinas (CYTMAR) 2000-2001.

5. Especies piscícolas cultivadas en territorio español

5.1. Dorada

Prácticamente la mitad de la producción española de dorada se cultiva en el sur de la Península, fundamentalmente en la Comunidad autónoma de Andalucía. El resto, se encuentra repartida por la costa mediterránea e Islas Canarias, ya que estas regiones presentan aguas con temperaturas óptimas para el engorde de dorada y lubina. La producción anual nacional durante el año 1999 se cifró en 6.117 toneladas¹⁶¹.

El mercado Español de doradas exporta principalmente a países mediterráneos, concretamente a Portugal, Italia, Francia y Grecia, y en un futuro podría extender este negocio a países del norte de África y Centroeuropa. Aunque estas exportaciones no tienen un volumen importante, y están reducidas a la venta y distribución de alevines destinados a empresas de engorde. Por otra parte, Grecia es actualmente el principal país competidor exportador de dorada, e incluso se ha posicionado con fuerza en el mercado español, con unos precios muy por debajo a los de la dorada nacional. Esta situación no parece que vaya a mejorar, ya que otros países de la costa mediterránea, como Italia y Turquía, están comenzando a despuntar en este tipo de mercado.

5.2. Lubina y besugo

En España tan solo Galicia posee instalaciones en las cuales se está llevando a cabo el cultivo del besugo, que junto con la lubina, constituyen dos de las especies más valoradas por el consumidor. Sin embargo, en el caso de la lubina, tan solo se llega a una producción anual de 1.200 toneladas, mientras que en el caso del besugo, esta cantidad es incluso menor¹⁶².

Debido a esta baja producción, no es posible extraer conclusiones concluyentes en relación con los problemas asociados a su cultivo. La producción de lubina generalmente está asociada a la de dorada, por lo que actualmente se está intentando trasladar los conocimientos derivados del cultivo de esta especie al cultivo de lubina. Si embargo, ésta es una especie mucho menos manejable que la dorada, y con una mortandad más elevada, por lo que no se están consiguiendo los resultados esperados.

¹⁶¹ Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.

¹⁶² Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.

5.3. Salmón

El salmón se encuentra principalmente en aguas frías del hemisferio norte, siendo su límite sur la costa cantábrica española.

En Europa sólo existen dos especies de salmón, y en España concretamente una, el *Salmo salar*, mientras que en el Pacífico hay una gran variedad de especies.

El cultivo del salmón se ciñe prácticamente a Galicia, concretamente en las Rías Altas, y algunas zonas de sus alrededores, siendo a su vez estas zonas las principales consumidoras, con pequeñas exportaciones a Portugal. Aunque hace años se crearon importantes expectativas en relación al cultivo del salmón, la producción de las granjas que todavía permanecen activas es mínima, con una producción nacional de alrededor de 600 toneladas¹⁶³. Esta situación es debida a que la producción española de salmón se encuentra limitada por su distribución geográfica, por lo que la producción total no es suficiente para competir con otros países con climatología más adecuada.

España recurre a Noruega como principal país importador, el cual satisface la demanda española casi en su totalidad. En los últimos años otros países europeos están ofertando salmón cultivado a precios competitivos, como son Escocia y Dinamarca, mientras que Chile está cada vez más presente en el mercado español.

5.4. Rodaballo

Una de las especies de peces marinos más apreciadas por los consumidores es el rodaballo, *Scophthalmus maximus*, especie de pez plano cuya distribución geográfica es muy extensa tanto en el Mediterráneo como en el Atlántico.

Según datos de la FAO, el 69,6 % del rodaballo cultivado en el mundo durante el año 1999 procedía de España, con una producción anual del orden de 2.800 toneladas. Esta producción abastece actualmente a las necesidades nacionales y locales, sufriendo en los últimos años un notable incremento debido a la escasez de capturas de rodaballos silvestres¹⁶⁴. Actualmente no existe una competencia real que pueda amenazar el mercado del cultivo del rodaballo en España.

En España su cultivo se desarrolla mayoritariamente en Galicia y en parte de Cantabria. Las empresas de cultivo de rodaballo más destacadas se encuentran en Galicia, y están agrupadas en la Asociación de Productores de Rodaballo Gallego (AROGA)¹⁶⁵. Estas empresas están apostando por el cultivo del rodaballo con fuertes inversiones que pretenden multiplicar la producción de esta especie cultivada en pocos años¹⁶⁶.

Al igual que ocurre con el cultivos de otras especies piscícolas, existen limitantes que afectan al cultivo de rodaballo en España. Uno de ellos es la escasa renovación genética de los progenitores, mientras que el otro se centra en la mortalidad debida a patologías específicas del rodaballo y que todavía no se han controlado.

¹⁶³ Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.

¹⁶⁴ Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.
Pellitero, P. A.; Pelnzuela, O.; Bobadilla, A. S. (2003). Parásitos del rodaballo: Un nuevo reto para su cultivo. BioPress.net 6 Enero.

¹⁶⁵ Aroga, la Asociación de Productores de Rodaballo Gallego: Acuidoro, S.L., Aquacria Arousa, S.L., Insuamar, S.L., Insuifia, S.L., Luso Hispana de Acuicultura, S.L., Martesanal, S.L., Piscícola del Morrazo, S.A., Stolt Sea Farm, S.A.

¹⁶⁶ MisPeces.com, Noticia 13 mayo 2003 <http://www.mispeces.com>

5.5. Atún rojo

El cultivo de túnidos, concretamente del atún rojo, *Thunnus thynnus*, ha sufrido un importante despegue en España. En la Comunidad de Murcia es donde se concentra casi todo el cultivo de atún rojo que se realiza en España, con algunas instalaciones localizadas en Ceuta y Cádiz. Se ha pasado de una producción total en 1996, de 76,8 toneladas, a 3.346 en 1999¹⁶⁷, y 8.000 toneladas en el año 2001, lo que supone un 40% de la producción total mundial, y el primer puesto como país productor de atún rojo¹⁶⁸.

Esta especie se considera uno de los pescados más apreciados en Japón, por lo que este país es el principal destino de las exportaciones españolas de atún rojo. Alrededor del 96% del atún engrasado procedente de las granjas murcianas es exportado directamente a Japón o EEUU¹⁶⁹. Sin embargo, el cultivo del atún rojo se trata en realidad de un semicultivo, ya que requiere de la captura de ejemplares jóvenes, que posteriormente son engordados mediante un proceso denominado "engrasamiento". El 70% de los atunes que llegan a las granjas españolas son capturados por la flota pesquera francesa¹⁷⁰. En la actualidad existen dudas sobre la sostenibilidad del cultivo del atún, debido principalmente a la necesidad de captura previa de individuos silvestres y por sus altas tasas de alimentación.

Para conseguir el cultivo intensivo del atún a partir de alevines es necesario avanzar en los conocimientos biológicos y nutricionales de esta especie. Recientemente ha sido autorizada la puesta en marcha de dos nuevas granjas de cultivo de atún en Tarragona¹⁷¹.

5.6. Lengado

El cultivo de lengado, tanto de *Solea senegalensis* como de *Solea solea*, ha sido considerado uno de los tipos de cultivo más prometedores en los últimos años para la acuicultura española. Sin embargo, aunque los niveles de reproducción son elevados, y existe un potencial mercado en la actualidad, el desarrollo práctico del cultivo de estas especies se ve limitado en gran medida por diversas patologías que aún no se han podido controlar. Entre las enfermedades más destacadas podemos mencionar la pasteurelosis, flexibacteriosis e infecciones por vibrios. Por otra parte, la inestabilidad de la fase de alevinaje supone un problema añadido en el cultivo del lengado, ya que la mortalidad y los problemas de alimentación son frecuentes en las primeras fases larvares y durante el inicio de la alimentación con piensos.

Una particularidad del lengado frente a otras especies piscícolas de interés en acuicultura, es su mayor sensibilidad al estrés, y la mayor dificultad de alimentación y engorde con piensos adecuados. La primera de ellas es la responsable de cambios súbitos en el apetito, por lo que la administración de fármacos o vacunas orales en situaciones adversas resulta muy difícil¹⁷².

¹⁶⁷ Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.

¹⁶⁸ Vigoempresa.com, Reportaje diciembre 2001 (<http://www.vigoempresa.com/html/reportajes/024.html>).

¹⁶⁹ MisPeces.com, Reportaje febrero 2002, Primer Simposio Internacional domesticación de thunnus thynnus, Dott (<http://www.mispecies.com>).

¹⁷⁰ MisPeces.com, Reportaje febrero 2002, (<http://www.mispecies.com>).

¹⁷¹ MisPeces.com, Noticias marzo 2003.

¹⁷² Padrós, F.; Zarza, C.; Estévez, A.; Crespo, S.; Furones, M. D. (2003). La patología como factor limitante para el desarrollo del cultivo del lengado. Servicio de Diagnostico Patológico en Peces, Facultad de veterinaria, Universidad Autónoma de Barcelona/IRTA. IX Congreso Nacional de Acuicultura, Cádiz, Mayo 2003. Libro de Resúmenes.

En cuanto a la investigación española referente al cultivo del lenguado, el Plan Nacional para el Cultivo del Lenguado, coordinado por la Consejería andaluza con la participación de las Comunidades Autónomas de Cataluña, Galicia, Cantabria y Murcia, financia la mayoría de los proyectos que se desarrollan en el periodo 2002-2004. Entre los centros españoles que actualmente desarrollan proyectos de investigación relacionados con el cultivo del lenguado podemos mencionar a CICEM "El Toruño", Instituto Español de Oceanografía (IEO) de Vigo y Santander, el IRTA de la Generalitat de Cataluña, el Centro de Recursos Marinos de Murcia, o la Universidad de Málaga (ver ANEXO I para ampliar la información). Por otra parte, y como resultado de la convocatoria publicada entre Genoma España y Genoma Canadá sobre proyectos de investigación genómica en acuicultura¹⁷³, se ha establecido recientemente como línea prioritaria el estudio de peces planos.

5.7. Trucha

La trucha arcoiris, *Oncorhynchus mykiss*, es una especie originaria de la costa este del Pacífico, cuya distribución abarca desde Alaska hasta el norte de México, habiendo sido introducida en numerosos países en ambos hemisferios. Las truchas de la especie mencionada, los salmones y otras especies, pertenecen al conocido grupo de los salmónidos. Los países de la Unión Europea, Europa Oriental, Estados Unidos y Noruega, son los de mayor envergadura en cuanto al cultivo de trucha, y compiten fuertemente junto a otros países que recientemente han encontrado un nuevo nicho de mercado en el cultivo de la trucha, Chile por ejemplo¹⁷⁴.

En España, las Comunidades Autónomas con mayor producción son por orden de importancia Galicia, Castilla y León, Castilla-La Mancha y el País Vasco, estando la producción nacional anual cifrada en unas 30.000 toneladas. Las exportaciones se destinan principalmente a países de la UE, principalmente Alemania, Francia y Austria, mientras que España importa de Francia productos elaborados a partir de trucha cultivada¹⁷⁵.

¹⁷³ Genoma España and Genome Canada. Joint R+D+I Projects in Human Health, Plants and Aquaculture (http://www.gen-es.org/05_proy/05_proy.cfm?pag=0201).

¹⁷⁴ Dirección de Acuicultura (SAGPyA), Argentina (2001) Información Resumida Sobre Acuicultura Comercial: Mundial, Regional Y Local. Perspectivas Para el Nuevo Siglo.

¹⁷⁵ Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.

5.8. Anguila

La producción nacional de anguila en acuicultura se localiza fundamentalmente en la zona del Levante español, siendo las tasas de producción muy bajas en comparación con las de otras especies (en torno a 383 toneladas al año), ya que por el momento tan solo está dirigido a satisfacer las demandas del mercado nacional¹⁷⁶. Aunque el volumen de producción total es reducido en comparación con otras especies, la productividad empresarial es muy elevada¹⁷⁷. El excedente se exporta principalmente a Holanda y Dinamarca, y como país competidor dentro del territorio comunitario, Holanda es el país que posee una mayor producción de anguila cultivada.

La principal limitación de este cultivo radica en la necesidad de un suministro constante de alevines capturados en su ambiente natural (angulas) como ya se ha mencionado en el cultivo de atunes, que a su vez escasean cada vez más en los ríos de la península.

5.9. Esturión

Los esturiones pertenecen al Orden de los Acipenseriformes, dentro del cual se ubican los más conocidos como productores de caviar (género *Huso* y *Acipenser*). Dentro de estos géneros existen 27 especies y subespecies, determinadas en el mundo. Todas ellas, han sido objeto de una pesca indiscriminada, por lo cual las poblaciones del Mar Caspio se han reducido en forma alarmante. El caviar (ovas o huevas de esturión) auténtico y más cotizado en el mundo por su calidad es el extraído del beluga (de mayor precio en el mercado), por el tamaño y separación de sus huevas, pero otros tipos de caviar son también muy aceptados y se comercializan a precios excelentes en el mercado internacional.

En España se cultiva la mayor parte del esturión del Adriático (*Acipenser naccarii*), junto con Italia, además del esturión siberiano (*Acipenser baeri*), el cual también se cultiva en Francia, Alemania, e Italia¹⁷⁸.

El grupo de investigación de dinámica de población de peces perteneciente a la facultad de Ciencias del Mar y Ambientales de la Universidad de Cádiz, ha realizado en los últimos años un profundo análisis de los esturiones utilizando técnicas genómicas tales como la clonación y secuenciación de ADN satélite, que ha permitido identificar las especies de esturión características de la península ibérica. La clonación del ADN satélite se ha llevado a cabo en Granada (Departamento de Genética de la Universidad de Granada), y la secuenciación en Barcelona (Departamento de Secuenciación del Centro de Investigación y Desarrollo). El grupo de Cádiz está a su vez trabajando intensamente en la elaboración de piensos adecuados para las necesidades nutricionales del esturión.

Tras estos estudios actualmente existe una línea de investigación para la recuperación del esturión o sollo de Guadalquivir (*Acipenser naccarii*), que no sólo permitiría recuperar una especie amenazada, sino que además abre las puertas al cultivo intensivo del esturión¹⁷⁹.

¹⁷⁶ Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.

¹⁷⁷ Productividad empresarial: kilo producido por metro cuadrado de superficie ocupada. La productividad empresarial de la anguila en el año 2002 fue 210 Kg por metro cuadrado y año (Dra. Carmen Amaro, Universidad de Valencia, Dpto. de Microbiología y Ecología. Mediante comunicación personal).

¹⁷⁸ Williot, P., *et al.*, (2001). Sturgeon farming in Western Europe: recent developments and perspectives. *Aquat. Living Resour.* 14, 367-374.

¹⁷⁹ Gasent Ramírez, JM, Godoy, JA., Jordano, P. (2000) Identificación de esturiones procedentes del Guadalquivir: mediante análisis de ADN en especímenes de museo. *Medio Ambiente* (36): 44-49, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/revistama/indrevista.html>).

5.10. Tenca

La tenca, *Tinca tinca*, es una especie de carpa eurosiberiana endémica de diversas zonas de Europa. Su cultivo se practica en explotaciones extensivas (charcas) en Extremadura y a menor escala en algunas zonas de Castilla y León, con muy poco control sobre el proceso. La tenca es un pescado muy apreciado en el mercado europeo y en la región oeste de la península Ibérica. Existe una alta demanda de esta especie, y posee un alto precio en el mercado. La producción española de tenca se estima en torno a las 300 Tm anuales¹⁸⁰.

El Centro de Investigación en Acuicultura "Vegas del Guadiana" (Badajoz) se dedica a producir alevines de tenca de forma tradicional para repoblar las charcas. En Zamora se localiza una de las pocas empresas que se dedica al cultivo de tencas, Tencas de Casaseca, S.L., la cual surgió al amparo de los estudios realizados en el Centro de Investigación en Acuicultura "Vegas del Guadiana", suponiendo su producción un 10% del total nacional¹⁸¹. Esta empresa ha ejecutado desde entonces varios proyectos de investigación con el Departamento de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de León, con el fin de estudiar las fases de reproducción, cría larvaria y engorde¹⁸².

5.11. Tilapia

La tilapia es un pez originario de África pero que actualmente se localiza en países cálidos de todo el mundo. Aunque viven en agua dulce, aceptan aguas salobres y algunas se adaptan incluso al agua de mar. Este pez presenta muchos atributos adecuados para su domesticación y cría. Entre ellos se incluyen la buena calidad y el sabor de su carne, una gran tolerancia a distintos entornos, su resistencia a muchas enfermedades habituales de los peces y la relativa facilidad de reproducción que presenta en cautividad.

Las principales especies de tilapia cultivada son *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* y *O. niloticus*. Esta última se denomina tilapia del Nilo, y es considerada en general como la mejor especie para la acuicultura de agua dulce.

Asia produce en la actualidad más del 80% de la tilapia a escala mundial, pero el interés por esta especie tanto por parte de los productores como de los consumidores está aumentando rápidamente en todo el mundo, ocupando el tercer puesto en cuanto a peces cultivados en el mundo, detrás de las carpas y los salmónidos. El principal país productor de tilapia es la China, 700.000 Tm en 2000, seguido de Tailandia, Filipinas, Taiwán, Costa Rica, Colombia, Brasil y Ecuador.

La producción europea de tilapia es escasa, del orden de 490 Tm en el año 2000.

En España dos empresas se dedican al cultivo de tilapia, Iniciativas Empresariales del Sur de Europa¹⁸³, localizada en Córdoba, y Valenciana de Acuicultura S.A¹⁸⁴.

¹⁸⁰ mispecies.com, Reportaje octubre 2002 <http://www.mispecies.com>

¹⁸¹ mispecies.com, Reportaje enero 2003 <http://www.mispecies.com>

¹⁸² MisPeces.com, Reportaje octubre 2002 <http://www.mispecies.com>

¹⁸³ I.E.S.E. Iniciativas Empresariales del Sur de Europa <http://www.la-bravia.com>

¹⁸⁴ Mispecies.com, Reportaje <http://www.mispecies.com>

5.12. Otras especies piscícolas de posible interés para la acuicultura española

El **Pargo** o bocinegro, *Pagrus pagrus*, es una de las especies candidatas a ser introducidas como nuevas especies en la industria de la acuicultura mediterránea, ya que satisface buena parte de los criterios de selección de nuevas especies en cultivo intensivo. Tiene un elevado precio en el mercado, además de una elevada demanda, capacidad de crecimiento rápido, una posible área de distribución en el mercado mundial, y un alto conocimiento de su biología¹⁸⁵. Sin embargo, todavía no se ha producido un intento serio de su comercialización por parte de empresas productoras.

La **Seriola**, *Seriola dumerili*, hace unos años era una especie muy prometedora ya que su crecimiento es espectacular, alcanzando 1,5 a 2 Kg en 15 meses, y la calidad de la carne muy buena. Sin embargo no se ha podido reproducir masivamente en cautividad, dependiendo por ello de la captura de juveniles silvestres. Esto ha provocado que algunas empresas productoras que apostaban por esta especie, hayan sustituido el cultivo de la seriola por el cultivo de la dorada¹⁸⁶.

El **Dentón**, *Dentex dentex*, tiene una gran capacidad de crecimiento, que puede llegar a ser incluso más de tres veces superior al crecimiento de otras especies que actualmente se cultivan, como es el caso de la dorada. Sin embargo, su cultivo larvario no ha sido resuelto satisfactoriamente, y por el momento se están aplicando protocolos empleados para la dorada, los cuales no dan los resultados más adecuados que requiere esta especie. Por otra parte, existen ciertas dificultades todavía no resueltas en el manejo de los juveniles y de los reproductores¹⁸⁷.

¹⁸⁵ Martínez, M.; Van der Salm, A.; Tort, LL. (2003) Estudio sobre nuevas especies en la acuicultura mediterránea. IX Congreso Nacional de Acuicultura, Cádiz, Mayo 2003. Libro de Resúmenes.

¹⁸⁶ Mispecies.com, reportaje Expo Ràpita 2002 XIV Feria Estatal Náutico Pesquera. II Feria de Cultivos Marinos <http://www.mispecies.com/reportajes/2002/exporapita/index.asp>

¹⁸⁷ Mispecies.com, reportaje Expo Ràpita 2002 XIV Feria Estatal Náutico Pesquera. II Feria de Cultivos Marinos <http://www.mispecies.com/reportajes/2002/exporapita/index.asp>

DORADA

- **Producción:** 6.117 Tm (año 1999).
- **Valor de mercado:** 4,20 €/Kg (año 2000).
- **Localización:** Sur peninsular, costa mediterránea e Islas Canarias.
- **Puntos fuertes:** venta y distribución de alevines destinados a empresas de engorde.
- **Puntos débiles:** otros países competidores mejor posicionados en el mercado (Grecia).

ATÚN ROJO

- **Producción:** 8.000 Tm (año 2001).
- **Valor de mercado:** sin datos.
- **Localización:** Murcia, Ceuta y Cádiz.
- **Puntos fuertes:** España como uno de los principales productores, elevado contenido proteico.
- **Puntos débiles:** requiere la captura de ejemplares, altas tasas de alimentación.

SALMÓN

- **Producción:** 600 Tm anuales.
- **Valor de mercado:** 2,70 €/Kg (año 1999).
- **Localización:** Norte peninsular (Galicia).
- **Puntos fuertes:** especie apreciada internacionalmente.
- **Puntos débiles:** Sólo es posible su cultivo en la zona cantábrica. Patologías y suministro de alevines. Noruega, Escocia, Dinamarca y Chile como competidores.

LUBINA

- **Producción:** 1.200 Tm anuales.
- **Valor de mercado:** 4,86 €/Kg (año 2000).
- **Localización:** Sur peninsular, costa mediterránea e Islas Canarias, Baleares.
- **Puntos fuertes:** mercado sin explotar.
- **Puntos débiles:** mayores dificultades de cultivo que en dorada.



BESUGO

- **Producción:** sin datos.
- **Valor de mercado:** sin datos.
- **Localización:** Galicia.
- **Puntos fuertes:** alto valor en el mercado.
- **Puntos débiles:** poca experiencia de las empresas españolas.

LENGUADO

- **Producción:** sin datos.
- **Valor de mercado:** 7,81 €/Kg (año 2000).
- **Localización:** Andalucía, Valencia.
- **Puntos fuertes:** mercado potencial.
- **Puntos débiles:** enfermedades infecciosas no controladas, falta de optimización en la fase de engorde y sistema de cría, mayor sensibilidad al estrés.

RODABALLO

- **Producción:** 3.385 Tm (año 2001).
- **Valor de mercado:** 8,65 €/Kg (Mercabarna, julio 2003).
- **Localización:** Galicia y comunidades del Cantábrico.
- **Puntos fuertes:** el 69,6% de la producción mundial procede de España.
- **Puntos débiles:** escasez de centros de cría y alevinaje, ciertas patologías costosas de erradicar.

TRUCHA

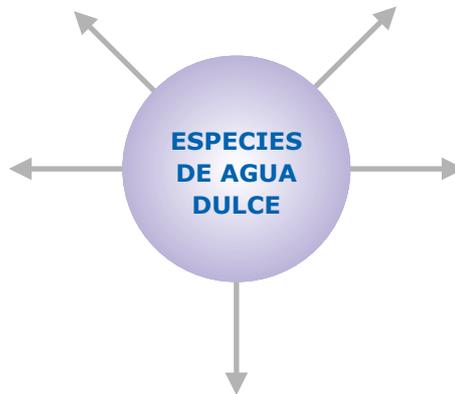
- **Producción:** 30.000 Tm anuales.
- **Valor de mercado:** 1,94 €/Kg (año 2000).
- **Localización:** Galicia, Castilla y León, Castilla-La Mancha y País Vasco.
- **Puntos fuertes:** segundo país productor europeo, después de Francia.
- **Puntos débiles:** Unión Europa, Oriente, EE.UU., Noruega, y Chile, principales competidores.

ANGUILA

- **Producción:** 380 Tm anuales.
- **Valor de mercado:** 5,90 €/Kg (año 2000).
- **Localización:** Levante.
- **Puntos fuertes:** satisface la demanda nacional del mercado, gran productividad empresarial.
- **Puntos débiles:** Holanda como principal competidor, necesidad de recurrir al abastecimiento de alevines (angulas), escasos en los ríos españoles.

ESTURIÓN

- **Producción:** experimental.
- **Valor de mercado:** sin datos.
- **Localización:** Cádiz (Guadalquivir).
- **Puntos fuertes:** gran valor comercial.
- **Puntos débiles:** abastecimiento de juveniles.



TENCA

- **Producción:** 300 Tm anuales.
- **Valor de mercado:** aprox. 9 €/Kg.
- **Localización:** Extremadura y Castilla y León en menor medida.
- **Puntos fuertes:** mercado potencial.
- **Puntos débiles:** poco conocido en España.

TILAPIA

- **Producción:** muy escasa.
- **Valor de mercado:** sin datos.
- **Localización:** Levante, Andalucía.
- **Puntos fuertes:** mercado potencial. Fácil de cultivar.
- **Puntos débiles:** poco conocido en España.

Información de mercado procedente de: Libro Blanco de Acuicultura en España. MAPyA, 2001; Aquamedia (<http://aquamedia.org>); Mispeces.com (www.mispeces.com); Mercabarna (www.mercabarna.es).

6. El sector empresarial en la acuicultura española

España posee un elevado número de Empresas de acuicultura marinas, principalmente en las Comunidades autónomas de Andalucía, Canarias, Cataluña, Valencia y Galicia, siendo esta última una de las mayores productoras mundiales de rodaballo. Otras especies que se cultivan de modo significativo en la península son las doradas y lubinas. En la actualidad las empresas de acuicultura españolas se han especializado en el cultivo de alevines de estas especies para su exportación a terceros países. El besugo es cultivado casi íntegramente en La Coruña, el atún en Murcia y Tarragona, y el lenguado en diversas provincias de Andalucía. Otros cultivos en fase experimental son el esturión cultivado en Granada, y la anguila en Valencia.

En cuanto a la acuicultura de agua dulce, Castilla y León y parte de Castilla-La Mancha, junto con diversas provincias en su mayoría de la costa norte, producen la mayor parte de la trucha arcoiris Española. Mientras que la tilapia todavía tan solo se cultiva en dos empresas del sur y levante, la tenca es producida en un buen número de empresas ubicadas en Extremadura.

NUMERO DE EMPRESAS CLASIFICADAS POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS Y POR ESPECIES CULTIVADAS

Comunidad Autónoma		Cultivo marino	Cultivo continental	Especies
Andalucía	Almería	5	0	Dorada, lubina
	Cádiz	5	0	Dorada, lubina, lenguado
	Córdoba	0	1	Tilapia
	Granada	2	1	Dorada, lubina, lenguado, trucha, esturión
	Huelva	6	0	Dorada, lubina, lenguado
Aragón	Zaragoza	0	1	Trucha
	Huesca	0	2	Trucha
	Teruel	0	1	Trucha
Baleares	2	1	Dorada, carpa, lubina	
Cantabria	1	1	Dorada, rodaballo, trucha	
Canarias	Las Palmas	7	0	Dorada, lubina
	Santa Cruz de Tenerife	8	0	Dorada, lubina
Castilla y León	León	0	2	Trucha
	Palencia	0	1	Trucha
	Salamanca	0	4	Trucha, tenca
	Soria	0	1	Trucha
	Zamora	0	1	Tenca
	Zaragoza	0	1	Trucha

(Continúa en pág. sig.)

**NUMERO DE EMPRESAS CLASIFICADAS POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS
Y POR ESPECIES CULTIVADAS** (Continuación)

Comunidad Autónoma		Cultivo marino	Cultivo continental	Especies
Castilla-La Mancha	Albacete	0	2	Trucha
	Cuenca	0	1	Trucha
	Guadalajara	0	4	Trucha
Cataluña	Barcelona	4	3	Dorada, lubina, trucha
	Lérida	0	2	Trucha
	Tarragona	6	0	Dorada, lubina, atún
Ceuta		1	0	Dorada, lubina
Extremadura	Badajoz	0	1	Tenca
	Cáceres	0	4	Tenca
Galicia	La Coruña	9	5	Besugo, rodaballo, trucha
	Lugo	0	6	Trucha
	Orense	0	1	Trucha
	Pontevedra	2	1	Trucha, rodaballo
Madrid		0	2	Tenca, trucha
Murcia		6	0	Dorada, lubina, atún
Navarra		0	3	Trucha
País Vasco	Álava	0	1	Trucha
	Guipúzcoa	0	1	Trucha
La Rioja		0	1	Trucha
Valencia	Alicante	6	0	Dorada, lubina, lenguado
	Castellón	1	0	Dorada, lubina
	Valencia	3	2	Dorada, lubina, anguila, tilapia
Subtotal		74	58	
Total			132	

Nota: no se incluyen aquellas Comunidades Autónomas en las que no se ha observado actividad en acuicultura. El número total de empresas de acuicultura en España corresponde con el número de empresas dedicadas al cultivo de especies marinas más el número de empresas dedicadas al cultivo de especies continentales. Aquellas empresas que poseen instalaciones empleadas tanto para el cultivo de especies marinas como continentales, han sido contabilizadas como dos empresas diferentes.

Tabla 17. Clasificación de empresas por comunidades autónomas y producciones por especies cultivadas (Fuente: elaboración propia).

6.1. Estructura organizativa del sector de la acuicultura en España

Las empresas de acuicultura continental se han organizado recientemente en una organización interprofesional denominada Aquapiscis, que aúna a la Organización de Productores Piscicultores (OPP), creada en 1986, y a la Organización de Productores de Acuicultura Continental, que resultó de una escisión en 1995 de la OPP por diferencias en su gestión. El objetivo de esta organización es principalmente la representación del sector de la acuicultura ante la sociedad, para coordinar las políticas de promoción y de inversión.

En el ámbito de la acuicultura marina, no existe una asociación única que englobe a todos los productores de acuicultura marina, sino que predominan asociaciones y organizaciones regionales de cada provincia o comunidad autónoma.

ASOCIACIONES DE ACUICULTURA

España	Asociación de Pequeños Productores de Estereos de la Bahía de Cádiz (APE).
	Asociación Canaria de Empresarios Acuicultores (ACEA).
	Asociación Catalana de Acuicultura (ACA).
	Asociación de Acuicultores de Tenerife.
	Asociación de Productores de Rodaballo Gallego (AROGA).
	Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos (APROMAR).
	Asociación de Empresas de Cultivos Marinos de Andalucía (ASEMA).
	Organización de Productores de Acuicultura Marina de Andalucía (OPPMA).
	Organización de Productores de Acuicultura Continental.
	Organización de Productores de Acuicultura Marina de Andalucía.
	Organización de Productores Piscicultores (OPP).
	Organización de productores PESGALICIA.
	Organización de Productores de Acuicultura Continental (OPAC).
	Sociedad Española de Acuicultura.
Europa	Sociedad Europea de Acuicultura (ESA).
	Federación de Productores Acuicultores Europeos.

Tabla 18. Asociaciones de acuicultura (elaboración propia).

En cuanto a la acuicultura marina, la Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos APROMAR, engloba en la actualidad más del 96% de la producción nacional de piscicultura marina. También pertenecen a APROMAR las Asociaciones Regionales de los mismos cultivos, ACA, ACEA, AROGA, ASEMA.

Durante el mes de octubre del 2002 se celebraron en León las primeras Jornadas de Acuicultura Continental de Castilla y León, que sirvieron de presentación del Observatorio Español de Acuicultura (OESA)¹⁸⁸.

Su objetivo es fomentar el intercambio fluido de información entre los investigadores, la administración central y Comunidades Autónomas, los organismos públicos y privados de investigación y empresas y asociaciones empresariales. El OESA es el resultado de un convenio de colaboración entre la Secretaría General de Pesca Marítima y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y su creación fue identificada como prioritaria en el Libro Blanco de la Acuicultura en España¹⁸⁹.

6.2. Cuellos de botella de la acuicultura española

Durante los últimos 50 años se han resuelto un gran número de problemas técnicos en el cultivo de algunas especies que ya están plenamente incorporadas en el mercado.

ÁREAS TECNOLÓGICAS QUE DEMANDAN MAYOR DESARROLLO EN ESPAÑA¹⁹⁰

- Producción de alevines.
- Piensos secos especializados para cada cultivo.
- Control de enfermedades infecciosas.

a) Problemas de producción de la industria de acuicultura en España

- La producción de alevines, juveniles o huevos representa el primer paso que se debe controlar en un cultivo intensivo de especies piscícolas. No se puede depender del suministro natural de alevines, ya que éste es dependiente de la estacionalidad de los ciclos reproductivos naturales, lo que disminuye el rendimiento de los cultivos. Mientras que el mercado de alevines de salmón está muy avanzado, no ocurre lo mismo con las lubinas, doradas y rodaballos, donde existe una escasez importante de estos, y por tanto su comercio a terceros países es una de las estrategias que la industria de acuicultura española está siguiendo¹⁹¹.
- Uno de los principales cuellos de botella en el cultivo de nuevas especies es la falta de **piensos secos de engorde** adecuados para mantener la tasa de crecimiento necesaria. Los peces que se cultivan en España son en su mayor parte carnívoros estrictos, o en algunos casos omnívoros. Por ello las dietas de estos peces son muy ricas en proteínas (40-60%). Existen además dietas adecuadas a los requerimientos de cada especie, así como dietas específicas para cada fase de los ciclos productivos como las de larvas de peces marinos, los piensos medicados, las dietas enriquecidas para estados de estrés y las dietas con pigmentos.

¹⁸⁸ Observatorio Español de Acuicultura, OESA (<http://www.oesa.csic.es>).

¹⁸⁹ Reportaje Octubre 2002, MisPeces.com (<http://www.mispecies.com>).

¹⁹⁰ Coll Morales, J. (2002). Development of Aquaculture in Spain. Aquaculture Europe 33, 3-8.

¹⁹¹ Mispecies.com. Noticia Octubre 2002 (<http://www.mispecies.com>).

Aunque ciertos problemas asociados a la calidad de los piensos ya han sido solucionados para algunas especies, como es el caso del problema de coloración de la piel del rodaballo, es preciso mejorar estos piensos en España. En un futuro se espera que la selección genética de los individuos con características deseables, permitan incluso seleccionar aquellos animales que posean una mejor adaptación a los piensos secos desarrollados. Esta investigación es costosa ya que requiere además de la cooperación entre las industrias productoras de acuicultura y proveedora de piensos.

Hoy en día casi la mitad del coste de producción de los peces se debe al coste del alimento, lo que denota una tendencia hacia la madurez del sector de la acuicultura española ya que el consumo de alimento se considera un coste variable directamente relacionado con el rendimiento final de las empresas¹⁹². Por otra parte, se prevé un incremento de los costes debido al encarecimiento de la harina de pescado. La tendencia actual entre los fabricantes de piensos para peces es sustituir las harinas de pescado, que cada vez son más caras, por harinas vegetales (cereales principalmente), harinas de krill, moluscos y algas marinas¹⁹³. A esto se debe unir la problemática existente sobre la presencia de dioxinas en las harinas de pescado y la dificultad añadida de que su análisis requiere analíticas complejas y costosas. Otras cuestiones en las que los fabricantes de pienso mantienen líneas de investigación conciernen a la mejora de la estructura del pienso para aumentar su digestibilidad mediante micromoliendas y de controlar su calidad microbiológica.

Proaqua Nutrición¹⁹⁴, perteneciente al grupo que Provimi Holding, es una empresa especializada en la producción de alimentos para la acuicultura. Con más de 20 años dedicados a la producción de piensos es líder en la acuicultura mediterránea. En el año 2001 vendió pienso por valor de 23 millones de euros y exportó a más de 12 países¹⁹⁵.

- El principal problema que han de afrontar las empresas de acuicultura cuando comienzan el cultivo intensivo de una nueva especie, es la aparición de **nuevas enfermedades** provocadas por la superpoblación de individuos en un mismo hábitat. En los últimos años se ha desarrollado un incremento en la política regulatoria de la UE¹⁹⁶, enfocado a una mayor restricción en el uso de tratamientos terapéuticos como los antibióticos. Se tiende por tanto a tratar de evitar el uso masivo de estos compuestos mediante medidas de prevención, impulsando el desarrollo de vacunas, mejorando la calidad y contenido nutricional de los piensos, desarrollando tests de diagnóstico más rápidos, aumentando la resistencia a diversas condiciones mediante selección genética, etc.

Cabe destacar a favor de España el hecho de que es uno de los pocos países europeos que se encuentra libre de rhabdovirus, la enfermedad más devastadora en salmón y trucha tanto en EE.UU., como en Europa y Japón. Sin embargo, esta situación privilegiada está más relacionada con las temperaturas templadas de la península ibérica, que con un estricto control sanitario. El laboratorio de referencia a nivel nacional en materia de sanidad animal en acuicultura se encuentra ubicado en la Comunidad de Madrid¹⁹⁷.

¹⁹² Reportaje Octubre 2002, MisPeces.com <http://www.mispecies.com>

¹⁹³ Mispecies.com, reportaje Expo Ràpita 2002 XIV Feria Estatal Náutico Pesquera. II Feria de Cultivos Marinos <http://www.mispecies.com/reportajes/2002/exporapita/index.asp>

¹⁹⁴ Proaqua Nutrición SA. <http://www.proaqua.es>

¹⁹⁵ Seminarios Regionales 2002 Proaqua Nutrición SA. MisPeces.com, Reportaje marzo 2002 <http://www.mispecies.com>

¹⁹⁶ Council Regulation EEC/2377/90.

¹⁹⁷ Centro de Investigación en Sanidad Animal (CISA): Centro Nacional de Referencia para Enfermedades de la Lista A de la OIE <http://www.inia.es>

b) Problemas del sector empresarial en la acuicultura Española

Según el Libro Blanco de la Acuicultura en España, en España existen bajos niveles de rentabilidad de las actividades de acuicultura, los cuales se dedican principalmente a sostener las instalaciones, y no permiten grandes inversiones en procesos tecnológicos.

Para paliar esta falta de rentabilidad, las empresas de acuicultura pueden acceder a diferentes clases de **ayudas financieras**. Estas son esencialmente de tres tipos: ayudas para la mejora de las instalaciones, ayudas para la ampliación de las instalaciones o para la construcción de nuevas instalaciones, si bien existen otras fórmulas de apoyo para la adquisición de materiales como ordenadores o maquinaria para la manipulación de peces, y para la realización de pequeñas proyectos.

Otra opción que permite asegurar las producciones de las granjas piscícolas son los **seguros agrarios** existentes a nivel local y nacional. Hay dos clases, una para moluscos y otra para peces. Los peces marinos asegurables son la dorada, la lubina y el rodaballo, pudiendo cubrir la totalidad de la producción frente a accidentes y contra causas ambientales.

Actualmente existe una situación de exceso de producción de dorada y lubina y de caída de precios, debidos a la desbordante producción y descontrolada comercialización de ambas especies en Grecia, favorecida por la obtención de subvenciones de fondos europeos¹⁹⁸.

c) Problemas estratégicos para articular proyectos de investigación en acuicultura

Los problemas a los que se enfrenta la comunidad investigadora en genómica de peces en España son muy variados, y se pueden dividir en dos áreas. Aquellos relacionados con las tecnologías y protocolos empleados en el proceso de cultivo de especies piscícolas, y las limitaciones en la gestión de sus proyectos de investigación.

Respecto a los primeros, estos dependerán del tipo de cultivo que se pretenda realizar, ya que no todas las especies presentan las mismas necesidades, ni el conocimiento de su biología y

genoma es el mismo. Estas limitaciones ya se han tratado en un apartado anterior dedicado a las especies que se cultivan en territorio español.

Para valorar las carencias y necesidades de los grupos de investigación españoles, se recopilieron las opiniones de un número significativo de investigadores procedentes de diferentes centros y áreas de trabajo. Como resultado se han elaborado un conjunto de fichas técnicas en las cuales se recogen sus líneas de investigación de interés en la actualidad, así como la orientación de las mismas en un futuro. Igualmente, los expertos consultados valoraron los puntos débiles de la investigación española. Los resultados obtenidos indican cuatro grandes áreas en las cuales se observa un descontento general de los investigadores.

INSTALACIONES Y PROCEDIMIENTOS

- Falta de medios adecuados.
- Problemas en la recogida de muestras.
- Falta de instalaciones adecuadas para el manejo de agentes infecciosos.
- Experimentación animal.

PERSONAL CUALIFICADO

- Formación técnica.
- Contratación de personal.

FINANCIACIÓN

- Falta de financiación pública.
- Escasa colaboración con la industria.

COLABORACIÓN

- Escasa colaboración entre grupos de investigación.
- Falta de definición de líneas prioritarias por parte de la industria.

La escasa financiación de proyectos dedicados a la genómica de especies piscícolas es el problema que con mayor frecuencia ha sido mencionado, en concreto referente a la financiación pública. En un intento por mejorar esta situación, Genoma España y Genome Canadá han firmado recientemente un acuerdo por el cual se financiarán proyectos de investigación genómica en acuicultura¹⁹⁹. Sin embargo, una de las principales críticas entre los expertos consultados ha sido la falta de colaboración existente entre los propios investigadores, lo que les lleva a no ser capaces de poner en marcha proyectos de gran envergadura. La deficiente formación personal, o los problemas derivados de la contratación de personal estable es otro de los problemas que preocupa a la comunidad investigadora.

¹⁹⁸ Mispes.com, reportaje Expo Ràpita 2002 XIV Feria Estatal Náutico Pesquera. II Feria de Cultivos Marinos <http://www.mispes.com/reportajes/2002/exporapita/index.asp>

¹⁹⁹ Genoma España dnd Genome Canada. Joint R+D+I Projects in Human Health, Plants and Aquaculture http://www.gen-es.org/05_proy/05_proy.cfm?pag=0201

7. Legislación relacionada con la acuicultura

En la actualidad aparecen como documentos fundamentales el Código Sanitario Internacional²⁰⁰ y el Manual de Diagnóstico de las Enfermedades de los animales acuáticos²⁰¹ de la Oficina Internacional de Epizootias, reconocido como documento de referencia por la Organización Mundial del Comercio²⁰², así como numerosas Directivas y Reglamentos de la Comisión Europea y del Estado Español. En este sentido, existen otras organizaciones de carácter internacional, como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y la Red de Centros de Acuicultura en la Región de Asia y Pacífico (NACA), que están elaborando las directrices necesarias para la gestión, control y prevención de las principales enfermedades de los animales acuáticos en estas zonas²⁰³.

Una de las principales limitaciones de las prácticas de acuicultura continental está relacionada con las restricciones en cuanto a la utilización de aguas, mientras que la acuicultura marina, se ve afectada por la ley de costas, que ha de ser modificada correctamente para permitir las prácticas sostenibles de cultivo de especies piscícolas.

La política pesquera común (PPC) es el instrumento de la CE para la conservación y ordenación de la pesca y la acuicultura. Se creó con la finalidad de ordenar un recurso común y de cumplir la obligación establecida inicialmente en los Tratados de la Comunidad. Las poblaciones ícticas silvestres son un recurso natural y móvil, que se considera de propiedad común. En los tratados por los que se estableció la Comunidad Económica Europea, hoy en día Unión Europea, existen disposiciones para la creación de una política común en ese sector, es decir, un conjunto de normas comunes adoptadas por la Comunidad y aplicadas en todos los Estados Miembros.

²⁰⁰ Oficina Internacional de Epizootias (OIE). Código Internacional para los Animales Acuáticos. OIE Fish Disease Commission. Paris. France. 2001. (http://www.oie.int/esp/normes/fcode/E_summry.htm).

²⁰¹ Oficina Internacional de Epizootias (OIE). Diagnostic Manual for Aquatic Diseases. OIE Fish Disease Commission. Paris. France. 2000. (http://www.oie.int/esp/normes/fmanual/A_summry.htm).

²⁰² Organización Mundial del Comercio (OMC). Comunicado de prensa. 1998. (http://www.wto.org/spanish/news_s/pres98_s/pr099_s.htm).

²⁰³ Ruiz Zarzuela, I.; de Blas Giral, I.; Clavero Villacampa, J.L.; Muzquiz Moracho, J.L. (2002). Implementación eficaz de una estrategia en el control y erradicación de las enfermedades de los peces: el modelo de Aragón (España). CIVA 2002 (<http://www.civa2002.org>), 459-474.

LEGISLACIÓN EN SANIDAD ANIMAL APLICABLE A LA ACUICULTURA

Legislación Comunitaria	<p>Directiva 91/67 del Consejo de 28 de enero de 1991 (DOCE L-46, 19/02/91) relativa a las condiciones de policía sanitaria aplicables a la puesta en el mercado de animales y de productos de la acuicultura. Modificada por las Directivas del Consejo: 93/54 de 24 de junio de 1993 (DOCE L-175, 19/07/93); 95/22 de 22 de junio de 1995 (DOCE L-243, 11/10/95) por la que se modifica los Anexos B y C; y 98/45 de 3 de julio de 1998 (DOCE L-196, 14/07/98).</p>
	<p>Decisión 93/22 de la Comisión de 11 de diciembre de 1992 (DOCE L-16, 25/01/93) por la que se fija los modelos de documentos de transporte que establece el artículo 14 de la Directiva 91/67 del Consejo.</p>
	<p>Decisión 92/532, de 19 de noviembre de 1992, por la que se establecen los planes de muestreo y métodos de diagnóstico para la detección y confirmación de determinadas enfermedades de los peces. Diario Oficial de las Comunidades Europeas (DOCE) L 337, de 21 de noviembre de 1992.</p>
	<p>Directiva 93/53 del Consejo de 24 de junio de 1993 (DOCE L-175, 19/07/93) por la que se establecen medidas comunitarias mínimas de lucha contra determinadas enfermedades de los peces. Modificada por la Directiva 2000/27 de 2 de mayo de 2000 (DOCE L-114, 13/05/00).</p>
	<p>Decisión 1999/567/CE de la Comisión de 27 de julio de 1999 (DOCE L-216, 14/08/99) por la que se establece el modelo de certificado al que se hace referencia en el apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 91/67/CEE.</p>
	<p>Decisión de la Comisión 2001/183/CE, de 22 de febrero de 2001, (DOCE L 67, 9/3/01) por la que se establecen los planes de muestreo y los métodos de diagnóstico para la detección y confirmación de determinadas enfermedades de los peces y se deroga la Decisión 92/532/CEE.</p>
	<p>Decisión de la Comisión, de 3 de abril de 2001(DOCE L-099,10/04/2001), que modifica la Directiva 93/53/CEE del Consejo, por la que se establecen medidas comunitarias mínimas de lucha contra determinadas enfermedades de los peces, en relación con la lista de los laboratorios nacionales de referencia para las enfermedades de los peces.</p>
Legislación Española	<p>Directiva 2002/99/CE de la Comisión, de 16 de diciembre de 2002. Normas zoonosanitarias aplicables a la producción, transformación, distribución e introducción de los productos de origen animal destinados al consumo humano.</p>
	<p>Real Decreto 1488/1994 de 1 de julio (B.O.E. 22/09/94) por el que se establecen medidas mínimas de lucha contra determinadas enfermedades de los peces. Modificado por los RR.DD. 138/1997 de 31 de enero (B.O.E. 25/02/97) y 3481/2000 de 29 de diciembre (B.O.E. 19/01/01). Traspone las Directivas del Consejo 93/53 y 2000/27 y las Decisiones de la Comisión 92/532 y 96/240.</p>
	<p>Real Decreto 1882/1994 de 16 de septiembre (B.O.E. 18/10/94) por el que se establecen las condiciones de sanidad animal aplicables a la puesta en el mercado de animales y productos de la acuicultura. Modificado por los RR.DD. 2581/1996 de 13 de diciembre (B.O.E. 03/01/97) y 1255/1999 de 16 de julio (B.O.E. 17/07/99). Traspone las Directivas del Consejo 91/67, 93/54, 95/22 y 98/45 y la Decisión de la Comisión 93/22.</p>
	<p>Real Decreto 2459/1996 de 2 de diciembre (B.O.E. 03/01/97) por el que se establece la lista de enfermedades de animales de declaración obligatoria y se da la normativa para su notificación.</p>
	<p>Real Decreto 3481/2000, de 29 de diciembre (B.O.E.19/01/01), por el que se modifica el R.D. 1488/1994, de 1 de julio, por el que se establecen medidas mínimas de lucha contra determinadas enfermedades de los peces.</p>
	<p>Orden de 19 de septiembre de 2001 (B.O.E. 27/09/01) por la que se modifica el anexo F del R. D. 1488/1994, de 1 de julio, por el que se establecen medidas mínimas de lucha contra determinadas enfermedades de los peces.</p>
	<p>Real Decreto 1444/2001 de 21 de diciembre (BOE 14.01.02) por el que se establece el sistema de Alerta Veterinaria.</p>
	<p>Ley de Sanidad Animal Ley 8/2003, de 24 de abril, de la Jefatura del Estado.</p>

Tabla 19. Legislación en Política Sanitaria de Acuicultura (Fuente: JACUMAR).

Existen varios mecanismos para regular el uso de organismos genéticamente modificados y de especies introducidas en la acuicultura²⁰⁴.

La **introducción de especies** y el uso y transporte de especies fuera de su ámbito natural de distribución están regulados por el Código de Prácticas del CIEM/CAEPC²⁰⁵, la Nuisance Species Protection Act²⁰⁶ así como por medidas legislativas nacionales en muchos países. Las bases de datos sobre introducciones internacionales de animales acuáticos²⁰⁷ y de patógenos de animales acuáticos²⁰⁸ son fuentes de información que se pueden consultar para determinar qué riesgos puede implicar una determinada introducción. Estas bases de datos son objeto de constante actualización y ampliación.

En cuanto a los **organismos genéticamente modificados**, su utilización, transporte y liberación en el medio ambiente están regulados por las Directivas de la Unión Europea²⁰⁹, las normas del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos²¹⁰ y el Código de Prácticas del CIEM. El Convenio sobre la Diversidad Biológica ha recibido el mandato de redactar protocolos sobre la bioseguridad para la utilización sin peligro de organismos genéticamente modificados (por ahora, fundamentalmente plantas), y mientras se negocian dichos protocolos, la Conferencia de las partes de dicho Convenio ha recomendado la utilización de las Directrices Técnicas Internacionales del PNUMA sobre la Seguridad de la Biotecnología²¹¹.

²⁰⁴ FAO (1999) Desarrollo de la Acuicultura. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable 5 (<http://www.fao.org/docrep/003/w4493s/w4493s08.htm#bm8>).

²⁰⁵ CIEM, 1995. Código de Prácticas para la Introducción y la Transferencia de Organismos Marinos, 1994. Copenhagen (Dinamarca), Consejo Internacional para la Exploración del Mar. Turner, G.E. (comp.), 1988. Codes of Practice and Manual of Procedures for Consideration of Introductions and Transfers of Marine and Freshwater Organisms. EIFAC Occas. Pa., (23): 44p.

²⁰⁶ ANSTF (Aquatic Nuisance Species Task Force), 1994. Aquatic Nuisance Species Act. Findings, conclusions and recommendations of the Intentional Introductions Policy Review. Report to Congress of the Aquatic Nuisance Species Task Force. Under Secretary of Commerce for Oceans and Atmosphere and Fish and Wildlife Service, EE.UU. 53 p.

²⁰⁷ FishBase. 1996. FishBase 96 CD-ROM. ICLARM/European Commission/FAO.

²⁰⁸ AAPQIS (Aquatic Animal Pathogen Information System) - en preparación. FAO.

²⁰⁹ Directive 2001/18/EC of the European parliament and of the council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC.

²¹⁰ ABRAC, 1995. Performance standards for safely conducting research with genetically modified fish and shellfish. Final Draft April 15, 1995. Agriculture Biotechnology Research Advisory Committee. US Department of Agriculture. Documentos Nos. 95-01 y 95-02.

²¹¹ Convenio sobre la Diversidad Biológica, Texto y anexos. 1994. UNEP/CBD/94/1, Suiza. Directrices Técnicas Internacionales del PNUMA sobre Seguridad de la Biotecnología, circa. 1996. Nairobi (Kenya), PNUMA.

8. Evaluación de las capacidades tecnológicas españolas

Mediante la información suministrada por grupos de investigación españoles, junto con la documentación disponible en bases de datos públicas y privadas, se ha elaborado un estudio del número de artículos científicos y patentes publicadas durante los tres años que corresponden al periodo 2000-2002, así como la financiación recibida por planes nacionales para realizar sus investigaciones en genómica de especies piscícolas.

Los principales proyectos de investigación españoles que constan de uno o varios grupos de investigación dedicados en la actualidad a las técnicas moleculares aplicadas a cultivos de especies piscícolas, se recogen en el ANEXO I del presente informe. Para realizar la evaluación de las capacidades tecnológicas de la investigación española, se han tomado en cuenta tan solo las publicaciones relacionadas directamente con genómica de especies piscícolas.

En cuanto a las capacidades innovadoras de los científicos españoles, tan solo se han registrado un número muy reducido de patentes relacionadas con técnicas moleculares y genómicas aplicadas a la acuicultura de especies piscícolas. Estas patentes son en su mayoría referentes a vacunas desarrolladas contra los principales patógenos que afectan a las especies que presentan un cultivo más intensivo en otros países, como es el caso del salmón, así como métodos de identificación de especies por medio de técnicas moleculares.

Con el fin de evaluar las capacidades tecnológicas españolas, se ha tomado también en cuenta los presupuestos nacionales destinados a la investigación en acuicultura mediante técnicas de biotecnología. El Plan Nacional I+D+I 2000-2003 contiene varios programas que poseen entre sus objetivos la financiación de este tipo de proyectos, en concreto los Programas de Recursos y tecnologías agroalimentarias, Genómica, y Biotecnología.

EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS ESPAÑOLAS

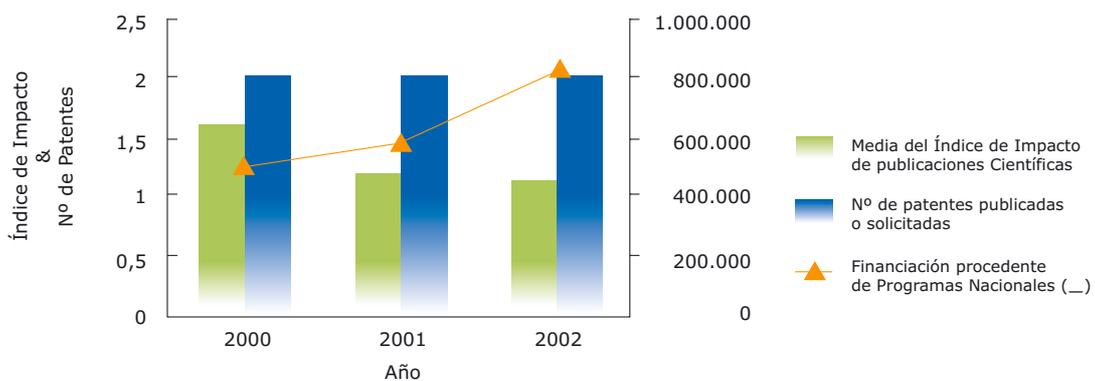


Fig. 10. Evaluación de las capacidades tecnológicas españolas (Fuente: elaboración propia).

Según la gráfica anterior el considerable aumento de los fondos del Plan Nacional de I+D dedicado a genómica de especies acuícolas, que se sitúa por encima del 60%, no refleja un incremento del número de patentes publicadas durante estos años, lo que podría indicar que los proyectos financiados tienen un claro enfoque de investigación básica. Además, y aunque el número de publicaciones en genómica de especies

piscícolas se ha mantenido constante durante este periodo, el impacto científico²¹² ha disminuido, lo que puede ser indicativo de la escasa cooperación científica existente y de la pequeña escala de los proyectos que se realizan. No cabe duda que en biotecnología la competitividad científica se mantiene o incrementa gracias a la integración de disciplinas y a la realización de proyectos a gran escala.

²¹² Science Citation Index (SCI)/Journal Citation Reports (JCR): Factor de impacto que provee una manera de evaluar o comparar la importancia relativa de una publicación contra otra en el mismo campo. ISI Web of Knowledge, Institute for Scientific Information <http://isi3.newisiknowledge.com/portal.cgi>

9. Ejemplos de grupos de investigación españoles en genómica de especies piscícolas

A continuación se presentarán una serie de fichas técnicas que representan a parte de la comunidad científica que actualmente trabaja en proyectos relacionados con genética de especies piscícolas. Estos ejemplos pretenden estudiar las principales limitaciones y necesidades de los investigadores españoles en el sector de la acuicultura, y sin pretender exhaustividad.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN 1

Nombre de la institución: Universidad Politécnica de Valencia
Dpto. de Ciencia Animal, Grupo de investigación en Recursos Piscícolas
Director Grupo: Dr. Miguel Jover Cerdá

GRUPO DE INVESTIGACIÓN 2

Nombre de la institución: Universitat Autònoma de Barcelona
Grupo de Fisiología de los peces y acuicultura
Director Grupo: Dr. Lluís Tort

Perfil de los expertos del grupo de investigación

Personal:

- 2 Becarios.
- 3 Doctores.
- 1 Técnico.
- 1 FP II.
- 1 Otros.

Área de experiencia:

- Ingeniería genética.
- Genética de poblaciones.
- Manipulación cromosómica.

Formación:

- Biología.

Personal:

- 3 Becarios.
- 3 Doctores.
- 1 Otros.

Áreas de experiencia:

- Ingeniería genética.
- Microbiología.
- Cultivos celulares.

Formación:

- Biología.

Especies y tecnologías de interés

Especies de interés:

- Anguila.
- Dorada.
- Lubina.
- Tenca.
- Tilapia.
- Trucha.

Tecnologías de interés:

- Suministro de hormonas.

Especies de interés:

- Trucha.
- Lubina.
- Dorada.

Tecnologías de interés:

- Vacunas de ADN.
- Inmunostimulantes.
- Microarrays de cDNA.
- Transgénicos resistentes a bajas temperaturas.

Áreas de investigación de interés

Interés actual:

- Control de la reproducción.
- Aumento del crecimiento y de la conversión alimenticia.
- Identificación de especies (autenticación).
- Valoración de la calidad espermática.
- Criopreservación de gametos.
- Inmunoensayos.

Interés futuro:

- Mejora de la alimentación de las especies piscícolas mediante diseño adecuado de piensos, sustitución de materias primas, óptima estrategia de alimentación e inclusión de inmunostimulantes y promotores del crecimiento.
- Reproducción de la anguila europea mediante tratamientos hormonales y desarrollo larvario. Criopreservación de gametos.
- Creación de un banco de reproductores de dorada, marcadores genéticos y selección de reproductores.

Interés actual:

- Resistencia a patógenos.
- Inmunología de peces.

Interés futuro:

- Genómica y proteómica de peces orientadas a la prevención de patologías.

Limitaciones o problemas con los que se enfrenta su grupo de investigación

- Falta de financiación pública a los proyectos de investigación.
- Necesidad de definir líneas de investigación realmente prioritarias junto con el sector productivo.
- Implicación de las empresas productivas en la investigación.
- Dificultad para acometer grandes proyectos en colaboración con otros grupos.

- Escaso nivel de inversión.
- Falta de estructura investigadora (equipos con un número mínimo de investigadores estables, inexistencia de suficientes técnicos superiores y medios, secretaría y oficina de promoción).
- Estructura empresarial acuícola con poca capacidad de inversión y de definición de proyectos a medio plazo.
- Falta de coordinación entre grupos que trabajan en áreas afines dentro de la acuicultura.

<p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN 3</p> <p>Nombre de la institución: Universidad de Oviedo Departamento de Biología Funcional. Área de genética. Laboratorio de genética Acuícola Investigador: Dr. José Antonio Sánchez Prado</p>	<p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN 4</p> <p>Nombre de la institución: Universidad de León, Facultad de Biología, Dpto. Biología Celular y Anatomía, Grupo de Histofisiología Comparada del Sistema Inmunitario en Salmónidos Investigador: Dr. Alberto J. Villena Cortés</p>
Perfil de los expertos del grupo de investigación	
<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 Becario. • 4 Doctores. • 1 Técnico. • 1 FP II. • 3 Otros. 	<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería. • Biología. • Ciencias Ambientales.
<p>Áreas de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reproducción. • Nutrición animal. 	<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 Becarios. • 3 Doctores. • 1 Técnico. • 1 FP II. • 1 Otros.
<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioquímica. • Veterinaria. 	<p>Áreas de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioquímica. • Veterinaria.
Especies y tecnologías de interés	
<p>Especies de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Besugo. • Rodaballo. • Trucha. • Salmón. 	<p>Especies de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Salmónidos.
<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selección de marcadores moleculares: AFLPs, RFLPs, VNTRs. 	<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vacunas de ADN. • Inmunoestimulantes.
Áreas de investigación de interés	
<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de características ventajosas. • Identificación de especies (autenticación). 	<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a patógenos.
<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestión de stock de reproductores, búsqueda de genes candidatos, selección asistida por marcadores moleculares. 	<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de modelos in vitro para el ensayo previo de vacunas e inmunoestimulantes.
Limitaciones o problemas con los que se enfrenta su grupo de investigación	
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de medios. • Dificultad para poder contratar personal técnico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta dispersión de grupos de investigación y poca colaboración entre ellos. • Ausencia de colaboración real y eficaz con la industria, debido a la ausencia de I+D empresarial. • Bajo número de investigadores permanentes.

<p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN 5 Nombre de la institución: Universidad de Valencia Dpto. de Microbiología y Ecología Investigador: Dra. Carmen Amaro González</p>	<p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN 6 Nombre de la institución: Universidad Miguel Hernández Dpto. Biología Molecular y Celular Investigador: Dra. Amparo Estepa Pérez</p>
<p align="center">Perfil de los expertos del grupo de investigación</p>	
<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 Becarios. • 4 Doctores. • 1 Técnico. • 2 Otros. 	<p>Área de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Microbiología. • Patología animal. • Veterinaria. • Epidemiología.
<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biología. • Veterinaria. 	<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 Becarios. • 1 Doctores. • 1 Técnico. • 1 FPII. • 1 Otros.
<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biología. • Química. 	<p>Áreas de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioquímica. • Ingeniería genética. • Patología animal.
<p align="center">Especies y tecnologías de interés</p>	
<p>Especies de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anguila. • Dorada. • Lenguado. • Lubina. • Rodaballo. • Tilapia. 	<p>Especies de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trucha. • Salmón. • Dorada.
<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Líneas monosexo. • Agentes microbianos. • Inmunoestimulantes. • Selección de líneas con mayor índice productivo. 	<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelos animales experimentales. • Selección de marcadores moleculares: AFLPs. • Microarrays de cDNA. • Transgénicos. • Vacunas de ADN. • Agentes microbianos.
<p align="center">Áreas de investigación de interés</p>	
<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control de la reproducción. • Resistencia a patógenos. • Aumento del crecimiento y conversión alimenticia. • Vacunas. • Diagnóstico. • Epidemiología. 	<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a patógenos. • Peces como biofactorías.
<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigación microbiobiológica. <ul style="list-style-type: none"> – Vacunas subunitarias, vectoradas y de DNA. – Expresión "in vitro" de antígenos bacterianos. • Genética de los factores de virulencia. • Investigación en cultivo de peces: <ul style="list-style-type: none"> – Obtención de líneas de tilapia monosexo. – Obtención de líneas más productivas de anguila y tilapia. 	<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda y Expresión in vitro de péptidos antimicrobianos de utilidad en acuicultura. • Diseño de nuevos agentes terapéuticos basados a partir de estudios de las etapas tempranas de infecciones víricas con repercusión en acuicultura. • Vacunas frente a rhabdovirus de salmónidos. • Respuesta inmune frente a virus.
<p align="center">Limitaciones o problemas con los que se enfrenta su grupo de investigación</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de los peces en instalaciones adecuadas de experimentación. • Diálogo con las empresas de Acuicultura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de instalaciones de animalarios piscícolas y cuidadores expertos en peces. • Comunicación nula entre productores e investigadores. • Los investigadores no conocen los problemas reales del sector de acuicultura. • Presupuestos muy bajos y con pocas posibilidades para contratar personal investigador y técnico.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN 7	GRUPO DE INVESTIGACIÓN 8		
<p>Nombre de la institución: Universidad de Murcia Facultad de Biología. Dpto. de Biología Celular Investigador: Victoriano Mulero Méndez</p>	<p>Nombre de la institución: Centro de Investigaciones Biológicas (CSIC) Dpto. Microbiología Molecular Investigador: Dra. Sara I. Pérez Prieto</p>		
Perfil de los expertos del grupo de investigación			
<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 Becarios. • 3 Doctores. • 1 Técnico. • 1 FP II. • 1 Otros. 	<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biología. 	<p>Área de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioquímica. • Ingeniería genética. • Patología animal. 	<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biología • Veterinaria.
Especies y tecnologías de interés			
<p>Especies de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dorada. 	<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suministro de hormonas. • Inmunostimulantes. • Microarrays de cDNA. • Selección de marcadores moleculares: SNPs. • Modelos animales experimentales. 	<p>Especies de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dorada. • Lenguado. • Trucha. 	<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inmunostimulantes. • Inducción de proteínas antivíricas. • Estudio de agentes microbianos. • Estudio de genes de virulencia. • Modelos animales experimentales. • Expresión de genes de resistencia a enfermedad Biofactorías.
Áreas de investigación de interés			
<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de características ventajosas. • Control de la reproducción. • Resistencia a patógenos. 	<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la resistencia a enfermedades infecciosas y estrés. • Mejora capacidad reproductora. 	<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a patógenos (resistencia a la infección de la trucha común, trucha arcoiris y dorada). • Virulencia de agentes infecciosos (patogénesis viral <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> de virus de salmónidos). • Identificación de características ventajosas (búsqueda marcadores de virulencia en virus). • Nuevas variedades. Transgénicas (expresión de genes de resistencia a enfermedad Biofactorías) 	<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potenciación de la respuesta inmune de especies piscícolas. • Estudio de la virulencia de agentes infecciosos sobre especies piscícolas.
Limitaciones o problemas con los que se enfrenta su grupo de investigación			
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de financiación por empresas del sector. • Dificultades para el acceso a instalaciones adecuadas para experimentación <i>in vivo</i> con agentes infecciosos. • Dificultades de tipo técnico y de formación para la puesta al día en nuevas técnicas, fundamentales para proyectos en el área de la genómica. • Dificultades para incorporar a jóvenes investigadores a los equipos consolidados. • Dificultades para definir líneas de investigación de interés para las empresas, muy especialmente en el ámbito de la virología. Retencencias a trabajar con virus en sus instalaciones. 			

<p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN 9 Nombre de la institución: Universidad Complutense de Madrid Facultad de Veterinaria Investigador: Dra. Alicia Gibello Prieto</p>	<p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN 10 Nombre de la institución: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Dpto. de Biotecnología Investigador: Dr. Julio Coll Morales</p>
<p>Perfil de los expertos del grupo de investigación</p>	
<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 Becario. • 4 Doctores. • 4 Técnicos. • 2 FP II. • 1 Otros. 	<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioquímica. • Ingeniería genética. • Microbiología. • Patología animal. • Veterinaria.
<p>Área de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biología. • Ingeniería genética. • Microbiología. • Patología animal. • Veterinaria. 	<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biología. • Veterinaria.
<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 Becario. • 2 Doctores. • 1 Técnico. • 1 FP II. • 1 Otros. 	<p>Áreas de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería genética. • Patología animal.
<p>Especies y tecnologías de interés</p>	
<p>Especies de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anguila. • Carpa. • Dorada. • Lubina. • Rodaballo. • Trucha. 	<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudio de agentes microbianos. • Inmunoestimulantes. • Sistemas de diagnóstico.
<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudio de agentes microbianos. • Inmunoestimulantes. • Sistemas de diagnóstico. 	<p>Especies de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trucha. • Pez cebra.
<p>Áreas de investigación de interés</p>	
<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo y estandarización de métodos de PCR múltiples para la detección rápida de patógenos en acuicultura. • Efectos ecotóxicos derivados de la combinación y biotransformación de compuestos genotóxicos y/o disruptores hormonales, en aguas de superficie. • Sensibilidad a agentes antimicrobianos en el ámbito veterinario. 	<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de diagnóstico para la detección rápida de patógenos en acuicultura. • Sistemas de diagnóstico para la detección de patógenos humanos en pescados. • Determinación de antibiorresistencias en patógenos de peces. Control de los tratamientos antibióticos en peces. • Desarrollo de vacunas para patologías piscícolas. • Desarrollo de inmunoestimulantes para la prevención de ictiopatologías de origen infeccioso. • Estudio del efecto de contaminantes químicos en los peces y utilización de microorganismos naturales para descontaminación. • Estudio de la etiología infecciosa en ictiopatología.
<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de productos de interés farmacéutico. • Tecnología de sistemas inducibles en peces transgénicos. • Transposones en peces. 	<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biotecnología de peces: mejora de la transfección y transformación de sus líneas celulares. • Tecnologías de peces como biofactorías: métodos de selección, transferencia genética en masa, métodos inducibles, y expresión en mucus de defensas humanas en peces de importancia económica en España. • Protección contra virus en acuicultura. Expresión de genes víricos en vectores eucariontes para diagnóstico serológico, vacunación y peces transgénicos en el modelo trucha/VHSV.
<p>Limitaciones o problemas con los que se enfrenta su grupo de investigación</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de suficiente financiación económica para investigación. • Experimentación con animales. • Problemas en la recogida y toma de muestras clínicas. • Falta del suficiente intercambio científico entre los investigadores. • Falta de formación en todos los ámbitos del sector de la acuicultura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Financiación del personal de investigación. • Conexión empresas-centros de investigación-financiación.

<p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN 11 Nombre de la institución: Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (CSIC) Departamento de Biología Marina Investigador: Dr. Emilio Pascual Vázquez</p>	<p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN 12 Nombre de la institución: Instituto de Acuicultura de Torre de la Sal (IATS) Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Dpto. de Fisiología de la Reproducción de Peces Investigador: Dra. Silvia Zanuy Doste</p>				
<p>Perfil de los expertos del grupo de investigación</p>					
<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 Becarios. • 5 Doctores. • 3 Técnico. • 1 FP II. • 1 Otros. 	<p>Área de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reproducción. • Nutrición animal. • Genética. • Biología molecular. 	<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biología. 	<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 Becarios. • 9 Doctores. • 2 Técnico. • 1 FP II. • 1 Otros. 	<p>Áreas de experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reproducción de peces. • Biología molecular. • Biología celular. • Endocrinología. 	<p>Formación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biología.
<p>Especies y tecnologías de interés</p>					
<p>Especies de interés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atún. • Dorada. • Lenguado. 	<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control de la reproducción (suministro de hormonas). • Nutrición. • Desarrollo larvario. • Aumento del crecimiento y conversión alimenticia. • Programas de selección genética. • Identificación de características ventajosas mediante selección por medio de marcadores moleculares (AFLPs, VNTRS). 			<p>Especies de interés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lubina. • Lenguado. • Dorada. • Trucha. • Medaka. 	<p>Tecnologías de interés:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control de la reproducción (ambiental y hormonal). • Nutrición de reproductores. • Desarrollo embrionario y larvario. • Identificación de características ventajosas mediante selección de marcadores moleculares (AFLPs). • Transferencia génica somática. • Modelos animales experimentales transgénicos.
<p>Áreas de investigación de interés</p>					
<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimización de dietas microparticuladas para su uso en acuicultura. Avances en formulación y diseño de un sistema general de alimentación artificial para larvas de peces marinos. • Control de la reproducción en el lenguado senegalés. Efectos del fotoperíodo y del termoperíodo. • Herramientas para un programa de selección asistida por marcadores en dorada. Búsqueda de QTLs y análisis de la Heredabilidad para el crecimiento. 	<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudio de los mecanismos de control del ciclo estacional de reproducción del lenguado a través de la manipulación del fotoperíodo, temperatura inducción hormonal. Optimización de los procesos de maduración y puesta para el desarrollo de protocolos de obtención de huevos y larvas durante la mayor parte del año. • Identificación de características ventajosas en dorada mediante estrategias de selección de marcadores de ADN. 			<p>Interés actual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bases moleculares, celulares y fisiológicas de la reproducción de peces con especial atención a la diferenciación sexual y el control de la pubertad y del ciclo reproductor (Gametogénesis). • Desarrollo de técnicas ambientales, hormonales y genéticas para el control de la reproducción. • Relación nutrición-energía reproducción y estudio de los mecanismos que determinan la calidad de los huevos y de las larvas. • Generación de herramientas para el estudio de la función genética en peces. 	<p>Interés futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nuevas herramientas para el estudio de las bases moleculares, celulares y fisiológicas de la reproducción de peces. • Desarrollo de nuevas metodologías para el control ambiental, hormonal y genético del proceso reproductor. • Estudio de los mecanismos que determinan la calidad de los huevos y las larvas. • Generación de herramientas para el estudio de la función génica en peces teleósteos. Uso de modelos transgénicos.
<p>Limitaciones o problemas con los que se enfrenta su grupo de investigación</p>					
<ul style="list-style-type: none"> • El pequeño tamaño de las empresas de acuicultura hace difícil el desarrollo de proyectos de una cierta envergadura. • La escasa valoración que el sistema de Ciencia y Tecnología da a este tipo de proyectos no hace atractivo este campo a los investigadores. • El abordaje del cultivo de nuevas especies requiere la interacción de equipos multidisciplinares difíciles de integrar. • Poca dotación económica de los proyectos de investigación sobre todo para contratación de personal competente. • Las empresas de acuicultura contratan investigación para solventar sus problemas. • Dificultad para obtener fondos europeos dadas las características del VI Programa Marco que apenas contemplan la posibilidad de subvencionar proyectos pequeños o de tamaño medio en Acuicultura. 					

10. Conclusiones

La genómica de especies piscícolas proporciona numerosas aplicaciones en el campo de la acuicultura, mencionadas con detalle en el presente informe. Las tendencias tecnológicas de los últimos años centran sus objetivos en el crecimiento y engorde, el control del desarrollo y la reproducción de los peces.

Entre las tecnologías que tienen mayores posibilidades de ser aplicadas en los próximos años, se encuentra la selección asistida por marcadores por la mejora de las características de interés industrial y comercial. Según los expertos consultados, dorada, lubina, rodaballo y lenguado son las especies piscícolas en las cuales existe un mayor interés en la determinación de marcadores genéticos.

Por otro lado, la **técnica de la PCR** es un instrumento fundamental en la identificación de especies y agentes patógenos en alimentos de origen piscícola. Esta tecnología tendrá especial interés cuando se generalice el empleo de técnicas moleculares de trazabilidad alimentaria, promovido por un mayor control del etiquetado de los alimentos.

El control de patologías propias de peces mediante vacunas sigue siendo uno de los principales objetivos de la industria de la acuicultura. Las **vacunas recombinantes**, que permiten la protección inmunológica mediante proteínas antigénicas específicas para cada enfermedad, han sido hasta hace poco la opción más prometedora. Sin embargo, el estado de la investigación en **vacunas de ADN**, que insertan una secuencia genética que confiere inmunidad también específica, ha sufrido grandes avances en los últimos años, pasando a ser consideradas como la terapia preventiva más prometedora en la actualidad. Además, la gran mayoría de los expertos en acuicultura consultados señalan la **estimulación o manipulación de las defensas del pez** como la estrategia más prometedora en el control de patologías piscícolas.

De entre todas las tecnologías mencionadas en el presente informe, la tecnología de la **transgénesis** ofrece el mayor número de posibilidades de ser aplicada en diferentes campos de interés para la industria de la acuicultura. La resistencia a enfermedades y a condiciones ambientales adversas, el control del crecimiento y

el momento de la maduración, son las principales aplicaciones que se están desarrollando en la actualidad en peces. Por otra parte, los modelos de peces transgénicos empleados en investigación ya se están empleando como alternativas a otros modelos animales. Las **células madre embrionarias** procedentes de peces permitirían además mejorar las técnicas de transgénesis y profundizar en el desarrollo de las especies más importantes en acuicultura.

La **secuenciación** del genoma de peces y el análisis de la expresión de sus genes mediante **microarrays de ADN**, forman también parte de las estrategias que permitirán el desarrollo de las técnicas anteriormente mencionadas con una mayor rapidez.

En lo relativo a la posición científica española, España posee una situación de cierta ventaja competitiva en cuanto a la calidad de sus grupos de investigación. En el campo de la **patología de especies piscícolas** España cuenta con importantes grupos de investigación, que sin embargo dirigen sus investigaciones principalmente a aquellas patologías que afectan a salmónidos, tales como la trucha o el salmón. Teniendo en cuenta que la primera posee un valor de mercado muy bajo, y que la producción del segundo ha desaparecido prácticamente del territorio español, es preocupante la insuficiencia de proyectos de investigación asociados a otras especies de mayor impacto en la industria piscícola española. También es necesario señalar que el número de proyectos de investigación españoles destinados a proyectos relacionados con la **selección asistida por marcadores genéticos** y la **secuenciación de genomas de especies piscícolas**, es muy escaso o inexistente, así como los proyectos de caracterización genética de especies de interés comercial en acuicultura.

La especie de mayor importancia para la acuicultura española es sin duda el **rodaballo**, cuyo valor de mercado es en la actualidad lo suficientemente alto como para que la industria piscícola siga invirtiendo en él. Esto no ocurre en el mercado de la lubina y dorada cultivadas, donde a raíz de la competencia ejercida por Grecia, las empresas españolas se han visto obligadas en muchos casos a abandonar la producción de estas especies para concentrarse únicamente en la cría

de alevines, que a su vez son exportados a países del mediterráneo como Grecia. Actualmente, la gran apuesta que la mayoría de los expertos consultados señalan como factor clave en la acuicultura europea es el **lenguado**, el cual si bien no posee un valor de mercado especialmente elevado en nuestro país, es una especie muy valorada en el resto del mundo. Su sensibilidad al estrés, y las patologías que le afectan son en estos momentos las principales preocupaciones del sector, por lo que los proyectos de investigación españoles deberían estar encaminados a solucionar ambos problemas.

Los principales problemas a los que se enfrenta la acuicultura española son sin duda de carácter estructural y organizativo:

Por un lado, la **investigación** española en acuicultura no está suficientemente coordinada y tampoco integra sus esfuerzos, no existe una priorización de la investigación, ni disponibilidad de plataformas tecnológicas para secuenciación, genotipado o análisis de la expresión génica, tan necesarias para proyectos de envergadura y sin las cuales cualquier esfuerzo inversor podría ser infructuoso. Por último los grupos españoles de investigación enfocan sus trabajos de genómica en especies de escaso interés para la industria nacional y se concentrarán en la investigación básica, es decir, en la producción de publicaciones científicas, que por otro lado representan el principal mérito para la carrera científica dentro del sistema español de I+D.

Por otro lado, la **industria** de la acuicultura pretende resolver los problemas técnicos a los que se enfrenta, sobre todo para mejorar la productividad y para introducir nuevas especies, con prácticas de manejo de la producción, del mismo modo que lo han hecho a lo largo de las últimas décadas. El resultado es que los márgenes comerciales se estrechan, pues las prácticas de manejo resuelven de manera limitada los problemas existentes, y además están a disposición de muchos otros países con costes laborales y productivos claramente inferiores. Apenas existe conciencia de la necesidad de dotar al producto final de valor, mediante la inversión en innovación, como auténtica fuente de competitividad (aumentar los márgenes

comerciales). Y por último, la industria nacional, compuesta en su gran mayoría por pequeñas explotaciones, desconoce o recela en gran medida de las ventajas que supone la introducción de la genómica en la acuicultura.

Además, los expertos consultados han hecho especial referencia a las siguientes necesidades:

- Mayor dotación de financiación pública para proyectos de acuicultura.
- Programas de formación de personal cualificado, ya que en España hay escasez de este tipo de personal.
- Mayor consenso en las posiciones y decisiones entre la UE, la Administración Central y las Comunidades Autónomas.
- Facilitar las ubicaciones de explotaciones acuícolas, acelerando la tramitación de permisos y creando seguros piscícolas.
- Y por último, crear instalaciones adecuadas para la experimentación in vivo, sobre todo con agentes infecciosos.

Frente a los problemas existentes cada interlocutor del sector debe reflexionar para plantear soluciones reales. Así por ejemplo el **Plan Nacional de I+D** podría priorizar sus programas a proyectos integradores en especies de interés nacional y apoyar el esfuerzo inversor necesario en las empresas para establecer una planificación a medio plazo en I+D; mientras que las **Comunidades Autónomas** podrían embarcarse en el capítulo tecnológico, ayudando a las empresas a definir sus estrategias de innovación, y establecer plataformas tecnológicas en régimen de servicio e instalaciones para experimentación.

Por su parte, **Genoma España**, está evaluando actualmente la inversión en **proyectos de I+D e innovación** en Pez Plano (ej. lenguado), atendiendo a los intereses nacionales, que incluye la inversión de empresas privadas y de administraciones autonómicas y provinciales, y por lo tanto la consideración de sus necesidades de innovación, y la participación de Genoma Canada como socio tecnológico.

11. ANEXOS

ANEXO I:

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN ESPAÑA SOBRE BIOTECNOLOGÍA APLICADA AL CULTIVO DE ESPECIES PISCÍCOLAS

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Nuevas especies piscícolas	Estandarización del cultivo del dentón: supervivencia y potencial de crecimiento.	2001-2003	Conselleria de Agricultura y Pesca	Instituto de Acuicultura de Torre de La Sal. Departamento de Biología, Cultivo y Patología de Especies. Marinas, Laboratorio de Endocrinología del Crecimiento.
	Reproducción controlada del atún rojo.	1999-2001	Fondos FEDER 1998	Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN). Departamento de Biología Marina.
	Cultivo de la anguila.	2002-2003	CIRIT	Centro de Acuicultura. IRTA.
	Plan Nacional de Cultivo de Besugo.	En curso	Plan Nacional, Junta Nacional de Cultivos Marinos (JACUMAR)	Coordinador: Instituto Español de Oceanografía (Cantabria, Asturias, Galicia y Andalucía).
	Plan Nacional de Cultivo de Espáridos (excepto besugo). Dentón: reproducción, cultivo larvario, desarrollo de técnicas de preengorde y engorde de alevines y patología. Pargo: reproducción. Hurta: reproducción, cultivo larvario y preengorde.	En curso	Plan Nacional, Junta Nacional de Cultivos Marinos (JACUMAR)	Coordinador: Instituto Español de Oceanografía Andalucía, Murcia, (Comunidad Valenciana, Cataluña, Baleares y Canarias).
	Plan Nacional de Cultivo de Lenguado.	2002-2004	Plan Nacional, Junta Nacional de Cultivos Marinos (JACUMAR)	CICEM (Centro de Investigación y Cultivo de Especies Marinas). El Toruño. Junta de Andalucía. (Puerto de Santa María (Cádiz). (Andalucía, Murcia, Cataluña, Galicia, Comunidad Valenciana y Cantabria).
	Plan Nacional de Cultivo de Solénidos.	En curso	Plan Nacional, Junta Nacional de Cultivos Marinos (JACUMAR)	Centro de Investigaciones Marinas (CIMA). Conselleria de Pesca, Marisqueo y Acuicultura. Xunta de Galicia. (Galicia, Andalucía, Asturias y Cantabria).
	Proyecto integrado sobre la biología del salmón coho (<i>Oncorhynchus kisutch</i>), de reciente introducción en el embalse del Porma (León)	1999-2000	Junta de Castilla y León	Universidad de Oviedo. Grupo de Genética Acuicola. Universidad de León. Inmunología comparada.

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Nuevas especies piscícolas	Desarrollo de técnicas de cultivo de dentón (Estudios nutricionales en larvas y postlarvas e inducción a la puesta por fotoperiodo).	2000-2003	IEO.	IEO (C.O. de Murcia)
	Cultivo del lenguado.	2001-2003	VARIS.	Centro de Acuicultura, IRTA
	Cultivo integrado de almeja y rodaballo.		Contratante: Granxa Mariña Nastos S.L.	Universidad de Santiago de Compostela (USC). Dpto. Bioquímica e Bioloxía Molecular.
	Adaptación al medio marino del esturión.	2001-2003	Proyecto Aqua-Flow. Red Europea para la diseminación de información I+D+I en acuicultura.	Universidad de las Palmas de Gran Canarias, Facultad de Ciencias del Mar.
	Cultivo del pargo.	2001-2003	Proyecto Aqua-Flow. Red Europea para la diseminación de información I+D+I en acuicultura.	
	Cultivo del besugo, Pagellus bogaraveo.	2001-2003	Proyecto Aqua-Flow. Red Europea para la diseminación de información I+D+I en acuicultura. FEDER.	IEO Centro Oceanográfico de Vigo
	Estudio del cultivo del besugo (Pagellus bogaraveo B). Reproducción en el medio natural y en cautividad. Engorde en tanques y jaulas flotantes.	2000-2002	IEO, JACUMAR.	
	Regulación medioambiental, nutricional y neuroendocrina de la coloración de la piel en el bocinegro.	2001	Programa Nacional de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias.	
	Medioambiente, nutrición y regulación neuroendocrina de la coloración de la piel del pargo.	2001	Unión Europea, Programa Quality of Life and Management of Living Resources.	
Probióticos	Mejora en el procedimiento de las larvas del lenguado por medio de bacterias probióticas (PROBE).	Fin 2001	V Programa Marco de la Unión Europea (LIFE).	Instituto de Investigaciones Marinas, Vigo (CSIC), Stolt Sea Farm S.L.
Piensos	Desarrollo de piensos específicos para rodaballo.		Acuidoro S.L.	Universidad de Santiago de Compostela. Dpto. de Microbiología y Parasitología.
	Producción de cultivos de levaduras susceptibles de ser utilizados como inmunomodulares en dietas de peces.	Fin 2001	Plan Nacional de I+D+I. Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Marinas.	Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA).
	Desarrollo de sistemas orgánicos implicados en la alimentación, la conducta y la distribución interna en el esturión Acipenser naccari: Aplicaciones a su cultivo.	2001-2004	Plan Nacional de Investigación y Desarrollo e Innovación Tecnológica.	Universidad de Cádiz. Departamento de Biología.

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Crecimiento y conversión alimenticia	Incorporación de enzimas a microdietas para larvas de peces marinos.	Fin 2000	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación	Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN).
	Significado fisiológico de la somatolactina. Estudio en la dorada de la interacción de la somatolactina con la hormona de crecimiento y la prolactina.	1999-2002	Ministerio de Ciencia y Tecnología (PB98-0672-C02-01)	Instituto de Acuicultura de Torre de La Sal. Dpto. de Biología, Cultivo y Patología de Especies Marinas.
	Caracterización molecular de la lipoproteína lipasa y del receptor de vitelogenina de la lubina: estudio de su papel en los mecanismos de incorporación de lípidos en el interior de los oocitos durante el desarrollo gonadal.	2000-2003	Plan Nacional de I+D+I	Instituto de Acuicultura de Torre de La Sal.
	Metabolismo de carbohidratos en peces: La glucoquinasa y su regulación en la dorada (<i>Sparus aurata</i>).	2001-2003	CICYT	Universidad de Málaga. Departamento de Biología Celular y Genética.
Control de la maduración	Aplicación de técnicas de criopreservación de esperma y polimorfismos moleculares para la selección de reproductores de dorada y anguila europea.	2003-2006	MCYT	Universidad Politécnica de Valencia. Dpto. de Ciencia Animal. Grupo de Investigación de Recursos Piscícolas (GIRA).
	Optimización de los métodos de control de la reproducción en cautividad de la anguila europea: Inducción hormonal de la maduración gonadal, evaluación de la calidad de los gametos y criopreservación de esperma.	2001-2006	Universidad Politécnica de Valencia	Instituto de Acuicultura de Torre de La Sal. Departamento de Fisiología de la Reproducción de Peces.
	Molecular and physiological basis for the optimization of GNRH induced spawning techniques in gamed fish, particularly, the sea bass (<i>Dicentrarchus labrax</i>) and the sea bream (<i>Sparus aurata</i>).	Fin 2000	UE	Instituto de Acuicultura de Torre de La Sal. Departamento de Fisiología de la Reproducción de Peces.
	Control ambiental y hormonal del período reproductor de la lubina (<i>Dicentrarchus labrax</i>): gestión del stock de reproductores y calidad de puestas.	2000-2002	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Instituto de Acuicultura de Torre de La Sal. Dpto. de Fisiología de la Reproducción de Peces.
	Desarrollo de técnicas de control del sexo para el cultivo de la lubina: caracterización de los receptores de esteroides sexuales y de la actividad aromatasa.	Fin 1999	Plan Nacional de I+D+I	Instituto de Acuicultura de Torre de La Sal.
	Clonaje, caracterización funcional y expresión de los receptores de las gonadotropinas (LH y FSH) en la lubina (<i>Dicentrarchus labrax</i> L.).	2001-2004	Plan Nacional de I+D+I	Instituto de Acuicultura de Torre de La Sal.

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Fecundidad y reproducción	Estrategia reproductiva de la merluza (<i>Merluccius merluccius</i>) en aguas de la plataforma gallega.	Fin 2001	Xunta de Galicia y CSIC	Instituto de Investigaciones Marinas (IIM). Grupo de pesquerías.
	Mejora de la fertilidad en rodaballo (<i>Scophthalmus maximus</i> L.): efecto de la utilización de la L-carnitina y asthaxantina en la dieta.	1999-2003	IEO	IEO (C.O. de Santander)
	Aplicación y desarrollo de tecnologías para la conservación de gametos y embriones en piscicultura.	Fin 2001	IEO, CICYT, FEDER	IEO (C.O. de Santander) Universidad de León.
	Mecanismos fisiológicos durante la hidratación del huevo de peces marinos: caracterización y función de canales moleculares de agua (aquaporinas) en la dorada (<i>Sparus aurata</i>), el lenguado (<i>Solea senegalensis</i>) y el fúndulo (<i>Fundulus heteroclitus</i>).	2002-2005	CICYT	Centro de Acuicultura IRTA.
	Reproducción controlada del atún rojo.	Fin 2001	Plan Nacional de I+D+I	Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN).
	Crecimiento y desarrollo gonadal comparado de rodaballos diploides y triploides, y producción de poblaciones todo-hembras estériles.	2000-2001	IEO, CYTMAR	Universidad de Santiago de Compostela (USC) IEO, Vigo.
Diagnóstico de patologías piscícolas	Validación de técnicas de PCR para el diagnóstico de los parásitos <i>Bonamia ostreae</i> , <i>Marteilia refringens</i> y <i>Perkinsus atlanticus</i> en moluscos bivalvos de interés comercial para Galicia.	2001-2003	Xunta de Galicia	IIM Grupo de Patología de Organismos Marinos.
	Infectious fish Rhabdovirus from cDNA: a tool for salmonid protection in aquaculture.	Fin 2001	UE	Instituto de Investigaciones Marinas (IIM).
	Estudio del síndrome del alevín desalmónidos en Asturias, desarrollo de un sistema de diagnóstico rápido de la enfermedad e identificación de factores exocelulares de virulencia de <i>Cytophaga psychrophila</i> .	1999-2001	Ministerio de Educación y Cultura-Fondos FEDER	
	Identificación y análisis de genes de <i>Yersinia ruckeri</i> inducidos específicamente durante el proceso de infección de truchas (<i>Onchorhynchus mykiss</i>).	1999-2003	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Universidad de Oviedo Grupo de patología microbiana y diagnóstico en acuicultura.
	Papel de la proteasa Yrp1 producida por <i>Yersinia ruckeri</i> en la enfermedad de la boca roja de salmónidos.	1999-2000	Principado de Asturias - FICYT	

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Diagnóstico de patologías piscícolas	Desarrollo de métodos diagnósticos y estudio de virus líticos y persistentes que afectan a dorada (<i>Sparus auratus</i> L.).	Fin 1998	Plan Nacional de I+D+I	Centro de Investigaciones Biológicas (CIB-CSIC) Dpto. de Microbiología Molecular
	Caracterización de co-infecciones víricas en salmónidos y diseño de métodos inmunológicos y moleculares para su diagnóstico.	Fin 2001	Plan Nacional de I+D+I	
	Patogenicidad de serotipos españoles del virus de la necrosis pancreática infecciosa (IPNV) en trucha común (<i>Salmo trutta</i>) y estudio de proteínas implicadas en la virulencia.	Fin 2001	Plan regional de investigación de la Comunidad de Madrid	
	Inducción de proteínas antivíricas en salmónidos y estudio de su actividad frente a cepas de distinta virulencia.	2001-2004	Plan Nacional de I+D+I. Programa Nacional de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias.	
	Diseño de métodos inmunológicos y moleculares para el diagnóstico precoz de las infecciones producidas por el virus de Linfocistis en los cultivos de doradas (<i>Sparus Aurata</i> L.).	1999-2001	CICYT	Universidad de Málaga. Dpto. de Ingeniería Química. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (G.I.G.A.).
	Evaluación de nuevas especies de <i>Vibrio</i> con potencial patogénico implicados en Acuicultura.		CICYT	Universidad de Málaga. Grupo de Investigación Patologías de Especies Cultivadas.
	Desarrollo y estandarización de métodos de PCR múltiples para la detección rápida de patógenos en acuicultura.	2001-2003	Programa Nacional de Alimentación INIA	Universidad Complutense Facultad de veterinaria. Laboratorio de Ictiopatología del Dpto. de Patología Animal I (Sanidad animal).
	Hacia nuevas técnicas de diagnóstico de estreptocosis y pasteurelosis en peces marinos.	2001-2003	Proyecto Aqua-Flow Red Europea para la diseminación de información I+D+I en acuicultura	Universidad de Santiago de Compostela (USC) Dpto. Bioquímica e Biología Molecular.
	Separation, identification and characterization of the normal and abnormal isoform of prion protein from normal and experimentally infected fish.	Fin 2001	CEE-FAIR CT 97-3308	Instituto de Investigaciones Marinas (IIM). Grupo de Patología de Organismos Marinos.
	Producción de dorada: enfermedad de invierno.	2000-2003	CIRIT	Centro de Acuicultura IRTA.
	Producción de dorada: enfermedad de invierno.	1999-2002	CIRIT. Generalitat de Catalunya	Univ. Autónoma de Barcelona. Dpto. de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología.
	Determinantes genéticos de virulencia para anguilas en <i>Vibrio vulnificus</i> .	2002-2005	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Universidad de Valencia, Dpto. de Microbiología y Ecología.
	Prevençió i Patologia en Peixos d'Aqüicultura.	2000-2001	Ajuts de suport als grups de recerca de Catalunya	Univ. Autónoma de Barcelona. Dpto. de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología.
	Diagnosis, epidemiology and control of an enteric myxosporosis of commercial Mediterranean fish.	2002-2005	UE Programa Europeo de Calidad de Vida.	Universidad de Murcia. Facultad de Biología. Grupo de investigación de Sistema Inmunitario Inespecífico de Peces Teleosteos.

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Clonación de proteínas de especies piscícolas	Utilización de peces modificados genéticamente como biofactorías: sobreexpresión de péptidos antimicrobianos como alternativa a la utilización de antibióticos en acuicultura http://www.inia.es (Redes temáticas: Fish Biofactory Network).	2002-2004	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Centro de Biología Molecular y Celular. Universidad Miguel Hernández (CBMC-UMH).
	Biofactorías de inmunoproteínas de peces: su aplicación en enfermedades infecciosas.	2003-2005	Plan Nacional I+D, MCyT	Universidad de Murcia Facultad de Biología. Grupo de investigación de Sistema Inmunitario Inespecífico de Peces Teleósteos. Coordinado con Univ. de Málaga, Dpto. de Biología Celular y Genética (Dra. M.C. Álvarez).
	Peces como biofactorías para la producción de defensinas humanas http://www.inia.es (Redes temáticas: Fish Biofactory Network).	2003-2007		INIA. CSIC-IATS. Universidad Miguel Hernández (UMH). University of Southampton LiverDrugs TinaMenor.
	Expresión, localización celular y mecanismo de secreción de la IL-1b de peces con interés comercial.	2003-2005	Plan Nacional I+D, MCyT	Universidad de Murcia Facultad de Biología. Grupo de investigación de Sistema Inmunitario Inespecífico de Peces Teleósteos.
	Clonación y expresión génica de citoquinas de peces implicadas en la respuesta inmune antiviral.	2003-2005	Plan Nacional I+D, MCyT	Universidad de Murcia Facultad de Biología. Grupo de investigación de Sistema Inmunitario Inespecífico de Peces Teleósteos <u>Coordinado con IMM, CSIC (Dr. Antonio Figueras)</u>
OMGs y Células madre	Potenciación del sistema de inmunidad natural en dorada mediante sobreexpresión del gen de lisozima de trucha.			Universidad de Málaga Dpto. de Biología Celular y Genética.
	Biotecnología de peces: mejora de la transfección y transformación de sus líneas celulares (pez cebra).	2003	INIA	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) Dpto: Biotecnología.
	Desarrollo de líneas celulares de especies marinas de peces como sistemas in vitro de expresión génica, con especial énfasis en las especies antes mencionadas.	2001-2003	CICYT	Universidad de Málaga Dpto. de Biología Celular y Genética.
	Desarrollo de células totipotentes ES en dorada como herramientas para su modificación genética.			
	Modificación genética de la dorada mediante transferencia de ADN exógeno a embriones.			Consejería de Industria, Comercio y Turismo (Junta de Andalucía).

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Vacunas	Diseño de vacunas y procedimientos de inmunización de doradas cultivadas frente a <i>Pasteurella Piscicida</i> y <i>Vibrio Alginolyticus</i> . Aplicación al diseño de una vacuna divalente frente a ambos organismos.	Fin 1999	CICYT CUPIMAR ha firmado recientemente un contrato de I+D con el grupo para su desarrollo.	Universidad de Málaga Dpto. de Ingeniería Química. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (G.I.G.A.), Grupo de Investigación Patologías de Especies Cultivadas.
	Protección contra virus en truchas autóctonas para repoblación y piscicultura. Inmunización con cápsides vacías de IPNV.	Fin 1999	Comunidad Autónoma de Madrid.	Centro Nacional de Biotecnología (CNB).
	Protección de antígenos por microencapsulación y su aplicación al desarrollo de vacunas orales para su uso en piscicultura.	2000- 2001	Fondos FEDER 1998 (1FD97-1828).	Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN). Departamento de Biología Marina Grupo de Acuicultura.
	Vacunación genética en Acuicultura. Métodos de inmunización en el modelo trucha/rabdovirus.	2000-2004	SC00-046	INIA Dpto: Biotecnología Grupo de Peces transgénicos.
	DNA vaccines for Aquaculture: Development and testing of plasmid vectors for vaccinating against bacterial and viral fish pathology.	1999-2002	CT98-4003	INIA Dpto: Biotecnología Grupo de Peces transgénicos.
	Infectious fish rhabdovirus from cloned cDNA: a tool for salmonid protection in Aquaculture.	1999-2002	CT98-4398	INIA Dpto: Biotecnología Grupo de Peces transgénicos. Instituto de Investigaciones Marinas (IIM).
	Diseño y desarrollo de una vacuna contra la vibriosis producida por <i>Vibrio vulnificus</i> serovar E (o biotipo 2) en anguilas con aplicación en piscifactorías dedicadas al cultivo intensivo.	Premio Jacumar de investigación en acuicultura. Año 2001	CICYT Colaboración con la empresa Valenciana de Acuicultura S.A.	
	Diseño de una vacuna oral contra la vibriosis producida por <i>Vibrio vulnificus</i> serovar E en anguilas, con aplicación en piscifactorías dedicadas al cultivo intensivo.	2002-2004	CICYT Colaboración con la empresa Valenciana de Acuicultura S.A.	Universidad de Valencia. Dpto. de Microbiología y Ecología.
	Desarrollo de métodos de control de la vibriosis causada por el patógeno bacteriano <i>Vibrio vulnificus</i> con aplicación en piscifactorías de anguila y tilapia en co-cultivo.	2002-2004	Ministerio de Ciencia y Tecnología.	
	Caracterización epidemiológica y molecular y diseño de vacunas frente a <i>Lactococcus garvieae</i> , agente productor de la lactococosis en trucha.	Premio Jacumar de investigación en acuicultura. Año 2000		Univ. Comp. de Madrid. Facultad de Veterinaria Laboratorio de Ictiopatología del Dpto. de Patología Animal I (Sanidad animal).
	Actividad antiviral de un extracto de hoja de olivo frente al virus de la septicemia hemorrágica (VHSV), un rhabdovirus de salmonídeos. Aplicaciones en acuicultura.	III Premio Jacumar de investigación en acuicultura. Año 2002		Universidad Miguel Hernández. Elche. Alicante. Centro de Biología Molecular y Celular.
	Intraperitoneal immunopathological reaction after vaccination of farmed fish. Studies of basic immune mechanisms.	2000-2002	UE Programa "Calidad de Vida y Gestión de Recursos Vivos".	Universidad de León. Inmunología comparada.

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Calidad de la carne (color, calidad global, etc.)	Estudio de los mecanismos proteolíticos involucrados en la pérdida de calidad de rodaballo (Psetta máxima) de cultivo comercializado: Definición de biomarcadores y aplicación de metodologías avanzadas de conservación.	2001- 2004	Xunta de Galicia, Proyecto PGIDT 01 MAR 40202 PR	Grupo de Química de productos marinos (IIM).
	Aplicación de la proteómica en la caracterización y diseño de péptidos específicos para su utilización en la obtención de anticuerpos monoclonales diferenciadores de especies comerciales pertenecientes a la Familia Merlucciidae.	2001-2004	CICYT. AGL2000-0440-P4-02.	
Identificación de especies piscícolas	Development of molecular genetic methods for the identification and quantification of fish and seafood.	2001-2003	UE/ Xunta de Galicia/ CICYT	Universidad de Santiago de Compostela (USC) Dpto. Bioquímica e Bioloxía Molecular.
	Desarrollo de un kit de diagnóstico rápido para la identificación de especies de túnidos y gádidos en productos pesqueros frescos y procesados mediante técnicas de análisis de ADN (KITCOL).	2001-2004	CICYT Proyecto coordinado AGL-2001-0450-P4-05	
	Identificación de especies en túnidos enlatados por caracterización de ácidos nucleicos.		Contratante: AIR-CEE	
	Genetic identification of fish eggs by species-specific DNA markers for use in stock biomass assessments and detection of comercial fraud.	2000-2004	U. E. Contract QLK5-CT1999-01157	
	Ayuda complementaria al proyecto europeo "Genetic identification of fish eggs by species-specific DNA markers for use in stock biomass assessments and detection of comercial fraud".	2000-2004	Ministerio de Ciencia y Tecnología, SEPCYT	
	Identificación ictiológica de especies.		Servicio externo	
	Desarrollo de marcadores genéticos moleculares aloenzimas y microsátélites en el lenguado cultivado, Solea senegalensis.	2000-2002	Programa FEDER	
Selección asistida por marcadores	Aplicaciones de la mejora y selección genética en la producción de rodaballo.	Fin 2002	CICYT	Universidad de Oviedo. Grupo de Genética Acuicola. IEO, Santander.
	Aplicaciones prácticas de los marcadores microsátélites en salmón atlántico.		UE-DGXIV98-0017	Universidad de Oviedo. Grupo de Genética Acuicola.

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Caracterización genética	Estudio de la caracterización genética de las líneas existentes en el centro piscícola experimental de Vegas del Condado, León.		Servicio Territorial de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de León. Junta de Castilla y León.	Universidad de Oviedo. Grupo de Genética Acuicola.
	Caracterización genética de las poblaciones de trucha de los ríos guipuzcoanos.		Departamento de Agricultura y Espacios Naturales. Diputación Foral de Guipuzcoa.	
	Avances genéticos en la conservación biológica de la trucha (<i>Salmo trutta</i> L.). El uso de técnicas moleculares en la evaluación y gestión del recurso.		Ministerio de Educación y Ciencia.	
	Estudios genéticos en el besugo (<i>Pagellus bogarabeo</i>).		JACUMAR.	
	Genetic characterization of stock structure of two species of Angletfish (<i>Lophius piscatorius</i> and <i>L. budegassa</i>) of the Northeast Atlantic.		EU	
	Estudio genético comparativo de las poblaciones de trucha común existentes en diversos cursos fluviales de Bizkaia.		Diputación Foral de Bizkaia.	
	Variación histórica de la diversidad genética y demográfica del salmón Atlántico (<i>salmo salar</i>) en poblaciones cantábricas.	2000-2003	Ministerio de Educación y Ciencia	Universidad de Oviedo. Grupo de Genética de Especies Piscícolas.
	Análise xenética de poboacións de troita común.		Contratante: TRAGSA.	Universidad de Santiago de Compostela (USC) Dpto. Bioloxía Fundamental.
Desarrollo larvario	Cultivo larvario de besugo.	Fin 2001	IEO, FEDER	IEO (C.O. de Vigo)
	Tasa de desarrollo y estado fisiológico de larvas de peces en relación con las condiciones del entorno físico-biológico.	1997-2001	Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Marinas (CYTMAR).	Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA). Departamento de Recursos Naturales. Grupo de Ictiología.
	Optimización de la cría larvaria del dentón en condiciones intensivas y semi-intensivas de cultivo.	2001-2003		Univ. Autónoma de Barcelona. Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología.
	Problemática de la fase larvaria del cultivo del Dentón (<i>Dentex dentex</i>) y acercamiento de un protocolo de engorde a nivel comercial.	2000-2003	VARIS	Centro de Acuicultura, IRTA.
	Optimización de cría larvaria del dentón (<i>Dentex dentex</i>) en condiciones intensivas y semiintensivas de cultivo.	2000-2003	INIA	

Área de Investigación	Proyectos	Fecha	Organismo Financiador	Centro de Investigación
Embriología	Línea de investigación: Criopreservación de embriones.			Universidad de León Dpto. de Biología Celular y anatomía.
Otros	Utilización de cultivos celulares de peces para la selección y estudio de la acción de agentes inmunostimulantes utilizables en acuicultura.	2002-2003	Programa Nacional de I+D Orientada de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias	Universidad de León Inmunología comparada.
	Seguimiento y valoración de los efectos globales de los disruptores endocrinos en el medio acuático. Desarrollo de ensayos para vitelogenina en especies características de la Comunidad Valenciana.	2002-2003	Generalitat Valenciana	Universidad Politécnica de Valencia Dpto. de Ciencia Animal, Grupo de Investigación de Recursos Piscícolas (GIRA) y Dpto. de Química.
	Prevención de la aparición de estrés y de enfermedades infecciosas mediante la aplicación de diversas estrategias de inmunostimulación.	II Premio Jacumar de investigación en acuicultura. Año 2001		Universidad de Murcia Facultad de Biología. Grupo de investigación de Sistema Inmunitario Inespecífico de Peces Teleósteos.
	Caracterización de citoquinas pro-inflamatorias de dorada (<i>Sparus aurata</i> L.).	2002-2004	Fundación Séneca	Universidad de Murcia Facultad de Biología. Grupo de investigación de Sistema Inmunitario Inespecífico de Peces Teleósteos.
	Neurobiología de Peces.			Universidad de Santiago de Compostela (USC) Área de biología celular Dpto. de biología celular e ecología
	Histopatología de peces Inmunología de peces.			
	Caracterización cariotípica e alozímica de stocks de piscifactoría e poboacións naturais de rodaballo.		CICYT	Universidad de Santiago de Compostela (USC) Dpto. Biología Fundamental. Instituto de Acuicultura USC.
	Modulación de la respuesta inmune frente a enfermedades virales de peces. Bases moleculares.	2000-2003	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Grupo de Patología de Organismos Marinos (IIM).
	Stress and immunosuppression in fish.			Univ. Autónoma de Barcelona. Dpto. de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología (Ictiofisiología y Acuicultura)
	Asistencia científico-técnica sobre estado sanitario en stocks de peixes (rodaballo, salmón,...).		Norafish S.A.; Aquazul S.A.; Sagal; Dibac; Ewos; Ecm; Pecumar; Quilmas S.A.; Explotacións Marinas S.A., Prodemar.	Universidad de Santiago de Compostela (USC) Dpto. Microbiología e Parasitología. Instituto de Acuicultura USC.
	Asistencia técnica en materia de análisis microbiológicos, medidas preventivas y profilácticas.		Valenciana de Acuicultura S.A.	Universidad de Valencia Dpto. de Microbiología y Ecología.

Tabla 20. Proyectos de Investigación en España sobre biotecnología aplicada al cultivo de especies piscícolas (Fuente: elaboración propia).

ANEXO II:

PATENTES PUBLICADAS O SOLICITADAS EN ESPAÑA SOBRE BIOTECNOLOGÍA APLICADA AL CULTIVO DE ESPECIES PISCÍCOLAS

Patente	Nº patente	Solicitante	Fecha de solicitud	Estado
Aplicación del levamisol en la fabricación de productos dietéticos inmunoestimulantes para peces	ES2137106		25/03/1997	Publicada
Procedimiento para la obtención de la IL-1b de dorada (<i>Sparus aurata</i> L.) y su uso como inmunoestimulante y adyuvante en peces objeto de cultivo industrial	P200002846 (Nº de solicitud)	Universidad de Murcia	28/11/2000	Solicitada
Aplicación del levamisol en la fabricación de productos dietéticos promotores del crecimiento para peces	ES2143442		25/03/1997	Publicada
Procedimiento de identificación y utilización como vacuna de la proteína Yrp1 de <i>Yersinia ruckeri</i>	P20000102360 (Nº de solicitud)	Universidad de Oviedo	22/10/2001	Solicitada
Péptidos activadores de la infectividad del Rhabdovirus de la Septicemia Hemorrágica Virica de salmonidos	P200101232/2 (Nº de solicitud)	Universidad Miguel Hernández	2001	Solicitada
Procedimiento de obtención de la vacuna anti-Pasteurella piscicida (DI) para la prevención de la enfermedad pasteurellosis en dorada y lubina	ES2115550		14/10/1996	Publicada
Procedimiento de obtención de la vacuna anti-Enterococcus sp. (ET-2) para la prevención de la enfermedad enterococosis del rodaballo	ES2115551		14/10/1996	Publicada
Vacuna anti-Vibrio anguillarum (GAVA-3) para la prevención de la enfermedad vibriosis en rodaballo y peces salmonidos, y procedimiento de obtención	ES2135355	Universidad Santiago de Compostela	06/04/1999	Publicada
Vacuna anti-Flexibacter maritimus (FM-95) para la prevención de la enfermedad "flexibacteriosis marina" en rodaballo y peces salmonidos, y procedimiento de obtención	ES2139549		21/07/1999	Publicada
Procedimiento para la identificación de la especie melva (<i>Auxis thazard</i>) en conservas de melva	ES2161135		19990507	Publicada
Procedimiento para la identificación de las especies rojo (<i>Thunnus thynnus</i>), patudo (<i>Thunnus obesus</i>) y listado (<i>Katsuwonus pelamis</i>) en conservas de atún, y de la especie rabil (<i>Thunnus albacares</i>) en conservas de atún y atún claro	ES2159234	Universidad Santiago de Compostela/CSIC	07/05/1999	Publicada
Procedimiento para la identificación de albacora (<i>Thunnus alalunga</i>) en conservas de atún blanco, albacora o bonito del norte	ES2161137		07/05/1999	Publicada
Vacuna frente a vibriosis producida por vibrio vulnificus biotipo 2 en anguilas	ES2127702	Universidad de Valencia	13/06/1997	Publicada
Mejora de un vector DNA para su utilización-reutilización en el método de vacunación DNA por inmersión-sonicación en peces	—	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)	2003	En trámite
Mutantes de la proteína G del virus de la septicemia hemorrágica de la trucha atenuados en la fusión para su uso como vacunas DNA	—		2003	En trámite

Tabla 21. Patentes publicadas o solicitadas en España sobre biotecnología aplicada al cultivo de especies piscícolas (Fuente: elaboración propia).

ANEXO III:

CLASIFICACIÓN DE EMPRESAS DE ACUICULTURA EN ESPAÑA POR ESPECIE CULTIVADA

Especie	Empresa	Provincia
Anguila	Fabatmar-Mareny, S.L.	Valencia
	Valenciana de Acuicultura	Valencia
Atún	Tuna Farms of Mediterraneo	Murcia
	Tuna Graso, S.A.	Murcia
	Viver-Atún, S.A.	Murcia
	Moluscos Castells	Tarragona
	Ricardo Fuentes e Hijos	Tarragona
Besugo	Control y Renovación Electromecánica, S.A. Servicios (CORELSA)	La Coruña
	ISCASER, S.A.	La Coruña
	Luso Hispana De Acuicultura, S.L	La Coruña
	Ramon Pose e Hijos, S.L.	La Coruña
Carpa	Carpeix Pollenca	Baleares
Dorada	ABSA Acuicultura Balear, S.A.	Baleares
	Acuibag, S.L.	Las Palmas
	Acuicultura Alfacs	Tarragona
	Comercial de Acuicultura Delamar, S.L. (ACUIDELAMAR)	Almería
	Acuigigantes, S.L.	Santa Cruz de Tenerife
	Acuicultura Marina de Canarias (ACUIMARCA)	Santa Cruz de Tenerife
	Acuinova, S.L. Grupo Pescanova, S.A.	Huelva, Cádiz
	Adrapec, S.A.	Almería
	ADSA Alevines y Doradas, S.A.	Las Palmas
	Alevines de Guardamar	Alicante
	Alevines del Mediterráneo, S.L.	Valencia
	Alevines del Piedras SCA	Huelva
	Anna Rubinat Cabo	Tarragona
	Aquadelt, S.A.	Tarragona
	Aquadrava Tecnología Marina	Tarragona
	Blue & Green (B&G) Piscifactoría del Sureste	Barcelona
	Coop. de Acuicultores del Mar de Canarias (CAMARCA)	Santa Cruz de Tenerife
	Canarias de Explotaciones Marinas, S.L. (CANEXMAR)	Las Palmas
	Centro de Desarrollo de Recursos Alternativos, S.L. (CEDRA)	Santa Cruz de Tenerife
	Ceutamar, S.L.	Ceuta
	Conei Overseas Investment, S.L.	Barcelona
	Coremar, S.L.	Valencia
	CRIPESA Cría de Pescado, S.A.	Tarragona
	Culmarex, S.A.	Murcia
	Culmasur, S.A.	Huelva
	Cultivos Marinos del Maresme, S.A. (CULTIMAR)	Barcelona
	Cultivos Piscícolas Marinos, S.A. (CUPIMAR)	Cádiz
	Cultivos Marinos Golden Ocean, S.L.	Santa Cruz de Tenerife
	Cultivos Marinos Murcianos, S.A.	Murcia
	Cultivos Marinos Teide, S.L.	Santa Cruz de Tenerife
	DORCAN Doradas de Canarias, S.L	Las Palmas
	Esteros Leocadia, S.L.	Cádiz
	Esteros del Piedras, S.L.	Huelva

Especie	Empresa	Provincia
Dorada	Esteros de Sancti Petri, S.A.	Cádiz
	GESA Peix des Murterar	Baleares
	Gramacan, S.A.	Las Palmas
	Gramamed, S.L.	Alicante
	Granja Marina del Masnou, S.L.	Barcelona
	Granja Marina Playa de Vargas	Las Palmas
	Granja Marina Safor, S.L.	Alicante
	Langostinos de Huelva, S.A.	Huelva
	Les Cases Acuicultura, S.A.	Murcia
	Asociación de Pequeños Productores de Esteros de la Bahía de Cádiz (APE)	Cádiz
	Manuel Galán de Ahumada	Cádiz
	MARESA Mariscos de Estero, S.A.	Huelva
	Martorres	Alicante
	Piscifactoría Aguadulce, S.L. (PIAGUA)	Almería
	Piscifactorías Framar, S.L.	Almería
	Piscicultura Marina Mediterránea, S.L. (PISCIMAR)	Castellón
	Preengorde de Doradas para Maricultura, S.L. (PREDOMAR)	Almería
	PROMAN Promotora Alpujarreña de Negocios, S.L.	Granada
	Sociedad Europea de Acuicultura, S.L. (SEA)	Alicante
	Socat Canarias, S.L .	Santa Cruz de Tenerife
Sudoeste Cultivos Marinos, S.L.	Santa Cruz de Tenerife	
Tinamenor, S.A.	Cantabria	
Valenciana de Acuicultura, S.A.	Valencia	
Esturión	Piscifactoría de Sierra Nevada, S.L.	Granada
Lenguado	Alevines de Guardamar	Alicante
	Cultivos Piscícolas Marinos, S.A. (CUPIMAR)	Cádiz
	Esteros Leocadia, S.L.	Cádiz
	Manuel Galán de Ahumada	Cádiz
	Mariscos de Estero, S.A. (MARESA)	Huelva
	Promotora Alpujarreña de Negocios, S.L. (PROMAN)	Granada
Lubina	Asociación de Pequeños Productores de Esteros de la Bahía de Cádiz (APE)	Cádiz
	Aquicultura Balear, S.A. (ABSA)	Baleares
	Comercial de Acuicultura Delamar, S.L. (ACUIDELAMAR)	Almería
	Acuigigantes, S.L.	Santa Cruz de Tenerife
	Acuicultura Marina de Canarias (ACUIMARCA)	Santa Cruz de Tenerife
	Alevines y Doradas, S.A. (ADSA)	Las Palmas
	Alevines de Guardamar	Alicante
	Alevines del Mediterráneo, S.L.	Valencia
	Alevines del Piedras SCA	Huelva
	Aquadrava Tecnología Marina	Tarragona
	Blue & Green (B&G) Piscifactoría del Sureste	Barcelona
	Coop. de Acuicultores del Mar de Canarias (CAMARCA)	Santa Cruz de Tenerife
	Canarias de Explotaciones Marinas, S.L. (CANEXMAR)	Las Palmas
	Centro de Desarrollo de Recursos Alternativos, S.L. (CEDRA)	Santa Cruz de Tenerife
	Ceutamar, S.L.	Ceuta
	Cultivos Marinos Golden Ocean, S.L.	Santa Cruz de Tenerife
	Cultivos Marinos Teide, S.L.	Santa Cruz de Tenerife

Especie	Empresa	Provincia
Lubina	Conei Overseas Investment, S.L.	Barcelona
	Coremar, S.L.	Valencia
	Cría de Pescado, S.A. (CRIPESA)	Tarragona
	Culmarex, S.A.	Murcia
	Cultivos Marinos del Maresme, S.A. (CULTIMAR)	Barcelona
	Cultivos Piscícolas Marinos, S.A. (CUPIMAR)	Cádiz
	Esteros de Sancti Petri, S.A.	Cádiz
	Piscifactorías Framar, S.L.	Almería
	Gestión de Recursos Marinos, S.L.	Las Palmas
	Gramacan, S.A.	Las Palmas
	Gramamed, S.L.	Alicante
	Granja Marina del Masnou, S.L.	Barcelona
	Granja Marina Playa de Vargas	Las Palmas
	Granja Marina Safor, S.L.	Alicante
	Les Cases Acuicultura, S.A.	Murcia
	Martorres	Alicante
	Piscifactoría Aguadulce, S.L. (PIAGUA)	Almería
	Piscicultura Marina Mediterránea, S.L. (PISCIMAR)	Castellón
	Promotora Alpujarreña de Negocios, S.L. (PROMAN)	Granada
	Socat Canarias, S.L.	Santa Cruz de Tenerife
Rodaballo	Acuidoro, S.L.	La Coruña
	Aquacria Arousa, S.L.	Pontevedra
	Granja Marina San Felipe	La Coruña
	Insuiña de Acuinova. Pescanova, S.A.	Pontevedra
	Luso-Hispana de Acuicultura, S.L. Grupo Isidro de la Cal	La Coruña
	Marcultura, S.A.	La Coruña
	Prodemar de Stolt Sea Farm, S.A.	La Coruña
	Tinamenor, S.A. Cultivos Marinos	Cantabria
Tenca	Agropecuaria del Oeste, S.A.	Madrid
	Casillas del Carmen	Cáceres
	Charca La Generala	Cáceres
	Cultivos Piscícolas de Extremadura, S.L.L. (CUADEX)	Badajoz
	El Tencarral, S.L.	Cáceres
	Intertencas, S.L.	Cáceres
	Tencas de Casaseca, S.L.	Zamora
	Tendesala, S.L.	Salamanca
Tilapia	I.E.S.E. Iniciativas Empresariales del Sur de Europa	Córdoba
	Valenciana de Acuicultura, S.A.	Valencia
Trucha	Alevines del Moncayo, S.A.	Soria
	Basakaitz-Ezkurra, S.A.	Navarra
	Carballiño Industrial, S.A. (CARINSA)	Orense
	Conei Overseas Investment, S.L. (CONEI)	Barcelona
	Genética y Ovas, S.A.	Huesca
	Grupo Tres Mares, S.A.	La Coruña
	Industrias Piscícolas Españolas Agrupadas (IPEASA)	Madrid
	Marcultura, S.A.	La Coruña
	Navarra Food, S.A.	Navarra

Especie	Empresa	Provincia
Trucha	Ovapiscis, S.A. Grupo Isidro de la Cal	Lugo
	Pisceo, S.A.T. Grupo Isidro de la Cal	Lugo
	Piscifactoría Alba de Tormes	Salamanca
	Piscifactoría del Cadi, S.A.	Barcelona
	Piscifactoría Coruñesa, S.A. Grupo Isidro de la Cal	La Coruña Lugo Asturias
	Piscifactoría de Campoo, S.A.	Palencia
	Piscifactoría de Encinas	Salamanca
	Piscifactoría de Grado	Salamanca
	Piscifactoría del Iregua	La Rioja
	Piscifactoría de Soutorredondo, S.A.	La Coruña
	Piscifactoría del Turia, S.L.	Lugo
	Piscifactoría El Molino	Cuenca
	Piscifactoría Illana	Guadalajara
	Piscifactoría Industrial El Zarzalejo, S.A.	Albacete
	Piscifactoría Molinou, S.L.	Lérida
	Piscifactoría Río Piedra	Zaragoza
	Piscifactoría Sierra Nevada, S.L.	Granada
	Piszolla, S.L. Grupo Piszolla	Guadalajara
	Ramón Pose e Hijos, S.L. Grupo Isidro de la Cal	LugoLa Coruña
	Truchas de Fuentehermosa	León
	Truchas de Leiza	Navarra
	Truchas del Cinca	Huesca
	Truchas del Gallo, S.A. (TRUGASA)	Guadalajara
	Truchas del Segre, S.A.	Lérida
	Truchas del Principado, S.L.	Asturias
	Truchas del Ríopar	Albacete
	Truchas del Saja	Cantabria
	Truchas del Selmo	León
	Truchas del Umia	Pontevedra
	Truchas Erreka, S.A.	Guipúzcoa
	Truchas Fuentermosa	Asturias
	Truchas Gavin	Lugo
	Truchas Guadalope Maestrazgo, S.A.	Barcelona
	Truchas Javalambre	Teruel
	Truchas Nusi, S.L.	Alava
	Truchastur, S.A.	Asturias
TRUCHECA	Guadalajara	
Truchas del Gallo, S.A. (TRUGASA)	Guadalajara	

Tabla 22. Clasificación de empresas de acuicultura en España por especie cultivada (Fuente: elaboración propia).

12. Referencias

- ABRAC, 1995. Performance standards for safely conducting research with genetically modified fish and shellfish. Final Draft April 15, 1995. Agriculture Biotechnology Research Advisory Committee. US Department of Agriculture. Documentos Nos. 95-01 y 95-02.
- Acuicultura 11 (1999). Documentos COTEC sobre necesidades tecnológicas.
- ANSTF (Aquatic Nuisance Species Task Force), 1994. Aquatic Nuisance Species Act. Findings, conclusions and recommendations of the Intentional Introductions Policy Review. Report to Congress of the Aquatic Nuisance Species Task Force. Under Secretary of Commerce for Oceans and Atmosphere and Fish and Wildlife Service, EE.UU. 53.
- Arnal, J. I. (1980). Posibilidades de la Acuicultura en el litoral español. En Beca Rumasa de Investigación. ed Analisis Economicos S.A. 1:1-337.
- Balcázar, J. L. Uso de probióticos en acuicultura: Aspectos generales. CIVA 2002, 877-881.
- Barnabe, G. (1990) Aquaculture. Ellis Horwood Books in Aquaculture and Fisheries Support. Ellis Horwood Ltd.
- Bejar, J.; Hong, Y.; Alvarez, M.C. (2002). An ES-like cell line from the marine fish *Sparus aurata*: characterization and chimaera production. *Transgenic Res.* Jun; 11 (3): 279-89.
- Briggs, J. P. (2002). the zebrafish: a new model organism for integrative physiology. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol* 282: R3-R9.
- Brocal, I.; Falcó, A.; Pérez, L.; Coll, J.; Estepa, A. (2003). Péptidos antimicrobianos en acuicultura: clonaje y expresión in vitro de la pleurocidina utilizando un vector regulado por secuencias de pez ("all fish vector") Instituto de Biología molecular y celular, Universidad Miguel Hernández/ INIA. IX Congreso Nacional de Acuicultura, Cádiz, Mayo 2003. Libro de Resúmenes.
- Chen, S. L., *et al.* (2003). Establishment of a pluripotent embryonic cell line from sea perch (*Lateolabrax japonicus*) embryos. *Aquaculture* 218, 141-151.
- CIEM, 1995. Código de Prácticas para la Introducción y la Transferencia de Organismos Marinos, 1994. Copenhagen (Dinamarca), Consejo Internacional para la Exploración del Mar.
- Coll Morales, J. (2002). Development of Aquaculture in Spain. *Aquaculture Europe* 33, 3-8.
- Coll Morales, J. Desarrollo futuro de la acuicultura en España. Noticia: *El Correo Agrario* 09/06/01.
- Coll Morales, J. (2002). I Reunión de la Red Nacional sobre Biología Molecular de Peces. INIA Investigación y Desarrollo n2, 12-15.
- Collado, R.; Fouz, B.; Sanjuán, E.; Amaro, C. (2000). Effectiveness of different vaccine formulations against vibriosis caused by *Vibrio vulnificus* serovar E (biotype 2) in European eels *Anguilla anguilla*. *Diseases of Aquatic Organisms*. 43: 91-101.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica, Texto y anexos. 1994. UNEP/CBD/94/1, Suiza. Directrices Técnicas Internacionales del PNUMA sobre Seguridad de la Biotecnología, circa. 1996. Nairobi (Kenya), PNUMA.
- Devlin, R. H.; Yesake, T. Y.; Biagi, C. A.; Donaldson, E. M.; Swanson, P.; Chan, W.-K. (1994). Extraordinary salmon growth. *Nature* 371, 209-210.
- Dirección de Acuicultura (SAGPyA), Argentina (2001) Información Resumida Sobre Acuicultura Comercial: Mundial, Regional Y Local. Perspectivas Para el Nuevo Siglo.
- Directiva de la UE No 990/220/EEC sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*. No L 117:15-27.
- Dixon, P. (1997). En: Gudding, R.; Lillehaug, A.; Midtlyng, P. J.; Brown, F. *Fish vaccinology*, *Dev. Biol. Stand.*, Karger, Basel, 191.
- Du, S. J.; Gong, Z.; Fletcher, G.L.; Shears, M.A.; King, M. J.; Idler, D. R.; Hew, C. L. (1992). Growth enhancement in transgenic Atlantic salmon by the use of an Aall-fishB chimeric growth hormone gene construct. *BiorTechnology* 10, 176-180.
- El estado mundial de la pesca y la acuicultura. 2002. FAO. (<http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s00.htm>).
- Estepa, A. ¿Por qué el pez cebrá? Instituto de Biología Molecular y Celular, Universidad Miguel Hernández.
- FAO (1999). Desarrollo de la Acuicultura. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable 5. (<http://www.fao.org/docrep/003/w4493s/w4493s08.htm#b8>).
- Fernández-Alonso, M.; Estepa, A.; Coll, JM. Vacunas DNA en Acuicultura. *Revista AquaTIC*, nº 4, Septiembre 1998.
- Frost, P. & A. Ness 1997. Vaccination of Atlantic salmon with recombinant VP2 of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), added to a multivalent vaccine, suppresses viral replication following IPNV challenge. *Fish and Shellfish Immunology* 7: 609-619.
- Gasent Ramírez, J. M.; Godoy, J. A., Jordano, P. (2000). Identificación de esturiones procedentes del Guadalquivir: mediante análisis de ADN en

- especímenes de museo. Medio Ambiente (36): 44-49, consejería de Medio ambiente, Junta de Andalucía. (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/revistama/indrevista.html>).
- Genoma Humano: el Negocio de la Vida. Instituto Panamericano de Alta Dirección de Empresa. Tecnologías que rompen esquemas. ¿Qué está pasando? Política de empresa, Continuidad 2000-2001. (<http://www.ipade.mx/dg/pdf/DG%20347%20Genoma%20Humano.PDF>).
 - González Laxe, F. (2001). Avances en el desarrollo de la acuicultura marina Instituto de Estudios Económicos Fundación Pedro Barrié de la Maza.
 - Gudding, R.; Lillehaug, A.; Midtlyng, P.J.; Brown, F. (1997). Fish vaccinology. Dev. Biol. Stand. Karger, Basel, pág. 490.
 - Gudmundsdottir, B. K.; Gudmundsdottir, S. (1997). J. Fish Dis. 20, 343.
 - Heppell, J.; Davis, H. L. (2000). Application of DNA vaccine technology to aquaculture. Advanced Drug Delivery Reviews 43 29-43.
 - Hew, C. L.; Fletcher, G. L. (2001). The role of aquatic biotechnology in aquaculture Aquaculture 197, 191-204.
 - Igor I. Solar. Biotecnología Aplicada a la Acuicultura. Aqunoticias, 6-10. Dic. 2001-Ene. 2002
 - Lee, K-Y., *et al.* (2002). Cloned zebrafish by nuclear transfer from long-term-cultured cells. Nature Biotechnology. August Volume 20 Number 8 pp 795-799.
 - Li, S.; Woo, P.T.K. (1997). J. Fish Dis. 20, 369.
 - Libro Blanco de Acuicultura en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2001.
 - López, M.; Mallorquín, P.; Vega, M. (2003). Tecnologías Moleculares de Trazabilidad Alimentaria. Informe de Vigilancia Tecnológica. CIBT-FGUAM/Genoma España.
 - Maclean, N., *et al.* (2000). Transgenic Fish: an evaluation of benefits and risks. Fish and Fisheries, 1, 146-172.
 - Macouzet, M.; Benjamín, K. S.; Lee, B. H. (1999). Cloning of fish enzymes and other fish protein. Critical reviews in Biotechnology. 19(3):179-196.
 - Martínez, M.; Van der Salm, A.; Tort, LL. (2003). Estudio sobre nuevas especies en la acuicultura mediterránea. IX Congreso Nacional de Acuicultura, Cádiz, Mayo 2003. Libro de Resúmenes.
 - Melamed, M., *et al.* (2002). The potential impact of modern biotechnology on fish aquaculture. Aquaculture 204, 255-269).
 - Oficina Internacional de Epizootias (OIE). Código Internacional para los Animales Acuáticos. OIE Fish Disease Commission. Paris. France. 2001. (http://www.oie.int/esp/normes/fcode/E_summry.htm)
 - Padrós, F.; Zarza, C.; Estévez, A.; Crespo, S.; Furones, M. D. (2003). La patología como factor limitante para el desarrollo del cultivo del lenguado. Servicio de Diagnostico Patológico en Peces, Facultad de veterinaria, Universidad Autónoma de Barcelona/IRTA. IX Congreso Nacional de Acuicultura, Cádiz, Mayo 2003. Libro de Resúmenes.
 - Palmiter, R. D.; Brinster, R. L.; Hammer, R. E.; Trumbauer, M. E.; Rosenfeld, M. G. (1982). Dramatic growth of mice that develop from eggs microinjected with metallothionein-growth hormone fusion genes. Nature 30, 611-615.
 - Pellitero, P. A.; Pelnzuela, O.; Bobadilla, A. S. (2003). Parásitos del rodaballo: Un nuevo reto para su cultivo. BioPress.net 6 Enero.
 - Pérez Prieto, S. I.; Rodríguez Saint Jean, S. (2002). Virus en la acuicultura de peces Teleósteos y su impacto en instalaciones españolas. Biopress.net n 6 enero.
 - Poss, K. D.; Wilson, L. G.; Keating, M. T. (2002). Heart Regeneration in Zebrafish. Science Dec 13. 298: 2188-2190.
 - Prieto, A. (2002). La prevención y el control de enfermedades en el cultivo de peces. Aspectos a considerar. CIVA 2002 (<http://www.civa2002.org>), 583-605.
 - Prosper, F. (2002). Células madre adultas. Congreso Nacional de Bioética, "Estado actual de la investigación y ética en Células Madre". Canarias.
 - Raz, E. (2002). Primordial germ cell development in zebra fish. Cell & Developmental Biology. Vol.13, 2002: pp. 489-495.
 - Reglamento (CE) no 808/2003 de la Comisión, de 12 de mayo de 2003, por el que se modifica el Reglamento (CE) nº1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.
 - Rocha, A.; Coll, JM. Investigación actual en vacunas para la acuicultura. Revista AquaTIC, nº 11, Octubre 2000.
 - Ruiz Zarzuela, I.; de Blas Giral, I.; Clavero Villacampa, J. L.; Muzquiz Moracho, J. L. (2002). Implementación eficaz de una estrategia en el control y erradicación de las enfermedades de los peces: el modelo de Aragón (España). CIVA 2002 (<http://www.civa2002.org>), 459-474.
 - Seminarios Regionales 2002 Proaqua Nutrición SA. MisPeces.com, Reportaje marzo 2002 (<http://www.mispecies.com>).
 - Turner, G. E. (comp.), 1988. Codes of Practice and Manual of Procedures for Consideration of Introductions and Transfers of Marine and Freshwater Organisms. EIFAC Occas. Pa., (23): 44p.
 - Variables en Vacunación DNA en el Modelo Trucha-Rabdovirus, M. Fernandez-Alonso, J. M. Coll, Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim. Vol. 14 (1, 2 y 3), 1999
 - Vinitnantharat, S.; Gravningen, K.; Greger, E. (1999). Fish Vaccines. Advances in Veterinary Medicine. Vol. 41, 539-550.

- Wakamatsu, Y., *et al.* (2001). Fertile and diploid nuclear transplants derived from embryonic cells of a small laboratory fish, medaka (*Oryzias latipes*). *Proc Natl Acad Sci U S A.* Jan 30;98(3):1071-1076.
- Wan, *et al.* (2002). Generation of a two-color transgenic zebrafish using the green and red fluorescent protein receptor genes, *gfp* and *rfp*. *Mar. Biotechnol* 4: 146-154.
- Williot, P., *et al.* (2001). Sturgeon farming in Western Europe: recent developments and perspectives. *Aquat. Living Resour.* 14, 367-374.
- Workshop on DNA vaccination 19 th June 2001."5th Nordic Symposium on Fish Immunology", 19th June 2001.
- Agresti, J. J., *et al.* (2000). Breeding new strains of tilapia: development of an artificial center of origin and linkage map based on AFLP and microsatellite loci. *Aquaculture* 185, 43-56.
- Alonso, M.; Johnson, M.; Simon, B.; Leona, J-A. (2003). A fish specific expression vector containing the interferon regulatory factor 1A (IRF1A) promoter for genetic immunization of fish. *Vaccine* 21, 1591-1600.
- Animales de laboratorio 16. (2002) Sociedad Española para las Ciencias del Animal de Laboratorio. nº 17.
- Arai, K. (2001). Genetic improvement of aquaculture finfish species by chromosome manipulation techniques in Japan. *Aquaculture* 197, 205-228.
- Bartfai, R., *et al.* (2003). Genetic analysis of two common carp broodstocks by RAPD and microsatellite markers. *Aquaculture* 219, 157-167.
- Bartley, D. M.; Basurco, B. (1998). Genetics and breeding of Mediterranean aquaculture species. Zaragoza CIHEAM-IAMZ, 1998.
- Coll, JM. (2001) Actualidad y futuro de la Acuicultura Española. *Revista AquaTIC*, nº 14.
- Corbeil, S., *et al.* (2000). Nanogram quantities of a DNA vaccine protect rainbow trout fry against heterologous strains of infectious hematopoietic necrosis virus. *Vaccine* 18, 2817-2824.
- Danzmann, R. G.; Gharbi, K. (2001). Gene mapping in fishes: a means to an end. *Genetica* 111: 3-23.
- Davis, H. L.; McCluskie, M. J. (1999). DNA vaccines for viral diseases. *Microbes and Infection*, 1, 7-21.
- De la Fuente, J.; Guillen, I.; Martínez, R.; Estrada, MP. (1999). Growth regulation and enhancement in tilapia: basic research findings and their applications. *Genet Anal.* 15(3-5): 85-90.
- Dijkstra, JM., (2001). Exogenous antigens and the stimulation of MHC class I restricted cell-mediated cytotoxicity: possible strategies for fish vaccines. *Review. Fish Shellfish Immunol.*11 (6): 437-58.
- Douglas, S. E., *et al.* (1999) Winter Flounder Expressed Sequence Tags: Establishment of an EST Database and Identification of Novel Fish Genes. *Marine Biotechnology*, vol.1. 458-464.
- Felip, A.; Zanuy, S.; Carrillo, M.; Piferrer, F. (2001). Induction of triploidy and gynogenesis in teleost fish with emphasis on marine species. *Genetica* 111: 175-195, 2001.
- Feral, J-P (2002). How useful are the genetic markers in attempts to understand and manage marine biodiversity? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 268, 121-145.
- Fernández, A. B.; de Blas, I.; Ruiz, I. (2002). El sistema inmune de los teleósteos (I): Células y órganos. *Revista AquaTIC*, nº 16.
- Fernández, A. B.; de Blas, I.; Ruiz, I. (2002). El sistema inmune de los teleósteos (II): Células y órganos. *Revista AquaTIC*, nº 17.
- Fishback, A. G. *et al.* (1999). Optimization of semi-automated microsatellite multiplex polymerase chain reaction systems for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 172, 247-254.
- Fletcher, G. L., *et al.* (1999). proteins and their genes: From basic research to business opportunity. *Chemtech* 30 (6), 17-28.
- Fletcher, G. L., *et al.* (2001). Antifreeze proteins of teleost fishes. *Annu. Rev. Physiol.* 63: 359-90.
- Gibello, A.; Blanco, M. M.; Domínguez, L.; Fernández-Garayzábal, J. F. (2001). Utilización de la PCR para el diagnóstico en Ictiopatología. *Revista AquaTIC*, nº 15.
- Gong, Z.; Ju, B.; Wan, H. (2001). Green fluorescent protein (GFP) transgenic fish and their applications. *Genetica* 111: 213-225.
- Green, E. D. (2001). Strategies for the systematic sequencing of complex genomes. *Nature Reviews. Genetics* 2, 573-583.
- Gudding, R., *et al.* (1999). Recent developments in fish vaccinology. *Review. Vet Immunol Immunopathol.* 1999 Dec 15; 72 (1-2):203-12.
- Harris, J.; Bird, D. J. (2000). Modulation of the fish immune system by hormones. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 77 163-176.
- Hong, Y.; Chen, S.; Scharl, M. (2000). Embryonic stem cells in fish: current status and perspectives. *Fish Physiology and Biochemistry* 22: 165-170.
- Hulata, G. (2001). Genetic manipulations in aquaculture: a review of stock improvement by classical and modern technologies. *Genetica* 111: 155-173.
- Jackson, T. R., *et al.* (2003). Application of DNA markers to the management of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) broodstock. *Aquaculture* 220, 245-259.
- Kim, C. H., *et al.* (2000). DNA Vaccines Encoding Viral Glycoproteins Induce Nonspecific Immunity and Mx Protein Synthesis in Fish. *Journal of Virology*, Vol. 74, No. 15, 7048-7054.

- Lam, T. J. (2002). Genetics & Biotechnology in Aquaculture: Status, Promises & Sigues. Aquachallenge Workshop Programme Beijing 27-30 April 2002.
- Lee, C-S.; Donaldson, E. M. (2001). General discussion on Reproductive biotechnology in finfish aquaculture. Aquaculture 197, 303-320.
- Linney, *et al.* (1999). Transgene Expression in Zebrafish: A Comparison of retroviral-vector and DNA-injection approaches. Developmental Biology. 213(1):207-16.
- Lorenzen, N., *et al.* (2002). DNA vaccines as a tool for analysing the protective immune response against rhabdoviruses in rainbow trout. Review. Fish Shellfish Immunol. May; 12 (5):439-53.
- Lundin, M., *et al.* (1999). Cosmid clones from Atlantic salmon: physical genome mapping. Aquaculture 173, 59-64.
- Maclean, N. (2002). Transgenic tilapia and the tilapia genome. Gene 295, 265-277.
- Midtlyng, P. J. (2002). Breeding for disease resistance in fish. Bull. Eur. Fish Pathol., 22(2), 166.
- Pew Initiative on Food and Biotechnology (2003). Issues in Science and Regulation of Transgenic Fish. Future Fish.
- Rocha, A.; Ruiz, S.; Estepa, A.; Coll, JM. (2004). Biología molecular de los peces: Interés y aplicaciones. Revista AquaTIC, nº 15.
- Sakai, M. Current research status of fish immunostimulants (1999). Aquaculture 172, 63-92.
- Sakamoto, T., *et al.* (1999). Linkage analysis of quantitative trait loci associated with spawning time in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 173, 33-43.
- Saunders, R. L., *et al.* (1998). Smolt development in growth hormone transgenic Atlantic salmon. Aquaculture 168:177-193.
- Shields, R. J. (2001). Larviculture of marine finfish in Europe. Aquaculture 200, 55-88.
- Shikano, T.; Taniguchi, N. (2002). Using microsatellite and RAPD markers to estimate the amount of heterosis in various strain combinations in the guppy *Poecilia reticulata* as a fish model. Aquaculture 204 271-281.
- Shimoda, N. Zebrafish Genetic Map with 2000 Microsatellite Markers (1999). Genomics 58, 219-232.
- Sorum, H. (1999). Antibiotic resistance in aquaculture. Acta Vet. Scand., Suppl. 92, 29-36.
- Thorgaard, G. H. *et al.* (2002). Status and opportunities for genomics research with rainbow trout. Review. Comparative Biochemistry and Physiology Part B 133, 609-646.
- Uzbekova, S., *et al.* (2000). Transgenic rainbow trout expressed sGnRH-antisense RNA under the control of sGnRH promoter of Atlantic salmon. Journal of Molecular Endocrinology 25, 337-350.
- Wakamatsu, Y. *et al.* (2001). Fertile and diploid nuclear transplants derived from embryonic cells of a small laboratory fish, medaka (*Oryzias latipes*). PNAS January 30, 98 (3), 1071-1076.
- Williot, P. *et al.* (2001). Sturgeon farming in Western Europe: recent developments and perspectives. Aquat. Living Resour. 14, 367-374.
- Yoder, J. A. (2002). Zebrafish as an immunological model system. Microbes and Infection 4 1469-1478.
- Z. Gong, *et al.* (1997). Rapid identification and isolation of zebrafish cDNA clone. Gene 201 87-98.
- Zhu, Z-Y.; Sun YH. (2000). Embryonic and genetic manipulation in fish. Cell Res. Mar; 10 (1):17-27.
- Zohar, Y. (2001). Endocrine manipulations of spawning in cultured. Aquaculture 197, 99-136.

Glosario

- **Bacterinas:** Son un tipo de vacunas compuestas por bacterias inactivadas o muertas mediante la acción de agentes físicos, agentes químicos o de ambos conjuntamente.
- **Enzima de restricción:** Enzima que reconoce una secuencia específica de nucleótidos y corta en ese punto cada una de las cadenas de ADN.
- **EST** (Expressed Sequence Tag): Secuencia parcial de un cDNA clonado.
- **Factor de virulencia:** Cualquier factor que aumenta la capacidad de un agente infeccioso de infectar un organismo hospedador (proteínas externas, toxinas, etc).
- **Gen deletéreo:** Todo aquel gen cuya presencia en el genotipo en homocigosis bloquea o dificulta el desarrollo normal del individuo portador, produciendo bien la muerte antes de alcanzar la madurez sexual (gen letal o factor letal) o bien una disminución de su valor adaptativo.
- **Genómica:** Ciencia que estudia los genomas completos de los organismos vivos. En la Genómica estructural se pretende conocer la secuencia del genoma mediante análisis a gran escala, en lo que se incluyen la predicción de genes, asignación de función, detección de agrupaciones de genes y de regiones reguladoras, y reconstrucción de redes celulares y metabólicas. La Genómica comparada, que se basa en aproximaciones evolutivas, ecológicas, funcionales y aplicaciones biotecnológicas, también puede considerarse como parte de la Genómica estructural. Por otro lado, la Genómica funcional comprende la utilización de los conocimientos resultantes del estudio del genoma para obtener cantidades masivas de datos sobre la regulación y la expresión en sistemas celulares completos.
- **Librerías de cDNA:** Se realizan a partir de mRNAs de un tejido particular. La detección se realiza mediante hibridación de sondas.
- **Mosaicismo:** Presencia de células con y sin el transgen en un individuo modificado genéticamente.
- **Organismos o Sistemas modelo:** Especies animales que se estudian en detalle y que se utilizan como base para generalizar como ocurren determinados procesos biológicos en el resto de las especies relacionadas. No existe una única especie modelo, sino que depende del tipo de estudios que se quieran realizar y las especies con las que se desea comparar los resultados.
- **Parasitosis:** Enfermedad por la simbiosis de un organismo, parásito, que vive a expensas de otro, hospedador, causándole algún tipo de patología.
- **Polimorfismo:** Existencia de dos o más alelos de un gen presentes en una población, en una frecuencia significativa.
- **Proteómica:** Conjunto de proteínas que componen una célula o tipo celular dado, en unas condiciones determinadas, es decir, el proteoma de una célula es la expresión de su fenotipo característico. Por tanto, la Proteómica se puede definir como la ciencia o conjunto de tecnologías que estudian el proteoma. Algunos autores consideran la Proteómica como una parte integrante de la Genómica Funcional.
- **Tecnología antisentido:** Introducción de pequeñas secuencias de ADN o ARN que forman parte de secuencias codificantes pueden usarse para bloquear la expresión de una proteína particular, mediante la unión a ADN de cadena doble o a ARNm.
- **Tecnología de ADN recombinante:** Tecnología molecular que hace posible aislar y manipular un fragmento de ADN de un organismo para introducirlo en otro.



madriod

Genoma España



Rosario Pino, 14-16, planta 7 - 28020 Madrid
Teléfono: 91 449 12 50 • Fax: 91 571 54 89
www.gen-es.org



ESTEVE

 Generalitat de Catalunya