

Producción de anguilas: pasado, presente y futuro

Luz Pérez¹, Rodolfo Barrera², Juan Francisco Asturiano¹, Miguel Jover¹

¹ Grupo de Investigación en Recursos Acuícolas
Departamento de Ciencia Animal, Universidad Politécnica de Valencia. (España)
e-mail: mlpereig@dca.upv.es

² Valenciana de Acuicultura S.A.
Playa de Puzol, Valencia (España)

Resumen

En el presente trabajo se revisa el estado actual de la producción de anguilas, en cuanto a capturas y acuicultura, así como su evolución en el tiempo. Asimismo, se describen los sistemas de producción, con énfasis en la producción intensiva en sistemas de recirculación, y el comercio de esta especie. Se presenta la reproducción como la alternativa sostenible para la continuidad y rentabilidad de la pesca y acuicultura de esta especie, revisando el estado actual de los conocimientos en reproducción y el estado de los stocks naturales.

Palabras clave: Anguilla, pesca, sistemas de producción, recirculación, reproducción, stocks

Summary

Production of eels: past, present and future

Present study reviews the current state of eels production, considering both catches and aquaculture, as well as its evolution with time. Moreover, production systems are briefly described, with emphasis on the intensive production in recirculating systems, and the trade of these species. Eels reproduction is presented as a sustainable alternative for the continuous and profitable catch and aquaculture, reviewing the current state of the knowledge about reproduction and the status of natural stocks.

Pues las anguilas viven y se alimentan del agua de lluvia... nacen de las llamadas "entrañas de la tierra"... se forman también en el mar y en los ríos... Así pues en lo relativo a la generación de las anguilas ocurre de esta manera". Aristóteles, S. V aC.

Introducción

La anguila es un alimento de consumo tradicional en la costa mediterránea española, especialmente en Valencia, y también en Galicia y parte de León; se consume además en otros países europeos, como Alemania, Holanda, Dinamarca e Italia. Sin embargo, los principales consumidores se encuentran en los países asiáticos, y especialmente en Japón, donde es considerada un manjar.

La anguila europea (*Anguilla anguilla*) presenta un ciclo de vida peculiar: habita los cursos de agua dulce, pero recorre más de 4000 km en el océano Atlántico para reproducirse en aguas del Mar de los Sargazos, entre las Islas Bermudas y Puerto Rico (22-29EN, 48-73°O). Las larvas aplanadas, llamadas leptocéfalos, vuelven a las costas de Europa y el Mediterráneo con la ayuda de la corriente del Golfo y natación activa

en menos de un año (Lecomte-Finiger, 1994). Probablemente se alimentan de cápsulas mucilaginosas de apendiculariáceos y partículas fecales de zooplancton, al igual que los leptocéfalos de diversas familias emparentadas (Mochioka e Iwamizu, 1996). Cuando alcanzan las costas, los leptocéfalos sufren una metamorfosis que los transforma en angulas sin pigmentación (*glass eels*), que nadan activamente hacia las aguas continentales mientras van adquiriendo su coloración característica. El ciclo vital de la anguila japonesa (*Anguilla japonica*) es similar, aunque su área de puesta no se descubrió hasta 1991 (Tsukamoto, 1992), situándose al Oeste de las Islas Marianas, en la corriente marina Norecuatorial (NEC, North Equatorial Current).

La producción de anguilas en piscicultura se basa en el engorde de angulas o juveniles capturados en el medio natural, ya que hasta el momento no ha sido posible completar el ciclo vital de la anguila en cautividad. Por ello, un factor limitante en esta actividad es la disponibilidad de angulas, así como el elevado precio de las mismas.

Desde mediados de los años 60 se viene observando un grave descenso de las capturas de angulas y anguilas de la especie europea en toda su área de distribución (Moriarty, 1990, 1996; Lobón-Cerviá, 1999; FAO, 2003), descenso que es atribuido a diversas causas, como la sobrepesca y la destrucción o alteración de los hábitats naturales. Una de las soluciones a este problema sería, evidentemente, obtener angulas en piscifactorías, al igual que se obtienen alevines de otras especies de interés en acuicultura.

En el Informe de 1999 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) sobre: El futuro de la anguicultura en España y problemas que inciden en su desarrollo; se realizaba un gran hincapié en la necesidad de investigación, a través de planes de I+D, sobre el control de la reproducción de la anguila y cría de leptocéfalos. Asimismo, en un informe del ICES (International Council for the Exploration of the Sea) para la Unión Europea (1997), se indicaba que: "*se deberá seguir intentando reproducir a la anguila en cautividad*", para asegurar un suministro adecuado y constante para la pesca y la acuicultura.

Especies y países productores

En todo el mundo existen 19 especies de anguilas. Las especies se diferencian en caracteres morfométricos (número de vértebras, coloración) así como en diferencias genéticas. De ellas, 4 especies son las más consumidas y producidas en acuicultura; éstas son:

- anguila europea (*Anguilla anguilla*): distribuida por el Mediterráneo y Atlántico, desde Marruecos hasta la Península Escandinava.
- anguila japonesa (*Anguilla japonica*): presente en aguas de Japón, China, Taiwan, Corea, Malasia.
- anguila americana (*Anguilla rostrata*): propia de la costa Atlántica de Norteamérica.
- anguila australiana (*Anguilla australis*): presente en las aguas de Australia y Nueva Zelanda.

Sin embargo, al menos 8 especies más, se han utilizado en la acuicultura en Japón, como *Anguilla marmorata* (procedente de Japón), *A. dieffenbachi* (de Australia, Nueva

En 10 años casi se cuadruplicó la producción (23 600 Tm en 1968). Sin embargo, a partir del año 1969 disminuyó drásticamente la producción en Japón debido a la combinación de problemas técnicos y económicos; se produjo una reducción drástica de las capturas de angulas en aguas japonesas y se multiplicaron las patologías en las instalaciones (con tasas de mortalidad de hasta un 40%) debido a las mayores densidades de cría.

Asimismo, con el desarrollo de la producción piscícola en Taiwán, este país dejó de exportar angulas a Japón entre 1960 y 1970. Como resultado, la producción de angula en Japón descendió desde 23 640 Tm en 1968 a 13 855 Tm en 1972 (Gousset, 1992).

Aunque los problemas patológicos se solucionaron y apareció la tecnología de producción en invernaderos (1988), la caída de las capturas de angulas en Japón llevó a la búsqueda por todo el mundo de suministros, y a las importaciones crecientes de angulas japonesas de China, Corea y Taiwán, y de angula europea de Francia, principalmente. En el año 1986 Japón importaba ya 10 Tm de angula europea de Francia, y alrededor de 400 kg de angula americana. Además de angulas, se comenzó a importar anguila adulta viva, y precocinada de los países del entorno, principalmente de Taiwán y China.

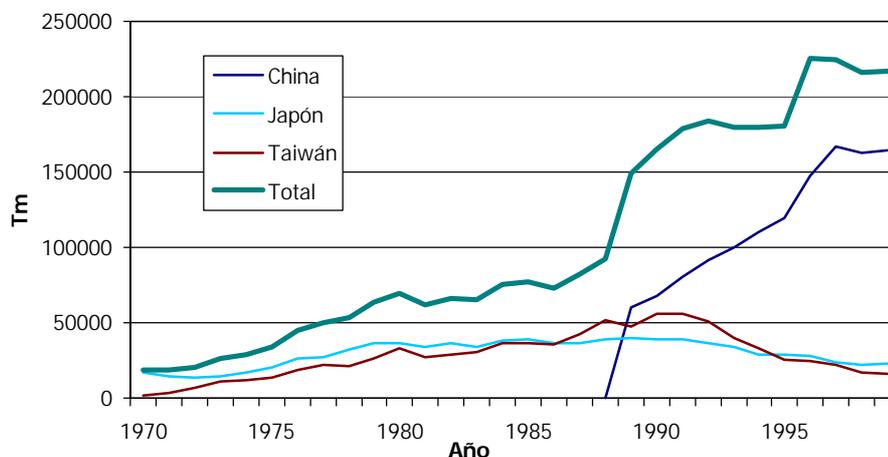
Tabla 2. Importación de angulas por Japón en 1986.

Origen	angulas (kg)	anguila viva (Tm)	anguila procesada (Tm)
Corea	31 255	9	-
China	3190	863	431
Taiwán	12	20 054	11 044
Hong Kong	7391	132	-

Fuente: Chen (1990)

Los países del entorno japonés pasaron de ser meros exportadores de angula o angula capturada a la producción propia en piscifactorías y a la exportación en vivo o tras ser procesadas. En Taiwán la producción de angulas a escala industrial comenzó en 1964 y experimentó un crecimiento exponencial, de forma que superó la producción acuícola japonesa a partir de 1987, como puede verse en la Figura 2.

Figura 2. Evolución de la producción de angula en Asia.



En China la producción comenzó más tarde, posiblemente a finales de los años 70. Entre 1984 y 1987 se producía una media anual de 7 000 Tm (Usui, 1991), pero en 1989 la producción de anguilas en piscifactorías ascendía ya a 60 000 Tm (FAO, 2002), siendo desde entonces el principal productor mundial. La evolución de la anguicultura en China ha sido espectacular, ya que en los últimos 10 años la producción casi se ha triplicado.

La producción de anguila parte de la captura de angulas, pero las capturas de éstas no han podido incrementar al ritmo de su demanda para el engorde en piscifactorías. Realmente, este incremento de la demanda ha conducido a una situación de sobrepesca, primero en aguas de Japón, y más tarde en Taiwán. Estos nuevos países productores (Taiwán, Corea y China) fueron progresivamente prohibiendo la exportación de angula a medida que iban desarrollando sus propios sistemas de acuicultura. Pero, aún con estas medidas, las capturas locales no bastaban para abastecer las necesidades de la acuicultura. Por ejemplo, a finales de los años 80 Taiwán necesitaba entre 50 y 60 Tm de angulas para abastecer su producción piscícola. Sin embargo, las capturas propias oscilaban entre 6 y 30 Tm (Chen, 1990).

El déficit de angulas japonesas se ha estado supliendo principalmente con la importación de angulas europeas. Los datos acerca de la magnitud de las exportaciones desde Europa son difíciles de obtener y a menudo contradictorios.

Según Nielsen (1998, 2000), antes de 1994, se exportaban menos de 20 Tm/año a Asia, que incrementaron hasta 50 Tm durante la campaña 1994-1995, y alcanzaron un máximo de 230 Tm en la campaña 1996-1997. Al año siguiente descendieron a 90 Tm, y se estabilizaron después a niveles de 100-130 Tm. Sin embargo, según fuentes del sector danés de piscicultura las estimaciones para la campaña 1996-1997 fueron de 250 Tm, y 140 Tm en 1997-1998.

Según varias fuentes, entre el 50 y el 60% de la angula capturada en Europa se destina a la acuicultura asiática (Nielsen, 1998; ICES, 2001). El MAPA español (1999) señala que la exportación masiva de angula europea a los países asiáticos se realiza además con métodos inadecuados, que suponen pérdidas en el transporte de hasta el 50% de los individuos.

• **Sistemas de producción en Japón**

La anguicultura se desarrolló en Japón, y en los países asiáticos todavía conviven diferentes niveles de intensificación de la producción. Según Gousset (1992), pueden clasificarse en 4 niveles:

- *Nivel 0: Semiintensivo:* se realiza en grandes estanques exteriores de 0,1 a 10 ha, con bajas densidades (0,3- 3 kg/m³). Suministran el alimento en unas plataformas a pie de agua, en forma de pasta húmeda, y airean el agua 2 veces al día con aireadores de paletas.
- *Nivel 1: Invernadero Básico:* utiliza la energía solar para el calentamiento del agua. Se incrementa la actividad fitoplanctónica dentro del tanque de cría, lo que mejora la mineralización de la materia orgánica. Los estanques tienen unas dimensiones de 330-550 m², y la densidad es de 6-12 kg/m².
- *Nivel 2: Invernadero con tanque de decantación y sistema de calentamiento:* el agua se reutiliza tras pasar por un tanque donde se separan los sólidos por gravedad. Se mejora la sedimentación de materia particulada, lo que permite una reducción de la renovación del agua y una disminución de los niveles de N, P y sólidos en suspensión en el agua.

- *Nivel 3. Invernadero intensivo.* El sistema posee biofiltro, recirculación y bomba de calor. Se potencia la actividad microbiana nitrificante y descomponedora, con lo que puede reducirse aún más la tasa de renovación del agua. La densidad máxima es de 17-21 Kg/m²

Todos ellos son sistemas de "aguas verdes", donde se controla el desarrollo fitoplanctónico con el fin de que éste consuma los nutrientes residuales; y produzca oxígeno para el sistema.

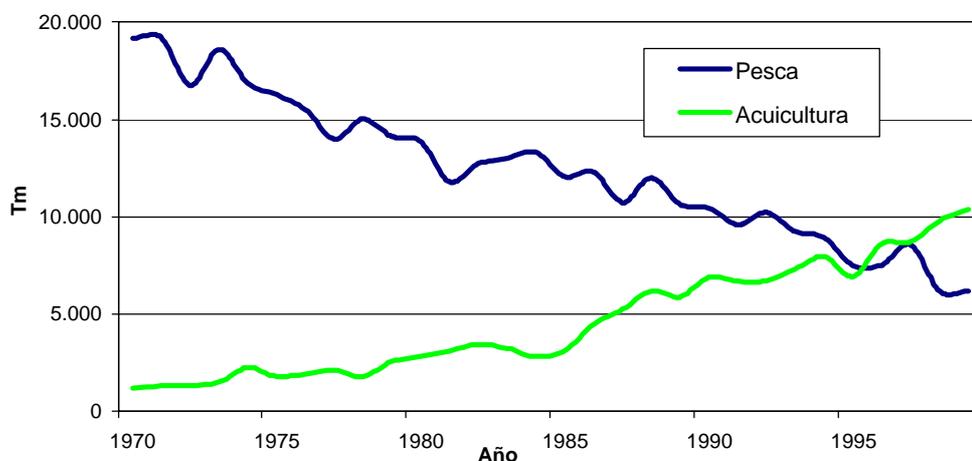
La producción de anguilas en Europa

La anguicultura comenzó en Europa en los medios lagunares costeros del Mediterráneo, que han aprovechado secularmente las migraciones naturales de la anguila y de otras especies como dorada, lubina o mújoles. Estos sistemas constan de unas trampas (encañizadas), que permiten la entrada de peces en la laguna, e impiden su salida, y han evolucionado desde la simple estabulación de los animales a una gestión de los estanques para incrementar la productividad natural (sistema extensivo) y finalmente hacia la alimentación con piensos, mayores densidades de cría y una explotación de tipo intensivo.

Un ejemplo notable es la vallicultura en Italia. Este sistema de producción está concentrado en la región de Venecia, en humedales litorales salobres. Aprovecha las migraciones naturales de la anguila y otras especies para la estabulación posterior en estanques donde se alimentan con pescado fresco, harinas o pasta húmeda (harina de pescado, agua, aceite), a densidades bajas, de 400 g/m², según Ravagnan (1978). En España ha existido un sistema parecido en el Delta del Ebro (Mediterráneo) y las antiguas salinas de Cádiz (sudeste peninsular), y en Francia, se han criado también en sistemas extensivos en marismas atlánticas ("marais") o antiguas salinas.

En los países consumidores del norte de Europa, como Alemania, Holanda o Dinamarca, un factor limitante para la producción comercial de anguilas lo constituía la baja temperatura del agua. Era difícil obtener agua (excepto en zonas termales) en el rango de crecimiento óptimo para la anguila, en torno a 23-28°C de temperatura.

Figura 3. Evolución de la producción de anguilas en Europa: acuicultura y pesca.



Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas F.A.O. (2003)

El desarrollo de los sistemas de producción en recirculación, con calentamiento del agua, se produjo desde la década de los años 70, especialmente en Holanda y

Dinamarca, y ha permitido el avance en la producción europea que puede observarse en la Figura 3. Actualmente los principales países productores de anguila en la acuicultura europea son Holanda (3 700 Tm en 2000), Italia (2 700 Tm) y Dinamarca (2 674 Tm), según datos de FAO (2003).

El principal modo de producción es en sistemas intensivos o superintensivos, en plantas cerradas con sistema de recirculación y filtración del agua. En Italia aún conviven, en situación desigual, la vallicultura (semiintensivo) y la producción intensiva en recirculación. En 1997 el 87% de la producción se obtenía con sistemas intensivos. La mayor parte de la producción se debe a un reducido número de grandes empresas (10-15), situadas en el norte del país, aunque existen un total de 120 granjas en tierra y 7 hatcheries. La producción extensiva en ambientes salobres ha ido disminuyendo progresivamente desde 1991, con 1500 Tm, hasta reducirse a 400 Tm de producción extensiva en 1997 (Marino y cols, 1999).

En Holanda existen unas 50 granjas en recirculación dedicadas a la producción de anguila y pez gato africano (*Clarias gariepinus*), según Kamstra y cols. (1998). En Dinamarca y resto de Europa el modo de producción es similar, recirculación en sistemas intensivos o superintensivos, con un número total de granjas en Europa de 250.

En la Figura 3 se puede apreciar también la reducción progresiva de las capturas de anguilas en Europa. Recientemente, el ICES (2001) ha publicado un detallado informe, que alerta sobre el estado de las poblaciones naturales. Se incluye una cita textual:

"El stock de anguila europea se encuentra en un mínimo histórico, de modo que la pesca actual no es sostenible. El reclutamiento viene disminuyendo desde 1980 y continúa haciéndolo en la actualidad. Se estima que del total de angulas (glass eels) que llegan a las costas, sólo el 10% puede continuar su migración natural, ya que el resto se pesca, con diversos fines: un 20% para el consumo directo, 10% para abastecer la acuicultura europea; 60% para abastecer la acuicultura asiática, y el 10% restante para la repoblación de aguas continentales, en el norte de Europa."

Ante la regresión de la especie, algunos países europeos ya han tomado una serie de medidas para la protección del recurso, que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Medidas de protección de anguila en países europeos.

País	Prohibiciones de pesca	Uso pasos de angula	Control de artes	Vedas	Control de licencias
Suecia	●	●			
Dinamarca	●	●			
Alemania	●				
Islandia	●				
Irlanda	●	●			
Gran Bretaña		●	●		●
Holanda	●	●			
Francia		●	●	●	●
Portugal			●	●	●
España	●		●	●	●
Italia					●

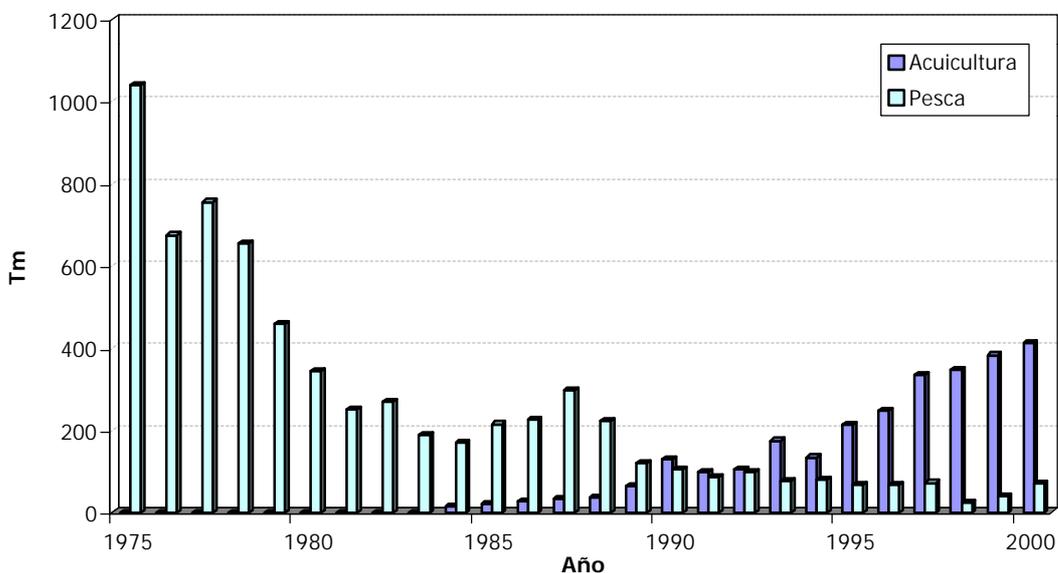
Fuente: M.A.P.A. (1999)

En el informe de ICES (2001) se destaca la necesidad de desarrollar un plan internacional para la conservación del stock de anguila europea, que incluya un plan de ordenación y gestión del recurso a escala internacional. Se destaca la necesidad de reducir el nivel de explotación y la restauración de los hábitats naturales, incluyendo medidas de regulación pesquera, repoblaciones, la necesidad de realizar estudios de evaluación de las poblaciones y una mayor transparencia en la información de los distintos sectores implicados.

La producción de anguilas en España

Como puede verse en la Figura 4, la evolución de las capturas y acuicultura de anguila en España ha seguido la misma tendencia que en el resto de Europa, con un marcado descenso en las capturas, y un incremento en la producción acuícola. La producción acuícola en el año 2000 fue de 411 Tm mientras que las capturas sólo alcanzaron 71 Tm. (FAO, 2002).

Figura 4. Producción de anguilas en España 1975-2000: Acuicultura y Pesca.



Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas F.A.O. (2003)

Las empresas productoras en España son, actualmente:

- Valenciana de Acuicultura (Puzol, Valencia), con una producción anual en torno a 300 Tm en sistema de recirculación superintensivo.
- Una piscifactoría en el Delta del Ebro (Cataluña) semiintensiva en circuito abierto, con una producción en torno a 60 Tm/año.
- Una planta de recirculación en el País Vasco, creada recientemente, con una capacidad de producción de 60 Tm/año.
- Al menos, un centro público de repoblación. "Centro Experimental de Cultivo de Especies de Aguas Templadas", en Polinyà del Xuquer (Valencia), con una pequeña producción.

A pesar de que la producción es rentable, en España no se ha producido el rápido desarrollo de la producción de anguila que se ha observado en otros países europeos. Por ejemplo, en Dinamarca la producción en 1984 era de 15-16 Tm, al igual que en España. Sin embargo, en la actualidad este país produce en torno a

2 700 Tm, frente a las 400 Tm de España. En el Informe de 1999 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación sobre: El futuro de la anguicultura en España y problemas que inciden en su desarrollo; se considera que los principales factores limitantes para el desarrollo de esta actividad en España son:

- La citada disminución de capturas de angulas y la creciente demanda en los mercados internacionales, que plantea incertidumbre en la disponibilidad, calidad y precio de las mismas en el futuro.
- El elevado coste de las inversiones necesarias, la escasez de ayudas o subvenciones, así como el fuerte contraste desfavorable entre el riesgo económico real y las primas de los seguros.
- La dificultad en el comercio interno y la interferencia entre el comercio de anguilas salvajes y de piscifactoría.

Por estas razones, en el citado informe se plantean como necesidades:

- *Económicas y financieras:* ayudas o subvenciones estatales, autonómicas y comunitarias; líneas de crédito específicas para el sector acuícola.
- *Mercados y comercialización:* necesidad de información disponible sobre: el mercado "real" de pesca de angula y anguila, consumo local, estatal y comercio exterior; la necesidad de campañas de apoyo al consumo de anguila y sus derivados, así como de incrementar la relación comercial con los principales países consumidores, europeos y asiáticos. También se destaca la necesidad de una mayor coordinación entre el sector productivo y la industria alimentaria.
- *Investigación:* se realiza gran hincapié en la necesidad de investigar en la reproducción artificial y control sexual. Se especifica la necesidad de establecimiento y financiación de planes de I+D para el control de la reproducción de la anguila y cría de leptocéfalos. También se consideran necesarias líneas de investigación para la mejora de las técnicas de producción (biofiltros, prevención de enfermedades, utilización energética del alimento). Se destaca la escasez de estudios en España acerca de la dinámica de las poblaciones naturales, la recuperación de hábitats y las estrategias de repoblación.

La legislación vigente en España considera a la angula y anguila como "especie objeto de pesca". Su comercio está restringido a ejemplares de piscifactoría, aunque el comercio local está regulado por las Comunidades Autónomas. La exportación requiere de una autorización previa por el Ministerio de Agricultura y Pesca.

La pesca está restringida en el espacio y en el tiempo. En general, la pesca de angulas está permitida entre octubre y marzo, en zonas que se asignan a las comunidades de pescadores. También existe una regulación en cuanto a las tallas mínimas de la anguila, que oscila entre 20 cm y 35 cm en función de la Comunidad Autónoma. Ambas pesquerías, de angula y anguila, tienen un carácter artesanal; para la pesca de angula en el Mediterráneo se emplean artes denominadas bussó (Cataluña), monot (Valencia), etc. La pesca de anguila en España se realiza con artes de trampa, denominados buitrones, y localmente mornells, butrons (Comunidad Valenciana) o ganguils (Delta del Ebro), que se sitúan en ríos y lagunas de agua dulce frente a la corriente, para aprovechar las migraciones reproductivas de esta especie.

- **La pesca de anguila en l'Albufera de Valencia (Este de España)**

L'Albufera de Valencia (Figura 5) está dentro del Parque Natural del mismo nombre y situado al sur de Valencia. Es una laguna litoral con una superficie de 2 837 Ha. Comunica con el mar Mediterráneo por tres golas con compuertas artificiales que regulan el nivel de agua en relación con el ciclo de cultivo del arroz que se practica alrededor de toda la laguna.

Figura 5. L'Albufera de Valencia: Encañizadas que sujetan las redes.



El aprovechamiento pesquero de esta laguna data de tiempos inmemoriales. Sañez Reguart indicó que en el siglo XVIII pescaban ya 1 500 hombres que *“en una noche y un día cogían de ochocientas a mil cargas de pescado”*. Las capturas conjuntas de anguila, Lisa, Lubina, carpa y Barbo ascendían a 175 000 kg en 1900, y a 78 840 kg en 1920. (Luis Pardo, 1942; en Docavo, 1979).

La anguila es una de las especies con mayor tradición pesquera y gastronómica en Valencia. Fue el pez más estudiado en l'Albufera de Valencia, sobre todo en la década de los años 20, por el naturalista A. Gandolfi Hornyold (Docavo, 1979). Las diferentes etapas del ciclo vital se denominan aquí angula, anguila pasturenca (equivalente a anguila amarilla) y anguila maresa (equivalente a anguila plateada). La angula se pesca en las entradas (golas) desde el mar a la Albufera. Las anguilas pasturenkas se pescan todo el año, y las mareas se capturan en su migración al mar, durante los meses de octubre a marzo.

La pesca está regulada en esta laguna desde finales del siglo XIX, aunque la Comunidad de Pescadores del Palmar existía desde el año 1250. Los artes de pesca que se emplean en esta laguna son diversos: monot, (Figura 6) para la pesca de angulas; las anguilas se pescan con mornell cec, mornell a jaure, moneta, mornella, etc. (Figura 7). Todas ellas son artes de trampa, concretamente nasas, que suelen acompañarse por una red (alar, paradera) que dirige el pescado hacia la entrada.

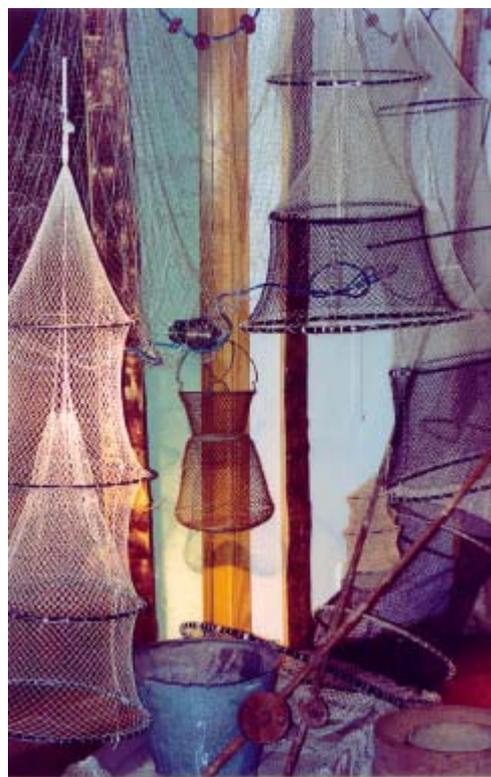
La regulación de la pesca de anguilas y angulas depende de la Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana. Las regulaciones incluyen tallas mínimas (25 cm), el tipo de artes permitidas, así como limitaciones en el espacio y en el tiempo (octubre-marzo para la angula). Se trata de un sistema de licencias que deben renovarse anualmente por cada organización pesquera. Es interesante el hecho de que un día a la semana, los martes, tiene preferencia en la pesca de angulas la administración, para su uso posterior en repoblaciones. Éstas se gestionan a través de la Consellería de Medio Ambiente, básicamente

para la repoblación de tramos de ríos con presas que impiden la migración río arriba.

Figura 6. Monot para la pesca de angula.

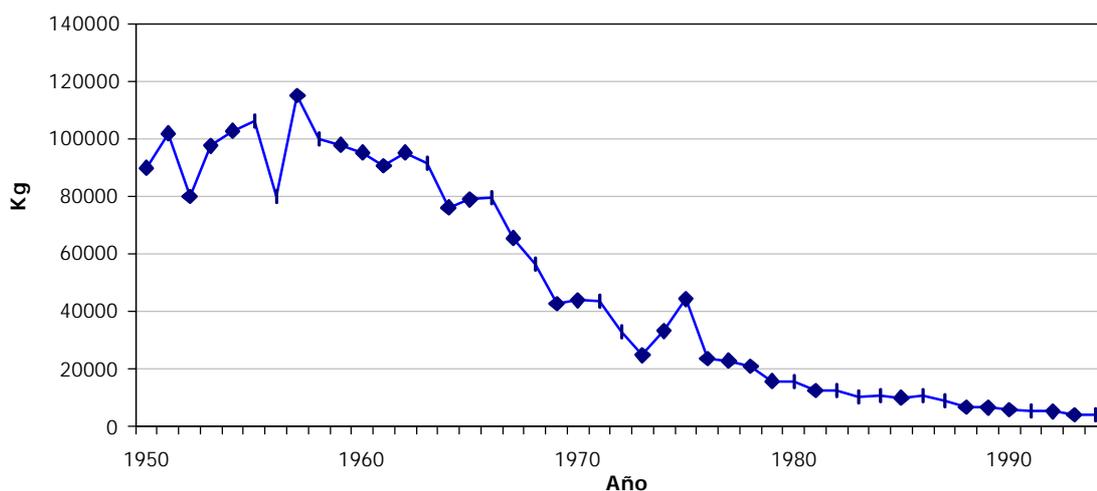


Figura 7. Mornells para la pesca de anguilas.



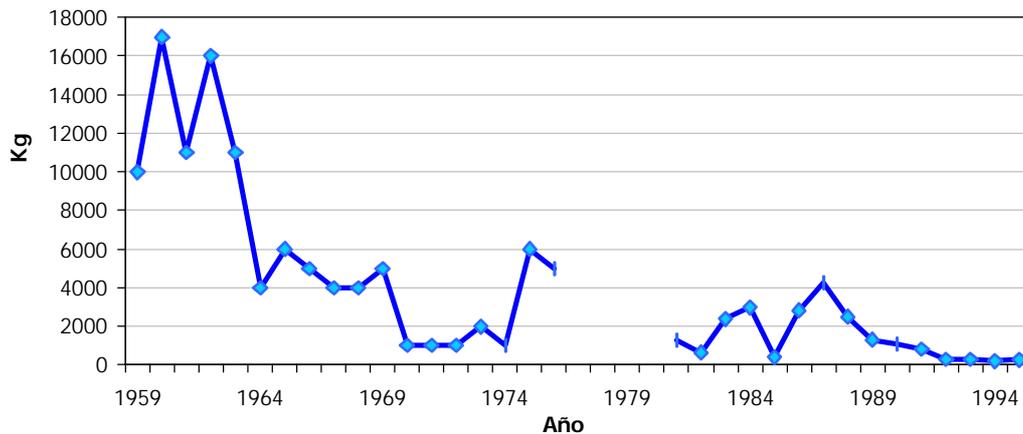
Esta laguna constituye un buen ejemplo de la mencionada regresión de las capturas, como puede verse en las Figuras 8 y 9.

Figura 8. Evolución de las capturas de angulas en L'Albufera de Valencia.



Fuente: Conselleria de Medio Ambiente, Generalitat Valenciana.

Figura 9. Evolución de las capturas de anguilas en L'Albufera de Valencia.



Fuente: Conselleria de Medio Ambiente, Generalitat Valenciana.

Sistemas de Producción: Ejemplo de Sistema Superintensivo

En Europa el principal sistema de producción es intensivo o superintensivo, en plantas cerradas con sistema de recirculación del agua (Figura 10). La producción parte de la captura de anguilas salvajes, o de angulón (alevines de 2 a 5 g de peso), ya que aún no ha podido completarse el ciclo de la anguila en cautividad. La producción rentable de anguilas requiere de determinadas condiciones en cuanto a la calidad del agua, que se exponen a continuación.

Figura 10. Planta de producción intensiva de anguila.



Necesidades ambientales de la anguila europea

- **Temperatura**

La anguila europea es una especie de aguas cálidas. La temperatura óptima para el crecimiento se sitúa en torno a los 26-28°C. Cuando la temperatura desciende por debajo de 12-16°C las anguilas dejan de alimentarse y pierden peso, aunque

su rango de tolerancia térmico (supervivencia) es más elevado, llegando a tolerar mínimos de hasta 0°C y máximos de hasta 30°C.

Para conseguir estas elevadas temperaturas en los países templados pueden utilizarse aguas calientes naturales (perforaciones, pozos artesianos), efluentes cálidos de centrales térmicas (Gran Bretaña, Bélgica, Alemania, Italia y Francia), e incluso las aguas de refrigeración de diversas industrias como acerías de Italia, aluminio de Noruega, química de Suecia, refinerías de Dinamarca, destilerías en Escocia (Brusle, 1991). Por otro lado, puede calentarse el agua de forma artificial mediante calderas, bombas de calor, etc., en cuyo caso es conveniente reutilizar el agua en sistemas de circuito cerrado para reducir la pérdida de energía y los costes asociados.

• **Oxígeno disuelto**

La anguila es un pez muy resistente frente a bajas concentraciones de oxígeno, tolerando concentraciones en el agua de hasta 3-4 mg/l, e incluso, provisionalmente, concentraciones mínimas de 2-2,5 mg/l. Por el contrario, concentraciones superiores a 7-8 mg/l pueden ocasionarle trastornos, como la enfermedad de las burbujas de gas (Brusle, 1991).

El consumo de oxígeno varía en función de: a) tamaño de los peces: 340 mg/kg/h en anguilas de 10 g, 200 mg/kg/h en anguilas de 150 g, a temperatura constante de 25°C (Ravagnan, 1978); b) temperatura del agua: con valores medios de 100-200 mg/kg/h a 20°C, y de 200-400 mg/kg/h a 30°C, así como de otros factores, como la alimentación o las situaciones de estrés.

Por otro lado, la anguila presenta un elevado porcentaje de respiración cutánea, que le permite permanecer fuera del agua durante varias horas siempre que su piel se mantenga húmeda. Esta cualidad les permite en la naturaleza flanquear obstáculos durante sus migraciones, y es de gran utilidad para el transporte en seco de ejemplares vivos.

• **Alcalinidad y pH**

La anguila puede tolerar un amplio margen de pH en el agua, entre 6 y 9. Sin embargo, para un correcto funcionamiento del sistema de recirculación, se debe mantener en valores de 7-8, medidos en el agua de salida de los estanques.

La alcalinidad es la capacidad de las aguas para neutralizar iones H⁺, es decir, es la capacidad tampón pH del agua, dependiente del sistema bicarbonato/carbonato. Si el agua carece de suficiente capacidad tampón, la actividad bacteriana tenderá a disminuir el pH, tanto por la producción continua de CO₂ en la oxidación de la materia orgánica, como por la actividad de las bacterias nitrificantes. Así, los niveles de alcalinidad a tener en cuenta son:

- Nivel normal: 3-5 mmol/l
- Nivel de observación: 2-3 mmol/l
- Nivel de actuación: 1,5-2 mmol/l
- Nivel peligroso: < 1,5 mmol/l

Por debajo de 1,5 mmol/l de alcalinidad pueden producirse cambios bruscos de pH. En instalaciones superintensivas se suele añadir al agua diariamente bicarbonato cálcico en cantidades variables según las características fisicoquímicas del agua.

• **Amonio/Amoniaco**

El amonio existente en las aguas de piscifactoría se debe a la excreción de los peces (metabolismo proteico, vía branquial), así como a la descomposición de la materia orgánica (restos de heces, pienso). El amonio en el agua se disocia en amoníaco, y la proporción relativa de estos compuestos depende de la temperatura y del pH. Ambos iones son tóxicos para los peces, aunque la toxicidad del amoníaco es muy superior. En el cultivo intensivo de la anguila, se toman como referencia los siguientes valores:

- Nivel normal: 0,5- 3 mg/l TAN (N- NH₃ + N- NH₄⁺)
- Nivel de observación: 3-6 mg/l TAN
- Nivel de actuación: > 6 mg/l TAN
- Nivel letal: > 0,5 mg/l NH₃

• **Nitritos**

Constituyen el primer producto de la oxidación del amonio, realizada por bacterias nitrificantes del género *Nitrosomonas*. Estas bacterias se encuentran en el sedimento de los estanques de tierra, y en los biofiltros que se emplean en sistemas de recirculación de agua. Los nitritos también presentan un carácter marcadamente tóxico para los peces, debido a su entrada en la sangre vía branquial, donde originan un compuesto, la ferrihemoglobina, que es incapaz de combinar oxígeno, de modo que el pez sufre hipoxia y muere. Los niveles de nitritos recomendados en el caso de la anguila europea son:

- Nivel normal: 1-5 mg/l
- Nivel de observación: 5-10 mg/l
- Nivel de actuación: > 10 mg/l
- Nivel letal: > 50 mg/l NO₂⁻
> 15 mg/l N-NO₂⁻

• **Nitratos**

Los nitratos se originan a partir de los nitritos por bacterias del género *Nitrobacter*. Presentan escasa toxicidad para los peces, y son comunes valores elevados tanto en aguas naturales como en aguas de piscifactorías. En sistemas intensivos de anguila son frecuentes valores de 500-1 000 mg/l, y estas elevadas concentraciones son un indicador de que los procesos de nitrificación se están desarrollando de forma normal en los filtros biológicos.

• **Luminosidad**

Las anguilas son lucífugas, y por tanto necesitan un entorno de semioscuridad, proporcionado, bien por la turbidez del agua de cultivo, o de forma sencilla, cubriendo los estanques o tanques con malla de rafia negra. En pequeños cultivos experimentales las anguilas se han mantenido incluso en pequeños tanques aireados pero cubiertos con tapas plásticas totalmente opacas.

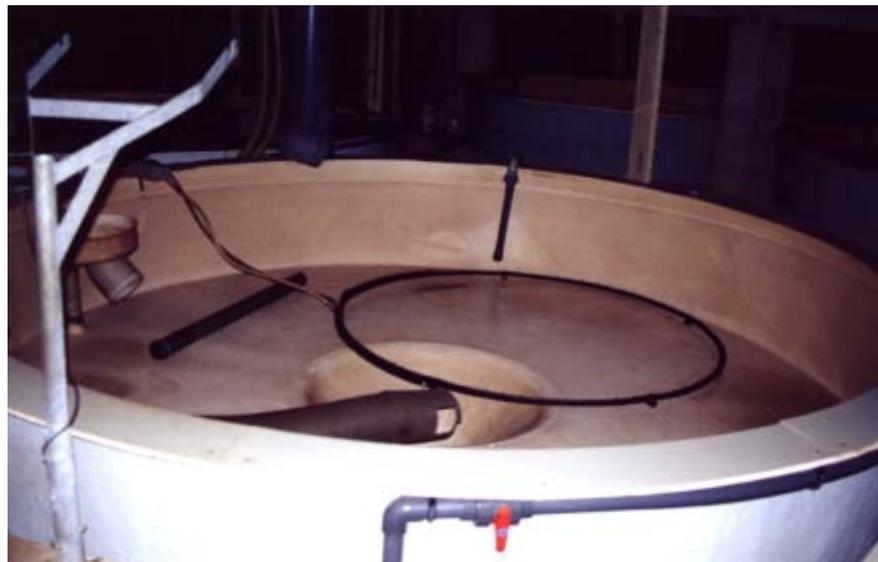
Sistemas de recirculación

El engorde de la anguila en Europa se realiza en general en sistemas de recirculación con calentamiento del agua. Estos sistemas permiten un bajo consumo de agua y energía térmica.

Constan de los siguientes elementos:

- *Filtros mecánicos rotatorios*: separan las partículas de tamaño inferior a 40-65 μm , constituidas por restos de pienso y heces.
- *Biofiltros*. Son de cilindros o de paneles con una gran superficie colonizada por bacterias nitrificantes, que forman un biofilm, y transforman el amonio en nitritos y finalmente en nitratos. En estas reacciones químicas se consume oxígeno y alcalinidad. Existen dos modelos básicos:
 - Biofiltro de presión o de flujo ascendente: es un tanque cerrado, relleno de grandes estructuras huecas con alta superficie específica que sirve de soporte al film bacteriano.
 - Biofiltro de goteo: es un filtro abierto de estructura rectangular llena del mismo material, a través del cual resbala el agua. Se consigue un mayor volumen de filtración por superficie de planta construida.
- *Sistema de oxigenación*: en sistemas intensivos, la elevada demanda de oxígeno por el biofiltro y la población de peces hace necesaria la incorporación de oxígeno puro para evitar la sobresaturación de nitrógeno atmosférico en los peces. Desde una instalación criogénica se incorpora a niveles de hasta 25 mg/l, en un bicono de oxigenación.
- *Tanques de engorde* (Figura 11): El diseño de los tanques debe tener en cuenta la facilidad de extracción de detritos y el comportamiento de los peces. Las anguilas son peces bentónicos que pasan la mayor parte del tiempo posados en el fondo, por lo que necesitan que parte del tanque sea plano. Pero la eliminación de detritos requiere de una zona cónica que acelere la decantación y facilite la extracción. Por ello se emplea tanques circulares y octogonales con un cono central de aproximadamente la mitad del diámetro del tanque. La entrada del agua es tangencial para que dé al agua un sentido rotatorio, de forma que los restos sólidos sean arrastrados al centro y fondo del tanque. Asimismo, la entrada es sumergida para evitar la pérdida de oxígeno al aire.

Figura 11. Detalle de un tanque de engorde.



- *Tanque de reserva*: Cada línea de engorde suele contar también con un tanque de reserva (tras el separador de sólidos), con la finalidad de eliminar el exceso de CO₂, aportar el agua perdida por evaporación y limpieza, añadir bicarbonato o evacuar el agua de la línea de engorde. Sobre el tanque están instaladas las bombas de recirculación, una para enviar el agua al biofiltro, otra para enviar a los tanques de peces y una tercera de reserva.
- *Sistema de control y emergencia*: está constituido por sondas que detectan el nivel del agua en los tanques, y el nivel de oxígeno. Existe asimismo un grupo electrógeno para evitar posibles fallos en el suministro eléctrico al sistema.

Fases de la producción

• *Introducción de angulas y cuarentena (45 días)*

Las angulas se introducen en la piscifactoría procedentes de diferentes lugares de captura, dos o tres veces al año, para asegurar después una producción continuada de angulas a lo largo del año. Algunas zonas tradicionales de captura en España son el Delta del Ebro, la Albufera de Valencia, Galicia o el Golfo de Vizcaya, aunque pueden comprarse a otras zonas o países en función de las temporadas de pesca permitidas y los precios de venta.

Generalmente se introducen dos lotes anuales, en verano e invierno, para lograr una producción continuada durante el año. Se introducen en la fase de angulas sin pigmentar, con un peso medio de 0,3 g (Figura 12). Se necesitan alrededor de 4 kg de angulas (1 kg contiene hasta 3 500 angulas) para producir 1 Tm de angulas de tamaño comercial (125-150 g). La compra de angulas supone una parte importante del coste de producción debido a su elevado precio (250-300 €/kg).

Figura 12. angulas a su llegada a la piscifactoría.



Las angulas se introducen a una densidad inicial de 30 kg/m³, en tanques circulares de poliéster y fibra de vidrio, con forma cilíndrica, y 1 500 l de capacidad (Figura 13). Para evitar un choque térmico, las angulas se aclimatan desde una temperatura inicial del agua de 20°C hasta 25-26°C. Durante la cuarentena se realizan vacunaciones por inmersión contra *Vibrio vulnificus* y baños con formol para eliminar posibles ectoparásitos.

Figura 13. Introducción de angulas en los tanques de cuarentena.



- **Adaptación al alimento (10-15 días)**

Inicialmente se les suministra hueva de merluza o bacalao, que va siendo sustituida progresivamente por pienso comercial seco (57% PB, 18% lípidos), al que se han adaptado al cabo de 15 días (Figura 14). En Japón y países asiáticos la adaptación se realiza aportando como primer alimento gusanos del género *Tubifex*. En Italia se aporta carne de pescado homogeneizada y desde hace poco tiempo, hueva de carpa junto con pasta comercial húmeda (Grandi y cols, 2000).

Figura 14. Adaptación al alimento con hueva de bacalao.



- **Alevinaje (Preengorde)**

En conjunto la fase de alevinaje, que incluye la adaptación a la instalación y al alimento, supone un periodo de 3 meses durante los cuales las anguilas crecen hasta un tamaño de 10 g y son transferidas a los tanques de engorde.

Durante este período las angulas presentan una gran tendencia natural al escape. Son capaces de trepar por paredes verticales húmedas alturas superiores a 1 m. Por ello los tanques suelen tener un reborde interior que evite las fugas. Durante la adaptación a piensos secos, las angulas se alimentan con comederos automáticos de cinta (Figura 15), que suministran el alimento de forma continua, y a partir de 1 g de peso, se suministra el alimento mediante comederos de autodemanda (Figura 16).

Figura 15. Comedero automático de cinta.

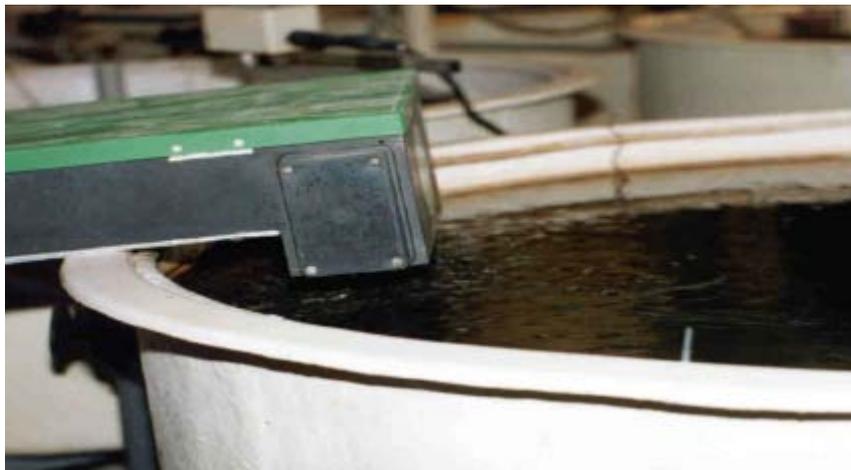


Figura 16. Detalle de comedero de autodemanda.



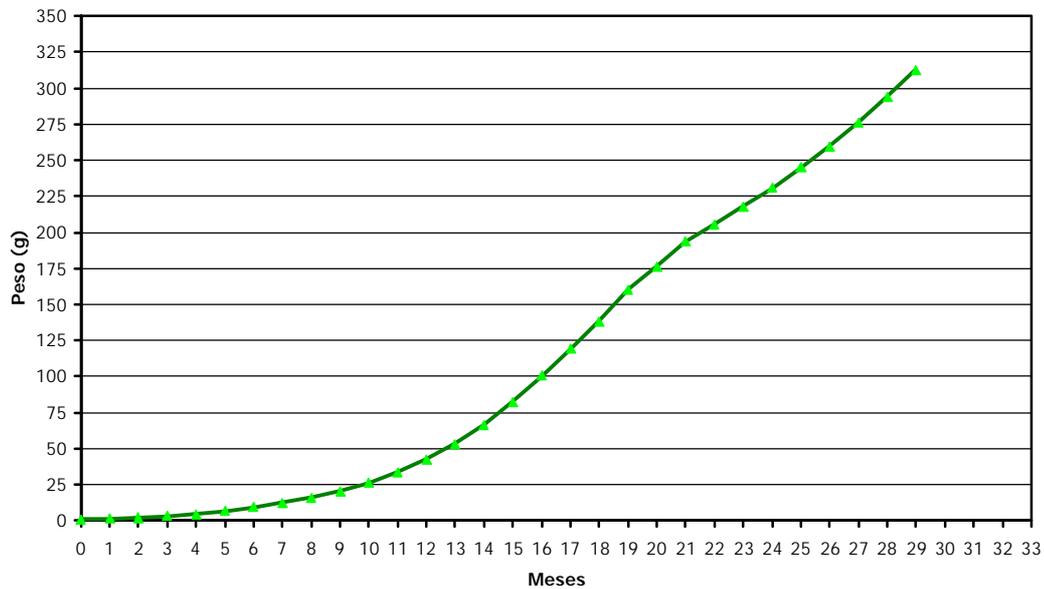
Esta especie presenta una elevada dispersión en el crecimiento; por ello se realizan clasificaciones mensuales por tamaños, para evitar los fenómenos de competencia por el alimento y el canibalismo. Durante este periodo de alevinaje se producen pérdidas muy importantes: entre 5-10% de angulas mueren; un 20-30% no se adapta a la alimentación, y en torno a 15-20% presentan un crecimiento nulo y son descartadas. Así, únicamente un 55-60% de las angulas iniciales continúan la fase de engorde hasta tamaño comercial.

- **Engorde**

El engorde hasta el peso comercial (125-150 g) se realiza en un periodo medio de 15 meses, de modo que en conjunto, todo el proceso dura entre 17-19 meses. Algunos mercados, como el alemán, prefieren angulas de mayor tamaño, que se

mantienen durante 5-6 meses más. En la Figura 17 puede verse la curva de crecimiento a 26-28°C.

Figura 17. Curva del crecimiento de la anguila en sistema intensivo.



El pienso se suministra mediante comederos de autodemanda, siendo el índice de conversión medio de 1,6. Los piensos que se emplean suelen contener niveles proteicos en torno a 45-47% PB, y elevados niveles de grasa (24-28%).

Principales patologías en Europa

• Parasitarias

Aunque lo habitual son las exportaciones de angulas a Japón para su engorde en este país, en algún momento se produjo el transporte de ejemplares de anguila japonesa (*A. japonica*) hasta Europa durante los años 80. Esta segunda especie era portadora de un nematodo, *Anguillicola crassus*, que vive fijado en la vejiga natatoria alimentándose de la sangre del pez, aunque sin causar problemas demasiado graves. Este parásito ha pasado a la especie europea en la que, por el contrario, sí es capaz de causar daños hematológicos serios (Benajiba y Romestand, 1994) y llegar a provocar la muerte. En 1994 murieron más de 3,5 Tm de anguilas en el embalse de Vranov (República Checa) y en el lago Balaton (Hungría) se registran mortalidades periódicas desde 1991 (Barus y cols, 1999; Bekelesi y cols, 1997). La presencia de este parásito se ha podido constatar en ejemplares salvajes de L'Albufera de Valencia (resultados sin publicar).

Otros parásitos que han originado importantes daños en la producción de anguilas en Europa son: *Ichtiobodo necatrix* o *Pseudodactylogirus* spp. Los tratamientos usuales frente a ectoparásitos son baños de formol (25-150 ppm).

• Bacterianas

Son frecuentes las vibriosis (*Vibrio* spp) y aeromoniasis (*Aeromonas* spp); los síntomas son hemorragias generalizadas, ulceraciones, erosión de las aletas, y otros. Los tratamientos se realizan con antibióticos permitidos por la UE, como tetraciclina o sulfamidas, y se realizan también tratamientos preventivos con vacunas específicas.

• Víricas

Entre las enfermedades víricas graves en Europa, se han detectado casos de IPN (Necrosis Pancreática Infecciosa), pero no se ha observado IHN (Necrosis Hematopoyética Infecciosa), o VHS (Septicemia Hemorrágica Viral) (Jorgensen y cols, 1994). No se tienen noticias de mortalidades en acuicultura debido a estas enfermedades. Sin embargo, el *Herpesvirus anguillae*, que ha originado mortalidades masivas en *Anguilla japonica* (Lee y cols, 1999), se aisló en Europa por primera vez en 1999 (Davidse y cols, 1999) y puede ser una causa importante de infecciones.

Comercio de anguilas

La anguila se comercializa de diferentes formas. La principal forma de comercio de esta especie es en forma de angulas y anguilas vivas. El transporte se realiza en camiones cisterna equipados con tanques y oxigenación, aislados térmicamente. El transporte en avión a los países asiáticos se realiza en cajas de poliestireno expandido con hielo seco y poros para la ventilación, donde pueden sobrevivir hasta 36 horas. Para su consumo en fresco se sacrifican por decapitación, pero para la elaboración de productos el sacrificio es generalmente por electrocución.

Otras formas de comercio internacional son: anguilas en fresco o refrigeradas, congeladas, ahumadas, o en conservas. En la Tabla 4 puede verse el balance comercial, por la diferencia entre exportaciones e importaciones, en diferentes países.

Tabla 4. Balance del comercio mundial de anguilas en 2000.

Área/país		Balance comercial	Forma principal de comercio	
A. <i>anguilla</i>	Unión Europea	Italia	Equilibrado	angulas y anguilas vivas
		Dinamarca	Exportador	angulas y anguilas vivas
		Holanda	Importador	angulas y anguilas vivas
		Alemania	Importador	angulas y anguilas vivas
		Suecia	Exportador	angulas y anguilas vivas
		Reino Unido	Exportador	angulas y anguilas vivas
		España	Importador	Frescas o refrigeradas
		Francia	Exportador	Vivas/ahumadas
		Austria	Importador	En conserva
	Grecia	Exportador	angulas y anguilas vivas	
	Europa oriental	Polonia	Importador	Congeladas
		Hungría	Exportador	angulas y anguilas vivas
		Albania	Exportador	angulas y anguilas vivas
	Europa no comunitaria	Noruega	Exportador	angulas y anguilas vivas
A. <i>japonica</i> y otras	Asia	Japón	Importador	En conserva
		Taiwán	Importador	angulas y anguilas vivas
		Rep. Corea	Importador	angulas y anguilas vivas
		China	Exportador	En conserva
		Hong Kong	Importador	angulas y anguilas vivas
		Macao	Importador	angulas y anguilas vivas
		India	Exportador	Congeladas
A. <i>australis</i> y otras	Oceanía	Australia	Exportador	Vivas/procesadas
		Nueva Zelanda	Exportador	Vivas/procesadas
		Zelanda		

Fuente: elaboración propia a partir de estadísticas F.A.O. (2003)

China es el principal exportador mundial, con un volumen de exportación de 73 500 Tm de anguilas, que ascienden a un valor de 770 millones de dólares. El principal importador es Japón, con 85 700 Tm que suponen un valor de 900 millones de dólares. En la Unión Europea en conjunto, en el año 2000 se importaron 14 079 Tm de anguila, mientras que las exportaciones fueron de 10 240 Tm, lo que supone un déficit de unas 3 800 Tm.

España es el único país en el mundo donde se consumen angulas. Se preparan de diferentes formas, siendo la más habitual simplemente fritas con ajo y guindilla. En cuanto a las anguilas, se consumen cocinadas de diversas formas ("*all i pebre*", marinadas). En el resto de Europa, las anguilas se consumen principalmente ahumadas, y elaboradas con gelatina (*jellied eels*) en el Reino Unido. En Japón y otros países asiáticos la preparación es muy laboriosa. El principal producto asiático es el denominado "*kabayaki*", considerado un manjar. El kabayaki supone una preparación laboriosa: se filetean las anguilas, se cuecen ligeramente, se sumergen en una salsa denominada "*tare*", y se tuestan ligeramente, repitiendo este proceso varias veces (Usui, 1991).

Reproducción

Las anguilas presentan dimorfismo sexual en relación al tamaño; las hembras alcanzan tamaños de hasta 1,5 m, y maduran sexualmente a los 9-20 años, mientras que los machos alcanzan tamaños en torno a 45 cm y maduran entre los 6 y 12 años, en la naturaleza. El crecimiento se ralentiza al alcanzar la madurez, por lo que puede resultar interesante la producción de hembras, que presentarán un crecimiento diferencial mayor a partir de este tamaño. Se incluye por ello un apartado dedicado a la diferenciación y control del sexo en la anguila.

Diferenciación sexual

La anguila es una especie gonocórica indiferenciada, (Yamamoto, 1969; Chan y Yeung, 1983) es decir, con sexos separados, pero donde el primordio gonadal se desarrolla inicialmente con aspecto de gónada femenina. Su diferenciación sexual se ve muy condicionada por los factores ambientales, y especialmente por la densidad: a elevadas densidades se genera una gran proporción de machos, mientras que a bajas densidades predominan las hembras. Esta sería la razón que explicaría la elevada cantidad de machos en condiciones de producción intensiva, tanto en la especie europea como en la japonesa (Grandi y cols, 2000).

Las angulas poseen gónadas indiferenciadas hasta que alcanzan un tamaño de 12 cm; a partir de este momento se inicia el proceso de diferenciación sexual y la síntesis de esteroides (Grandi y Colombo, 1997). Según el esquema propuesto por estos autores, las anguilas pueden diferenciarse directamente en hembras, o bien pasar por una etapa intersexual, durante la cual sus gónadas tienen un aspecto similar al de una gónada masculina, pero con oocitos previtelogénicos presentes. Estas gónadas, denominadas "órgano de Syrski" se habían considerado tradicionalmente como un testículo inmaduro, aunque hoy se sabe que pueden originar ovarios.

De gran interés práctico resulta el conocimiento de cómo y cuándo es posible dirigir la diferenciación sexual de esta especie. El período lábil de esta especie está comprendido entre los 6-8 cm hasta 12-15 cm de longitud (Colombo y Grandi, 1995, 1996; Grandi y Colombo, 1997; Grandi y cols, 2000). Así pues, durante todo este

período es posible modificar su diferenciación sexual mediante el aporte de estrógenos o andrógenos exógenos. En la Unión Europea está prohibida la utilización de esteroides sintéticos en la cría de peces (Directiva 94/62).

Esta normativa es discutible, ya que los tratamientos feminizantes o masculinizantes se aplican durante las primeras etapas de la vida del pez, y tienen duraciones máximas de unos 3 meses. Aún tienen que pasar varios meses o años para que el pez alcance un tamaño comercial. Durante este tiempo, los peces consumen alimentos sin hormonas adicionales. Dado que se sabe que la eliminación de los esteroides por los peces es muy rápida (días, semanas), no puede existir riesgo de que queden restos hormonales en cantidades significativas en el pez que llega al consumidor. Concretamente, tras semanas e incluso tan solo días después del tratamiento hormonal, menos del 1% de la dosis inicial permanece en el pez (Piferrer y Donaldson, 1994; Rothbard y cols, 1990; Johnstone y cols, 1983; Piferrer, 2001). A pesar de esto, el uso de esteroides sintéticos permanece restringido a fines científicos.

Chiba y cols. (1993) suministraron 17- β -estradiol en dosis de 25, 50 y 75 ppm a angulas japonesas (*Anguilla japonica*) durante un período de 3 meses. Obtuvieron entre un 96-100% de hembras, frente a unos porcentajes de 6-8% en el grupo control. Pérez y cols. (1996) replicaron este experimento con angulas de la especie europea (*Anguilla anguilla*), obteniendo porcentajes de 96-100% de hembras, frente a un 13% en el grupo control. No se observó, en cambio, un efecto significativo sobre el crecimiento en los diferentes lotes, o entre los machos y hembras de esta especie. La duración del tratamiento también juega un papel importante; los tratamientos feminizantes posiblemente deberían prolongarse hasta que las angulas alcancen pesos de 7-8 g (Pérez y cols, resultados sin publicar).

Debido a la prohibición o problemas de mercado con el empleo de esteroides sintéticos, y a las ventajas de producir hembras, se están desarrollando investigaciones encaminadas a la feminización con estrógenos naturales. Así, Grandi y cols. (2000) han estudiado el efecto feminizante de la alimentación con huevas de carpa en angulas de diferentes tamaños iniciales, obteniendo los mayores porcentajes de hembras en las angulas con tamaño inicial de 8-11 cm (66%), frente a 12-15 cm (51%) y con tan sólo un 5% de hembras en el grupo control. Los ovarios y huevas de peces contienen gran cantidad de estrógenos, y suelen ser baratos y fáciles de obtener.

El uso de estrógenos naturales está siendo investigado. Se han realizado diversos ensayos con *Artemia* viva como vehículo, (Piferrer, 2001) en especies marinas, o con tejido testicular porcino (Andersen y cols, 1996) en anguila europea. Esta línea de investigación puede tener un gran interés práctico en la producción de anguilas.

Reproducción artificial: la alternativa sostenible

Uno de los problemas fundamentales en la producción de cualquier especie de peces es el abastecimiento de alevines de forma regular y sostenible en el tiempo. A pesar del interés económico y ambiental, actualmente todavía no se ha podido completar el ciclo reproductivo de las anguilas en cautividad. Además, las capturas de angulas son cada vez más escasas, y, por tanto, cada vez más caras.

En Japón, donde el coste de las angulas ha alcanzado algunos años hasta el 50% de los costes de producción total, (Lee y cols, 2003) se ha investigado intensamente en la reproducción; por ello en la especie japonesa es donde se han logrado los mayores avances. En las hembras de esta especie se ha conseguido en repetidas ocasiones

inducir la maduración completa y puesta de los oocitos, con diversos protocolos de tratamiento hormonal:

- Inyecciones semanales de extracto de hipófisis de salmón y una dosis final de 17,20 β -dihidroxi-4-pregnen-3-ona (17,20 β P) (Ohta y cols, 1996a, 1997a,b; Kagawa y cols, 1997, 1998)
- Inyecciones de hipófisis de salmón (Ijiri y cols, 1998), incluyendo un tratamiento final de análogos de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRHa, LHRHa) (Satoh y cols, 1992)
- Implantes hormonales (17- α -metil-testosterona, androstenediona, estradiol) seguidos de una inyección final (Lin y cols, 1991).

Los tratamientos basados en inyecciones de extractos de hipófisis inducen el crecimiento de los oocitos y la formación de vitelo (Yamamoto y Yamauchi, 1974; Satoh y cols, 1992; Ijiri y cols, 1998). Los implantes de testosterona sola o en combinación con estradiol, análogos de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRHa) y antagonistas de la dopamina también estimulan la formación de vitelo (Lin y cols, 1991).

En 1990, Yamauchi informó de la capacidad del 17,20 β P, un esteroide inductor de la maduración (MIS), para inducir la puesta en la especie japonesa. Con posterioridad se ha tratado de mejorar las técnicas de inducción de la ovulación mediante estudios *in vitro* (Kagawa y cols, 1995), mediante la administración de LHRHa (Satoh y cols, 1992) o MIS (Ohta y cols, 1996a, 1997a; Kagawa y cols, 1997, 1998; Ijiri y cols, 1998) durante las fases finales de maduración, o con el uso de implantes de testosterona o androstenediona, induciendo la maduración final y ovulación con una inyección de pituitaria de salmón, sola o en combinación con LHRHa y antagonistas de la dopamina (Lin y cols, 1998).

En el caso de las hembras de anguila americana (*A. rostrata*) se han empleado con éxito tratamientos basados en la administración de extractos de hipófisis de salmón y carpa combinados con Gonadotropina Coriónica humana (hCG), sirviendo el 17,20 β P como inductor de la ovulación (Sorensen y Winn, 1984). Sin embargo, tras la fecundación los huevos detienen su desarrollo en la fase de gástrula.

Los primeros estudios para obtener gametos sexualmente maduros a partir de la anguila europea se realizaron en Francia en 1937. Desde 1940, los experimentos sobre maduración de anguilas se realizaron en Dinamarca, y el progreso en el nivel de conocimiento sobre la inducción de la maduración se debió a las observaciones de varios investigadores, como Bruun y cols. (1949) o Moller-Christensen y cols. (1956) (Boetiüs y Boetiüs, 1967).

En 1964, Fontaine y cols. obtuvieron por primera vez productos sexuales maduros a partir de hembras de anguila tratadas con extractos de pituitaria de carpa, aunque no se realizaron ensayos de fecundación artificial. Desde entonces cabe destacar algunos estudios como el de Boetiüs y Boetiüs (1980), que obtuvieron óvulos maduros con un tratamiento a base de inyecciones bisemanales de hipófisis de carpa y hCG. Tras inducir la fecundación, sólo los huevos de 5 de 21 hembras mostraron algún signo de desarrollo embrionario, y en una de las muestras lo máximo que se alcanzó fue la fase de gástrula (20 h), tras lo cual no continuaron su desarrollo. Más tarde, Villani (1985) utilizando extracto de hipófisis de salmón y hCG, consiguió la emisión espontánea de oocitos de 1 mm de diámetro.

Los estudios del equipo francés de Dufour y cols. (1983, 1989) no lograron una maduración completa de las hembras de anguila europea con tratamientos de esteroides, GnRHa o pituitaria de carpa; quizá por utilizar ejemplares muy pequeños (hembras de 200-340 g), o por mantener a los peces en agua dulce (1993).

Chiba y cols. (1994) tampoco consiguieron madurar completamente los oocitos de anguilas tratadas con inyecciones semanales de hipófisis de salmón. Sin embargo, otros autores lograron la ovulación utilizando una combinación de hipófisis de salmón o carpa y hCG en la anguila europea (Boetiüs y Boetiüs, 1980, 1991; Villani, 1985; Amin, 1997). Algunos autores, como Boetiüs y Boetiüs (1980) y Amin (1997), lograron inducir IGS máximos de 60,7 y 68,4% respectivamente, aunque tras extraer los oocitos mediante masaje abdominal, sus ensayos de fertilización fracasaron. Pankhurst (1982) describió los cambios morfológicos asociados con la maduración y llegó a observar oocitos con 1,2 mm de diámetro.

Asturiano y cols. (2001, 2003b), tras un tratamiento consistente en inyecciones semanales de extracto de hipófisis de salmón y hCG en hembras salvajes de anguila, utilizaron por primera vez en la anguila europea el 17,20 β P como MIS para inducir la puesta de forma controlada. Este progestágeno ha sido identificado como MIS en otras especies (Nagahama, 1997), incluyendo la anguila japonesa (Yamauchi, 1990). También se ha detectado una intensa síntesis *in vitro* de 17,20 β P en oocitos de anguila neozelandesa (*Anguilla dieffenbachii*) (Gray 1842; Lokman y Young, 1995). Pese a los buenos resultados obtenidos con el 17,20 β P, las distintas especies de anguila podrían tener más de un MIS controlando las fases finales de maduración oocitaria y ovulación, tal y como ocurre en otras especies.

La inducción de la maduración y producción de esperma en machos de anguila se ha realizado en numerosas ocasiones utilizando inyecciones de hCG, con diversas dosis e intervalos de tratamiento. En la anguila japonesa, aunque se ha logrado con una sola inyección a dosis elevadas (Miura y cols, 1991; Ohta y Tanaka, 1997), Ohta y cols. (1997a,b) mostraron que se obtenían mejores resultados utilizando inyecciones semanales a bajas dosis (1 IU/g peso pez, o 250-300 IU/pez); en este caso los peces comenzaban a producir esperma a partir de la quinta-sexta semana de tratamiento.

En los machos de anguila europea la espermiación también se obtiene empleando inyecciones de hCG. Aunque se han ensayado diversas dosis e intervalos de tratamiento (Boetiüs y Boetiüs, 1967; Dollerup y Graver, 1985), un tratamiento sencillo que se ha aplicado con éxito en diversas ocasiones es el uso de inyecciones semanales de 1,5 UI hCG/g pez. Tras 5-6 semanas se puede obtener esperma por masaje abdominal (Amin, 1997; Pérez y cols, 1999, 2000).

En los últimos meses se han estudiado las características fisico-químicas y la composición iónica del plasma seminal de la anguila europea en relación con la calidad del esperma (Pérez y cols, 2003) y, en base a estos trabajos, se han diseñado medios para la dilución del esperma con el objetivo de facilitar su manejo y la evaluación de su calidad (Asturiano y cols, 2003a; Pérez y cols, 2003). También se ha desarrollado un primer protocolo de criopreservación del esperma de esta especie (Asturiano y cols, 2003c) lo que se espera que evite los desfases en la maduración de machos y hembras, facilitando la fertilización de huevos de anguila europea en el futuro.

Hasta el momento, el freno en la reproducción de la anguila europea está en la obtención de larvas viables. Sin embargo, en la anguila japonesa este obstáculo está superado. Recientemente (Tanaka y cols, 2001), publicaron un estudio sobre la producción de leptocéfalos de anguila japonesa en cautividad. En este estudio partían

de 4000 larvas de anguila japonesa, en las que ensayaron dos dietas húmedas basadas en polvo de huevo de tiburón. La supervivencia a los 50 días tras eclosión fue de 3-5%, y disminuyó hasta 0,5-2% a los 100 días tras eclosión. El problema en este caso es, al parecer, conseguir un alimento adecuado para las larvas leptocéfalos, que no sobreviven hasta la metamorfosis que las convertiría en angulas.

Consideraciones finales

Ya se ha comentado la importancia de los estudios encaminados a completar el ciclo en cautividad de la anguila europea. Aunque existen diferencias entre la anguila japonesa y la anguila europea, es de esperar que en un futuro cercano se cierre el ciclo reproductivo de la anguila japonesa, y posteriormente el de la anguila europea.

Un tema de gran interés sería la maduración artificial de hembras de anguila europea procedentes de piscifactoría, que hasta el momento no se ha conseguido con éxito. Hasta el momento, la maduración de hembras se realiza a partir de ejemplares salvajes capturados en su migración al mar, que se encuentran en una etapa más avanzada de desarrollo.

Por ello el estudio de otros aspectos de la reproducción controlada, como la duración de la espermiación en machos, el momento óptimo de recolección de esperma, o la posibilidad de criopreservación del mismo serán de gran utilidad para la sincronización de las puestas, la calidad de los huevos y la supervivencia larvaria.

Agradecimientos

Los resultados propios mencionados en el presente trabajo se deben a un proyecto subvencionado por el IMPIVA (Generalitat Valenciana, IMTEFA/1998/21) y a un proyecto subvencionado por la Presidencia de la Generalitat Valenciana (CTIDIA/2002/117), la Universidad Politécnica de Valencia (20030488) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología (AGL2003-05362-C02-01).

J. F. Asturiano cuenta con un contrato del Programa Ramón y Cajal, cofinanciado por la Universidad Politécnica de Valencia y el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Bibliografía

1. Amin, E.M. (1997). Observation on reproduction techniques applicable to the European Eel (*Anguilla anguilla* L.) Cahiers Options Mediterranees, 34:223-234
2. Andersen, D., I. Boetiüs, L. Olesen Larsen y P.H. Sleider. (1996). Effects of oestradiol-enriched diet and of feeding with porcine testicular tissue on macroscopic gonadal sex in European eels. Journal of Fish Biology, 48:484-492
3. Asturiano, J.F., L. Pérez, A. Tomás, S. Zegrari, F.J. Espinós y M. Jover. (2001). Inducción hormonal de la maduración gonadal y puesta en hembras de anguila europea (*Anguilla anguilla*): primeros resultados. Actas VIII Congreso Nacional de Acuicultura. Santander 162-163. Exposición oral
4. Asturiano, J.F., L. Pérez, L. Olivares, A. Tomás, S. Martínez, S. Falco y M. Jover. (2003a). Valoración de parámetros físico-químicos y composición iónica del plasma seminal de anguila europea (*Anguilla anguilla*). Primer Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura, CIVA 2002 URL: <http://www.civa2002.org>. 482-491
5. Asturiano, J.F., L. Pérez, A. Tomás, S. Zegrari, F.J. Espinós y M. Jover. (2003b). Inducción hormonal de la maduración gonadal y puesta en hembras de anguila europea (*Anguilla anguilla*): cambios morfológicos y desarrollo oocitario. Boletín del Instituto Español de Oceanografía, 18: 1-10

6. Asturiano, J.F., L. Pérez, F. Marco-Jimenez, L. Olivares, J.S. Vicente y M. Jover. (2003c). Media and methods for the cryopreservation of European eel (*Anguilla anguilla*) sperm. . Fish Physiology and Biochemistry, 28: 501-502
7. Barus, V., F. Moravec y M. Prokes. (1999). Anguillicolosis of the european eel (*Anguilla anguilla*) in the Czech Republic. Czech J. Anim. Sci., 44(9):423-431
8. Benajiba, M.H. y B. Romestand. (1994). Effect of the swim bladder nematode *Anguillicola crassus* on the haematological parameters on the european eel *Anguilla anguilla* Linnaeus, 1758. Ichthyophysiological Acta, 17:91-102
9. Bekesi, J., S. Hornok y C. Szekeley. (1997). Attempts to analyze *Anguillicola crassus* infection and the humoral host response in eels. Acta Veterinaria Hungarica, 45(4):439-445
10. Boetiüs, I. y J. Boetiüs. (1967). Studies in the european eel, *Anguilla anguilla* (L.). Experimental induction of the male sexual cycle, its relation to temperature and other factors. Meddelser fra Danmarks Fiskeri- og Havunderogelser, 4(11):339-405
11. Boetiüs, I. y J. Boetiüs. (1980). Experimental maturation of female silver eels, *Anguilla anguilla*. Estimates of fecundity and energy reserves for migration and spawning. Dana, 1:1-28
12. Brusle, J. (1991). En: Acuicultura. G. Barnabe. (2 tomos). Ed. Omega. 1083 pp
13. Chan, H., y W.S.B. Yeung. (1983). Sex control and sex reversal in fishes under natural conditions. En: Fish Physiology, vol. IXB. W.S. Hoar, D.J. Randall y E.M. Donaldson. Academic Press, New York
14. Chen, L. (1990). Aquaculture in Taiwan. Fishing News Books, Blackwell Scientific Publications, London. 273 pp
15. Chiba, H.K., K. Iwatsuki, K. Hayami y K. Yamauchi. (1993). Effects of dietary estradiol-17- β on feminization, growth and body composition in the japanese eel (*Anguilla japonica*). Comparative Biochemistry and Physiology, 106A:367-371
16. Chiba, H., K. Iwatsuki K. Hayami, A. Hara y K. Yamauchi. (1994). Changes in serum steroid hormones and vitellogenin levels in cultured female European eels (*Anguilla anguilla*) during artificially induced ovarian development. Journal of the World Aquaculture Society, 25:553-560
17. Colombo, G. y G. Grandi. (1995). Sex differentiation in the European eel: histological analysis of the effects of sex steroids on the gonad. Journal of Fish Biology, 47:394-413
18. Colombo, G. y G. Grandi. (1996). Histological study of the development and sex differentiation of the gonad in the European eel. Journal of Fish Biology, 48:493-512
19. Davidse, A., O.L.M. Haenen, S.G. Dijkstra, A.P. Van Nieuwstadt, T. van der Vorst, F. Wagenaar y G.J. Wellenberg. (1999). First Isolation of herpesvirus of eel (*Herpesvirus anguillae*) in diseased european eel (*Anguilla anguilla* L.) in Europe. Bulletin of the European Association of Fish Pathologists, 19(4):137-141
20. Docavo, I. (1979). La Albufera de Valencia: sus peces y sus aves. Ed. Institución Alfonso El Magnánimo, Diputación de Valencia. 239 pp
21. Dollerup, J. y C.M. Graver. (1985). Repeated induction of testicular maturation and starvation alternating with periods of feeding and growth in silver eels, *Anguilla anguilla*. Dana, 4:19-39
22. Doufour, S., N. Delerve-Le Belle e Y. Fontaine. (1983). Effects of steroid hormones on pituitary immunoreactive gonadotropin in European freshwater eel, *Anguilla anguilla* L. Gen. Com. Endocrinol., 52(2):190-197
23. Doufour, S., E. López, F. Le Menn, N. Le Belle, S. Baloche, e Y. Fontaine. (1988). Stimulation of gonadotropin release and of ovarian development, by the administration of a gonadoliberin agonist and of dopamine antagonists, in female silver eel pretreated with estradiol. Gen. Com. Endocrinol., 70:20-30
24. Doufour, S., N. Le Belle, S. Baloche e Y. Fontaine. (1989). Positive feedback control by the gonads on gonadotropin (GTH) and gonadoliberin (GnRH) levels in experimentally matured female silver eels, *Anguilla anguilla*. Fish Physiol. Biochem., 7:157-162
25. Doufour, S., M. Montero, N. Le Belle, M. Basompierre, J. King, R. Millar, R. Peter e Y. Fontaine. (1993). Differential distribution and response to experimental sexual maturation of two forms of brain gonadotropin-releasing hormone (GnRH) in the European eel, *Anguilla anguilla*. Fish Physiol. Biochem., 11:99-106
26. FAO 2003. Estadísticas de Acuicultura y Pesca. URL: <http://www.fao.org>
27. Fontaine, M., E. Bertrand, E. Lopez y O. Callamand. (1964). Sur la maturation des organes genitaux de l'Anguille femelle et l'émission spontanée des oeufs en aquarium. Compt. Rend. Acad. Sci., 259:2907-2910
28. Gousset, B. (1992). Eel culture in Japan. Bulletin de L'Institute Océanographique, Monaco. N° spécial 10:1-128

29. Grandi, G. y G. Colombo. (1997). Developmental and early differentiation of gonad in the European eel (*Anguilla anguilla* (L.), Anguilliformes, Teleostei): a cytological and ultrastructural study. *Journal of Morphology*, 231:195-216
30. Grandi, G., G. Porio, G. Colombo y M. Chicca. (2000). Effects of diet supplementation with carp ovary on gonad differentiation and growth of the European eel. *Journal of Fish Biology*, 57:1505-1525
31. ICES, International Council for the Exploration of the Sea (1997). EIFAC Occasional paper, nº 33. FAO-FI-EIFAC/OP33. 21 pp
32. ICES, International Council for the Exploration of the Sea (2001). ICES Cooperative Research Report, Nº 246
33. Ijiri S., T. Kayaba, N. Takeda, H. Tachiki, S. Adachi y K. Yamauchi. (1998). Pretreatment reproductive stage induced by salmon pituitary homogenate in the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fisheries Science*, 64(4):531-537
34. Jorgensen P., J. Castric, B. Hill, O. Ljungberg y P. Dekinkelin. (1994). The occurrence of virus infections in elvers and eels (*Anguilla anguilla*) in Europe with particular reference to VHSV and IHNV. *Aquaculture*, 123(1-2):11-19
35. Kagawa, H., H. Tanaka, K. Okuzawa y K. Hirose. (1995). In vitro effects of 17α -hydroxyprogesterone and $17,20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one on final maturation of oocytes at various developmental stages in artificially matured Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fisheries Science*, 61:1012-1015
36. Kagawa, H., H. Tanaka, H. Ohta y K. Okuzawa. (1997). Induced ovulation by injection of $17, 20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the artificially matured Japanese eel, with special reference to ovulation time. *Fisheries Science*, 63(3):365-367
37. Kagawa, H., N. Iinuma, H. Tanaka, H. Ohta y K. Okuzawa. (1998). Effects of rearing period in seawater on induced maturation in female Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fisheries Science*, 64(1):77-82
38. Kamstra, A., J.W. van der Heul y M. Nijhof. (1998). Performance and optimisation of trickling filters on eel farms. *Aquacultural Engineering*, 17:175-192
39. Lecomte-Finiger, R. (1994). The early life of the European eel. *Nature*, vol. 370 nº 6489:424
40. Lee, W., Y. Chen, Y. Lee e I. Liao. (2003). The competitiveness of eel aquaculture in Taiwan, Japan, and China. *Aquaculture*, In press
41. Lee, N., J. Kobayashi y T. Miyazaki. (1999). Gill filament necrosis in farmed Japanese eels, *Anguilla japonica*, infected with *Herpesvirus anguillae*. *Journal of Fish Diseases*, 22(6):457-463
42. Lin, H.R., M.L. Zhang, S.M. Zhang, G. Van Der Kraak, R.E. Peter y B. Breton. (1991). Stimulation of pituitary gonadotropin and ovarian development by chronic administration of testosterone in female Japanese silver eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture*, 96:87-95
43. Lin, H.R., X. Gang, Z. Li-Hong, W. Xiao-Dong y C. Lian-Xi. (1998). Artificial Induction of gonadal maturation and ovulation in the Japanese eel (*Anguilla japonica* T. ET. S.). *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, (349):163-176
44. Lobón-Cerviá, J. (1999). The decline of eel *Anguilla anguilla* (L.) in a river catchment of northern Spain 1986-1997. Further evidence for a critical status of eel Iberian waters. *Arch. Hydrobiol.*, 144:245-253
45. Lokman, P.M. y G. Young. (1995). In vitro biosynthesis of oestradiol- 17β and 17α - 20β -dihydroxy-4-pregnen-3-one by vitellogenic ovarian follicles from migrating New Zealand longfinned eels (*Anguilla dieffenbachii*). *Aquaculture*, 135:17-26
46. M.A.P.A. (1999). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. El futuro de la anguicultura en España. Ed. MAPA, Madrid. 67 pp
47. Marino, G., E. Ingle y S. Cataudella. (1999). Status of aquaculture in Italy (1998). En: "Aquaculture planning in Mediterranean countries", IAMZ- CIHEAM. Cahiers Options Mediterranées, 43:117-126
48. Matsui, I. (1984). Theory and Practice of Eel Culture. Ed. Balkema, Rotterdam
49. Miura, T., K. Yamauchi, Y. Nagahama y H. Takahashi. (1991). Induction of spermatogenesis in male Japanese eel, *Anguilla japonica*, by a single injection of human chorionic gonadotropin. *Zoological Science*, 8:63-73
50. Mochioka, N y M. Iwamizu. (1996). Diet of anguilloid larvae: leptocephali feed selectively on larvacean houses and fecal pellets. *Marine Biology*, 125:447-452
51. Moriarty, C. (1990). European catches of elver of 1928-1988. *International Revue Gesamten Hydrobiologie*, 75:701-706
52. Moriarty, C. (1996). The decline in catches of European elver of 1980-1992. *Arch. Pol. Fish.*, 4:245-248
53. Nagahama, Y. (1997). $17\alpha,20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one, a maturation-inducing hormone in fish oocytes: mechanisms of synthesis and action. *Steroids*, 62:190-196
54. Nielsen, T. (1998). Elevages en Chine: les revers du succès. *Eaux libres*, 24:20-22
55. Nielsen, T. (2000). URL: <http://www.ifrance.com/euroeel/html>

56. Ohta, H. y H. Tanaka. (1997). Relationship between serum levels of human chorionic gonadotropin (hCG) and 11-ketotestosterone after a single injection of hCG and induced maturity in the male Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture*, 153:123-134
57. Ohta, H., H. Kagawa, H. Tanaka, K. Okuzawa y K. Hirose. (1996a). Changes in fertilization and hatching rates with time after ovulation induced by 17,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture*, 139:291-301
58. Ohta, H., H. Kagawa, H. Tanaka, K. Okuzawa y K. Hirose. (1996b). Milt production in the Japanese eel *Anguilla japonica* induced by repeated injections of human chorionic gonadotropin. *Fisheries Science*, 62:44-9
59. Ohta, H., H. Kagawa, H. Tanaka, K. Okuzawa, N. Iinuma y K. Hirose. (1997a). Artificial induction of maturation and fertilization in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Fish Physiol. Biochem.*, 17:163-9
60. Ohta, H., H. Tanaka, H. Kagawa, K. Okuzawa y N. Iinuma. (1997b). Artificial fertilization using testicular spermatozoa in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Fisheries Science*, 63(3):393-6
61. Pankhurst, N.W. (1982). Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 21:127-140
62. Pérez, L., F. Ruiz, S. Zegrari, R. Barrera y M. Jover. (1997). Efecto de la administración de 17- β -estradiol sobre la diferenciación sexual de la anguila europea (*Anguilla anguilla*). VI Congreso Nacional de Acuicultura, Cartagena. Actas, 641-646
63. Pérez, L., J.F. Asturiano, A. Tomás, S. Zegrari, F.J. Espinós, R. Barrera y M. Jover. (1999). Inducción de la espermiación en la anguila europea (*Anguilla anguilla*) con HCG. Estudio de la Evolución de la morfología externa y de los parámetros de calidad del esperma. VII Congreso Nacional de Acuicultura. 160
64. Pérez, L., J.F. Asturiano, A. Tomás, S. Zegrari, R. Barrera, F.J. Espinós, J.C. Navarro y M. Jover. (2000). Induction of spermiation in the male European eel: assesment of sperm quality throughout treatment. *Journal of Fish Biology*, 57:1488-1504
65. Pérez, L., J.F. Asturiano, S. Martínez, A. Tomás, L. Olivares, E. Mocé, R. Lavara, J.S. Vicente y M. Jover. (2003). Ionic composition and physic-chemical parameters of the European eel (*Anguilla anguilla*) seminal plasma. *Fish Physiology and Biochemistry*, 28: 221-222
66. Piferrer, F. (2001). Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture*, 197:229-281
67. Ravagnan, G. (1978). *Vallicoltura moderna*. Ed. Edagricole, Bologna. 282 pp
68. Satoh, H., K. Yamamori y T. Hibiya. (1992). Induced Spawning of the Japanese Eel. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 58(5):825-832
69. Sorensen, P.W. y H.E. Winn. (1984). The induction of maturation and ovulation in American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur), and the relevance of chemical and visual cues to male spawning behaviour. *Journal of Fish Biology*, 25:261-268
70. Tanaka, H., H. Kagawa y H. Ohta. (2001). Production of leptocephali of Japanese eel (*Anguilla japonica*) in captivity. *Aquaculture*, 201:51-60
71. Tsukamoto, K. (1992). Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, 353:789-791
72. Usui, A. (1991). *Eel culture*. Ed. Fishing News Books, Oxford. 148 pp
73. Villani, P. (1985). Artificial maturation of female silver eels, *Anguilla anguilla* L., induced by gonadotropin and pituitary hormones. *Nova Thalassia*, 7:63-70
74. Villani, P. y F. Lumare. (1975). Nota sull'accrescimento ovarico indotto in *Anguilla anguilla* L. *Invest. Pesq.*, 39:187-197
75. Yamamoto, T. (1969). Sex differentiation. En: *Fish Physiology*. W.S. Hoar, D.J. Randall y J.R. Brett. Vol III. Academic Press, New York
76. Yamamoto, K. y K. Yamauchi. (1974). Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. *Nature*, 251(5472):220-222
77. Yamauchi, K. (1990). Studies of gonadal steroids involved in final gonadal maturation in the Japanese eel, *Anguilla anguilla*, a review. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 75:859-860