

# El cambio climático y la acuicultura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación

Sena S. De Silva

Red de centros de acuicultura de Asia y el Pacífico

PO Box 1040, Kasetsart Post Office

Bangkok 10903, Tailandia

Correo electrónico: sena.desilva@enaca.org

Doris Soto

Departamento de Pesca y Acuicultura

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Roma 00153, Italia

Correo electrónico: doris.soto@fao.org

De Silva, S.S. y Soto, D. 2009. El cambio y la acuicultura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación. En K. Cochrane, C. De Young, D. Soto y T. Bahri (eds). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, N° 530. Roma, FAO. pp. 169-236.

## ABSTRACT

Este estudio trata las repercusiones potenciales del cambio climático en el subsector de la acuicultura, y en menor medida los efectos de la acuicultura en el cambio climático. Para lograr estos objetivos analíticos, y con vistas a abordar las potenciales medidas de adaptación y mitigación, se examina el estado del subsector en relación con el suministro total de productos pesqueros para alimentación, los cambios recientes que han tenido lugar en dicho suministro y otros aspectos relacionados.

En la actualidad, la contribución de la acuicultura al abastecimiento de productos pesqueros para alimentación se acerca al 45 por ciento, proporción que también queda reflejada en el aporte creciente de la acuicultura a las cifras totales relacionadas con la pesca en el producto interno bruto (PIB) de algunos de los principales países productores. Considerando el crecimiento de la población humana y el estancamiento del crecimiento de la pesca de captura, se espera que para satisfacer la demanda futura el suministro de alimentos provenientes de la acuicultura debe aumentar.

La acuicultura no se practica de forma homogénea a través del globo, y para evaluar sus repercusiones potenciales en el cambio climático este estudio examina las actividades acuícolas en relación con tres regímenes climáticos –tropical, subtropical y templado–; en relación con tres tipos de medio ambiente –aguas marinas, dulces y salobres–; y en relación con divisiones geográficas por continentes. Se observa que la acuicultura es una actividad predominante en las regiones climáticas tropicales y subtropicales y que, geográficamente, lo es en la región de Asia. Además, la mayor cantidad de productos cultivados corresponde a los peces, moluscos, crustáceos y algas marinas, pero con predominio de las especies que se alimentan en los eslabones bajos de la cadena trófica. Dada la concentración geográfica y climática de las actividades

acuícolas, y con el propósito de hacer frente y mitigar los impactos del cambio climático en estas regiones, ha sido necesario adoptar, por el momento, un enfoque centrado en el desarrollo de estrategias de adaptación, en especial si se busca reducir la distancia que separa el suministro de la demanda de pescado mediante la acuicultura. Sin embargo, no es posible desconocer el potencial de crecimiento de la acuicultura en otras regiones.

El estudio pone de relieve los principales elementos del cambio climático que podrían repercutir potencialmente en la producción de acuicultura –la subida del nivel del mar y el aumento de la temperatura, los cambios en los patrones de pluviosidad monzónica, los fenómenos climáticos extremos y el estrés hídrico– y evalúa las razones de estas repercusiones. Las repercusiones directas de la acuicultura se consideran de acuerdo con la zona en que se manifiesten, debido a que probablemente los diferentes elementos del cambio climático se experimentarán en grados diversos en las distintas zonas climáticas.

Por ejemplo, se predice que el recalentamiento mundial y el consiguiente aumento de las temperaturas del agua podrían tener consecuencias significativas y perjudiciales en la acuicultura en zonas templadas porque a raíz de tales aumentos se excedería el registro de temperaturas óptimas que soportan los organismos que se cultivan en la actualidad. Sin embargo, estas repercusiones negativas podrían verse compensadas por los efectos positivos del cambio climático, por ejemplo el aumento del crecimiento y de la producción en las zonas tropicales y subtropicales. Tales efectos positivos no ocurrirán probablemente en ausencia de algunas repercusiones negativas resultantes de otros elementos relacionados con el cambio climático (p. ej., el aumento de la eutrofización en las aguas continentales). En ambos casos se consideran posibles medidas de adaptación para reducir o para maximizar las repercusiones de que se trate. También se intenta examinar los impactos del cambio climático en diferentes sistemas de cultivo, por ejemplo en los sistemas continentales y marinos y en diferentes formas de cultivo tales como los cultivos en jaulas. Por otra parte, es probable que las enfermedades que se declaran en el sector de la acuicultura aumenten tanto en su incidencia como en su severidad.

Casi el 65 por ciento de la producción de acuicultura proviene de aguas continentales y se concentra principalmente en las regiones tropicales y subtropicales de Asia. En el sector acuícola, las repercusiones del cambio climático resultantes del recalentamiento mundial serán probablemente leves en las actividades que se desarrollan en dichos sistemas y, si fuesen positivas, derivarán del aumento de las tasas de crecimiento de las poblaciones en cultivo. Asimismo, el cambio climático repercutirá en la disponibilidad hídrica y en los patrones climáticos, por ejemplo los acontecimientos de pluviosidad extrema, y exacerbará los procesos de eutrofización y estratificación en las aguas estáticas (lénticas).

La influencia de la disponibilidad hídrica en la acuicultura es difícil de proyectar. Algunas medidas de adaptación relacionadas con la localización de las granjas se discuten aquí. Sin embargo, fundándose en las prácticas actuales, en particular en lo que respecta a la acuicultura continental de peces –basada predominantemente en especies que se alimentan en los eslabones bajos de la cadena trófica–, el aumento de la disponibilidad de fitoplancton y zooplancton a consecuencia de la eutrofización podría traducirse en un incremento de la producción. En cambio, para hacer frente a los fenómenos climáticos extremos en el caso de los cultivos marinos en jaula, las medidas de adaptación consistirán en introducir tecnologías mejoradas.

Es probable que a consecuencia del aumento del nivel de los mares las aguas saladas invadan las zonas de delta tropicales donde se desarrolla una considerable actividad acuícola. Como medida de adaptación para hacer frente a las repercusiones asociadas, se hará necesario trasladar tierras adentro algunas instalaciones donde se cultivan especies escasamente tolerantes a la salinidad. Igualmente, la acuicultura es percibida como una actividad de adaptación destinada a proporcionar medios de vida alternativos cuando, debido a la invasión de agua salada o a las frecuentes inundaciones costeras, ya no fuese posible o rentable realizar actividades agrícolas terrestres.

Se estima que una de las repercusiones indirectas más importantes del cambio climático en la acuicultura derivaría de la escasa disponibilidad de materia prima, harina y aceite de pescado para la fabricación de piensos piscícolas. También otros tipos de materias primas podrán verse

afectados, y las repercusiones negativas se harán sentir probablemente con mayor agudeza en las regiones templadas donde el cultivo de peces se basa totalmente en especies carnívoras. Algunas medidas de adaptación se sugieren para contrarrestar estos impactos.

Se exponen los costos ecológicos del cultivo de diferentes especies y sistemas de acuicultura, y se los contrasta con otras fuentes de producción de proteínas animales, examinándose, en cada caso, el aporte indirecto a las emisiones de carbono. Como medida de mitigación para limitar la contribución a las emisiones que derivan de las actividades acuícolas se propone que el consumidor sea informado del índice de emisiones de carbono asociadas con los diferentes productos, así como se hace para indicar la trazabilidad. Se demuestra en este contexto que, en términos de energía, la acuicultura es, en conjunto, una actividad menos costosa y que podría contribuir más al secuestro de carbono que otros sistemas de cultivos agrícolas terrestres.

El documento concluye con una revisión más general de medidas de adaptación de orientación política que pueden ser implementadas a nivel regional, nacional o a un sitio específico.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen muy especialmente al equipo de la Red de Centros de Acuicultura de Asia y el Pacífico, y en particular a M. Phillips, C.V. Mohan, T. Nguyen y S. Wilkinson por comentarios al borrador de este texto, y a P. Ying por la ayuda en la elaboración de las ilustraciones. Se agradecen igualmente los valiosos comentarios aportados por U. Wijkström, C. Brugère y F. Jara, y la edición realizada por C. Attwood.

## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	<b>173</b>
<b>2. Producción y demanda de pescado comestible</b>	<b>175</b>
2.1 Demanda de pescado comestible	175
2.2 Producción de pescado de consumo: hipótesis cambiantes	177
2.3 Seguridad alimentaria y pescado	178
<b>3. Producción de acuicultura</b>	<b>181</b>
3.1 Distribución climática de la producción	181
3.2 Distribución ambiental y climática de la acuicultura	182
3.3 Distribución climática, nacional y regional de la acuicultura	183
3.4 Valor de los productos de acuicultura	183
3.5 Tendencias del crecimiento en la acuicultura	184
3.6 Acuicultura y PIB	185
<b>4. Síntesis de estudios anteriores sobre los efectos del cambio climático en la acuicultura y las pesquerías</b>	<b>185</b>
<b>5. Repercusiones del cambio climático en la acuicultura</b>	<b>187</b>
5.1 Cambios climáticos importantes que podrían repercutir potencialmente en la acuicultura	187
5.2 Aspectos de la vulnerabilidad de la acuicultura al cambio climático	188
5.3 Repercusiones directas	189
5.3.1 Repercusiones directas conocidas hasta la fecha	189
5.3.2 Repercusiones potenciales	189
5.4 Repercusiones indirectas del cambio climático en la acuicultura	201
5.4.1 Suministros de harina y aceite de pescado	201
5.4.2 Otros ingredientes de los piensos usados en la acuicultura	204
5.4.3 Suministros de morralla, de pez de poco valor y de pez forraje	204
5.4.4 Repercusiones en las enfermedades	206
5.4.5 Repercusiones en la biodiversidad	208
5.5 Repercusiones sociales del cambio climático en la acuicultura	210
<b>6. Repercusiones potenciales de la acuicultura en el cambio climático</b>	<b>213</b>
6.1 Descripción comparativa de las emisiones de carbono y la contribución a los gases de efecto invernadero derivadas de la zootecnia y la acuicultura	213
6.1.1 Captura de carbono	214
6.2 Estimación de la contribución potencial de la acuicultura al cambio climático	216
<b>7. Otras medidas de adaptación</b>	<b>218</b>
7.1 Medidas institucionales, normativas y de planificación	218
7.1.1 Seguros en la acuicultura	219
7.1.2 Investigación y transferencia de tecnología	220
7.1.3 Zonificación y seguimiento en la acuicultura	221
<b>8. Conclusiones</b>	<b>222</b>
<b>9. Bibliografía</b>	<b>229</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Se predice que la población mundial alcanzará los 9 000 millones de personas para el año 2050, y que esta expansión acarreará un aumento de las necesidades mundiales de alimentos durante la primera mitad del presente siglo (McMichael, 2001). La capacidad de mantener los suministros alimentarios para una población creciente y expectante dependerá de la posibilidad de maximizar la eficiencia y sostenibilidad de los métodos de producción. Según los pronósticos, los cambios climáticos mundiales afectarán negativamente dichos suministros.

De acuerdo con un análisis reciente de la producción alimentaria mundial realizado en el ámbito del informe especial sobre situaciones hipotéticas relativas a las emisiones, llevado a cabo por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sobre el sistema de comercio de alimentos, el mundo estará en condiciones de atender adecuadamente sus necesidades alimentarias hasta muy avanzado el próximo siglo –una conclusión alentadora. Sin embargo, el modelo que demostraba esos resultados se basaba en la producción de los países desarrollados, que se espera serán los más beneficiados con el cambio climático. Esto compensaba las disminuciones proyectadas en los cultivos alimentarios terrestres en los países en desarrollo, e implica que las diferencias regionales en la producción de los cultivos probablemente se acentuarán con el tiempo (Parry *et al.*, 2004). La acuicultura –una industria característica del mundo en desarrollo– propondrá quizá una situación hipotética diferente en lo que respecta a su contribución a las necesidades alimentarias humanas futuras.

El ser humano y los peces han estado inseparablemente vinculados durante milenios, no solo porque el pescado es una importante fuente de proteína animal y de medios de subsistencia y seguridad alimentaria para millones de personas, sino también desde un punto de vista evolutivo. Efectivamente, según algunos investigadores, el desarrollo del cerebro humano, y por lo tanto el estado actual del hombre, está relacionado con fuentes de alimentos ricos en ácidos grasos n-3 (DHA, EPA) y n-6 (AA) (PUFA<sup>1</sup> por su sigla en inglés) ya que el pescado constituía la mayor parte de la dieta de nuestros antepasados. Existen a este respecto pruebas cuantiosas que muestran que el *Homo sapiens* no se desarrolló en un hábitat de sabana sino en uno rico en recursos de pescados y mariscos (Crawford *et al.*, 1999).

Numerosos estudios médicos han confirmado los aspectos positivos del pescado en una dieta sana, en el crecimiento físico y en el bienestar general. Está abundantemente documentado que las carencias de algunos ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) se asocian con importantes riesgos de salud (Stansby, 1990; Ulbricht y Southgate, 1991; de Deckere *et al.*, 1998), y que es posible aliviar algunas enfermedades y cuadros clínicos mediante suplementos de PUFA (Hunter y Roberts, 2000). La toma de conciencia acerca de la importancia de los ácidos grasos en la alimentación humana ha determinado que el consumo de pescado aumente en la mayor parte de las sociedades y en particular en el mundo desarrollado. Además, el pescado proporciona a muchas comunidades rurales en el mundo en desarrollo una fuente a veces única de proteínas animales con frecuencia frescas, a un precio asequible.

De todas las fuentes de proteínas alimentarias animales destinadas al consumo humano, solo el pescado se captura predominantemente en el medio silvestre, contrariamente a otros productos que provienen del cultivo. En general, ha habido cambios significativos en los patrones mundiales de producción y consumo de pescado (Delgado *et al.*, 2003) a lo largo de un período de 25 años en beneficio de los países en desarrollo y de China. Este escenario de variaciones ha estado acompañado de un enfoque en el que los suministros de la pesca de captura han sido sustituidos gradualmente por suministros provenientes de la piscicultura y/o del cultivo, los cuales

<sup>1</sup> Poly unsaturated fatty acids

representan en la actualidad cerca del 50 por ciento del consumo mundial de pescado (Figura 1, FAO, 2008b).

Durante la última década, principalmente a nivel de público, el cambio climático y sus consecuencias han conducido a que se formularan conclusiones bastante indiscriminadas y poco rigurosas. Objeto de definiciones e interpretaciones diversas fundadas en datos y análisis científicos detallados y robustos, el cambio climático es aceptado como real, si bien hay aún quienes la refutan (p. ej. Lomborg, 2001). Por lo tanto, existe acuerdo en que la humanidad sufrirá de muchas formas las repercusiones del cambio climático y que la producción de alimentos y los ambientes asociados con la producción se verán particularmente afectados (IPCC, 2007). En el presente trabajo de síntesis se adopta la definición de cambio climático<sup>2</sup> elaborada por el IPCC (IPCC, 2007). Igualmente, la forma en que la comunidad mundial adopte colectivamente medidas para mitigar los factores que causan el cambio climático y consiga adaptarse para hacer frente a las alteraciones determinará la intensidad de las repercusiones del cambio climático en los distintos sectores durante las próximas décadas y quizá también a lo largo de los próximos siglos. Sin embargo, aquí se tratarán esencialmente las medidas de adaptación destinadas a encarar el cambio climático.

Es importante destacar igualmente que las consideraciones sobre el cambio climático y la producción de peces, aparte de unos pocos estudios específicos (véase la Sección 4), solo han recibido hasta ahora escasa atención en comparación con todos los demás sectores de la producción primaria. La pesquería en cuanto tal se menciona una sola vez en el *Informe de síntesis* del IPCC (2007), lo que indica que, por lo que se refiere a la circulación de retorno meridional del Atlántico, es probable que ocurran cambios en la productividad ecosistémica y en las pesquerías.

Las modificaciones más notables y significativas asociadas con el cambio climático son el aumento gradual de las temperaturas mundiales medias (p. ej. Zwiers y Weaver, 2000) y de las concentraciones de gases de efecto invernadero (Brook, Sowers y Orchard, 1996). Ambos efectos han sido acertadamente sintetizados y documentados (IPCC, 2007). La Tierra ha experimentado en la actualidad más inundaciones (en 1960 aproximadamente 7 x 10<sup>6</sup> personas resultaron afectadas, pero hoy la cifra es de 150 x 10<sup>6</sup> al año), huracanes y monzones irregulares que durante las décadas anteriores. Los debates y controversias versan sin embargo sobre el grado de los cambios de los principales componentes, tales como la temperatura mundial, la subida del nivel del mar y el alcance de los efectos de las precipitaciones que estamos experimentando.

El recalentamiento mundial y la subida del nivel del mar son fenómenos que ocurrirán, pero ¿hasta qué punto se verificarán estos cambios durante las próximas décadas? Las opiniones concuerdan en que el planeta se calentará hasta en 1,1 °C durante este siglo, pero si las concentraciones de gases de efecto invernadero siguen aumentando al ritmo actual, la subida de las temperaturas será de 3 °C. La temperatura promedio de la Tierra se sitúa alrededor de los 15 °C, pero si el hombre permite que ascienda un solo grado o que llegue a aumentar incluso en 3 °C, esta variación determinará la suerte de miles de especies y quizá de miles de millones de personas (Flannery, 2005; Kerr, 2006).

Como ocurre en otros sectores de la producción primaria, se espera que la producción de peces sea afectada por el cambio climático. Según los pronósticos las repercusiones tendrán distintas formas y ocurrirán en diversos lugares con variada intensidad. A diferencia de otros sectores de la producción de alimentos de origen animal, la producción de peces comprende dos subsectores: la pesca de captura, que depende excesivamente de las poblaciones silvestres cuyo reclutamiento y presencia se deben a procesos naturales y que en su mayor parte (aproximadamente en un 85-90 por

<sup>2</sup> «El término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (p. ej. mediante análisis estadísticos) por cambios en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente decenios o períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana.»

ciento) residen en los océanos; y la producción de peces cultivados o producido mediante procesos piscícolas, cuya importancia relativa va creciendo, y que se conoce popularmente como «acuicultura».

Este estudio de síntesis se enfoca en los impactos potenciales del cambio climático en la acuicultura. Con este objeto, se analiza, además de otros aspectos, la situación del subsector acuícola con relación al suministro total de peces y los cambios recientes que afectan el suministro revisando los problemas y posibles medidas de adaptación y de mitigación. Como los datos disponibles eran sumamente limitados, los autores no han tratado de construir modelos de los cambios sugeridos ni de las repercusiones mencionadas en este análisis.

## 2. PRODUCCIÓN Y DEMANDA DE PESCADO

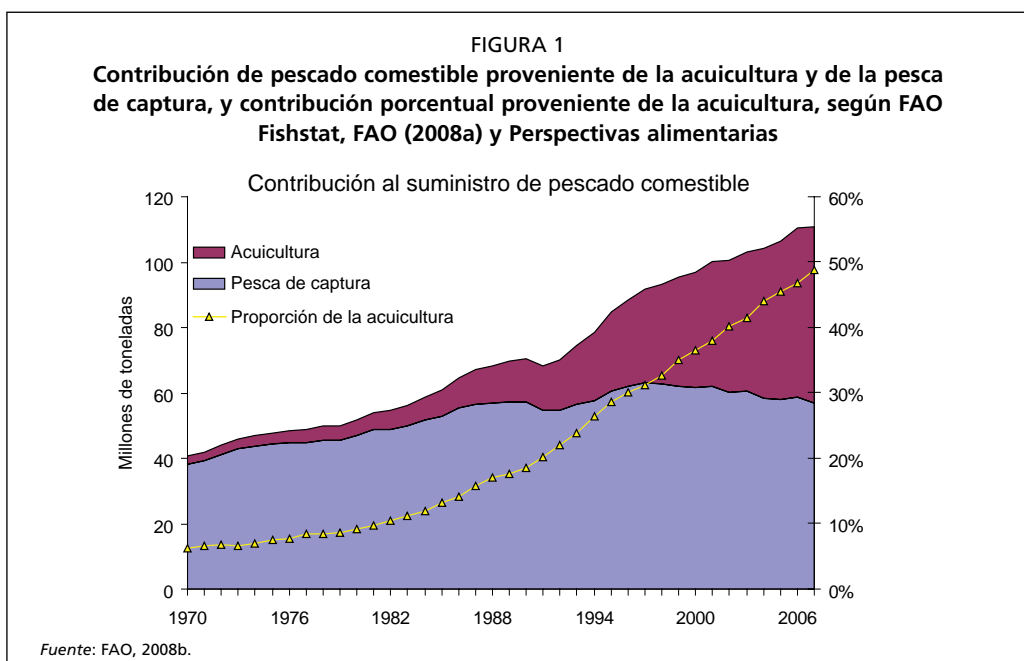
Un trabajo de síntesis sobre el cambio climático y sus repercusiones en la producción de pescado debe tomar en consideración las necesidades potenciales de los peces para el consumo humano y las cantidades disponibles para los procesos de transformación, por ejemplo producción de harina y aceite, en especial en relación con los volúmenes producidos de estos productos. Estos productos se destinan a la fabricación de alimento para animales domesticados y constituyen la base de una proporción significativa de los piensos para organismos acuáticos cultivados, en particular camarones y peces carnívoros, y en menor medida para el cultivo intensivo de especies omnívoras como tilapias y carpas.

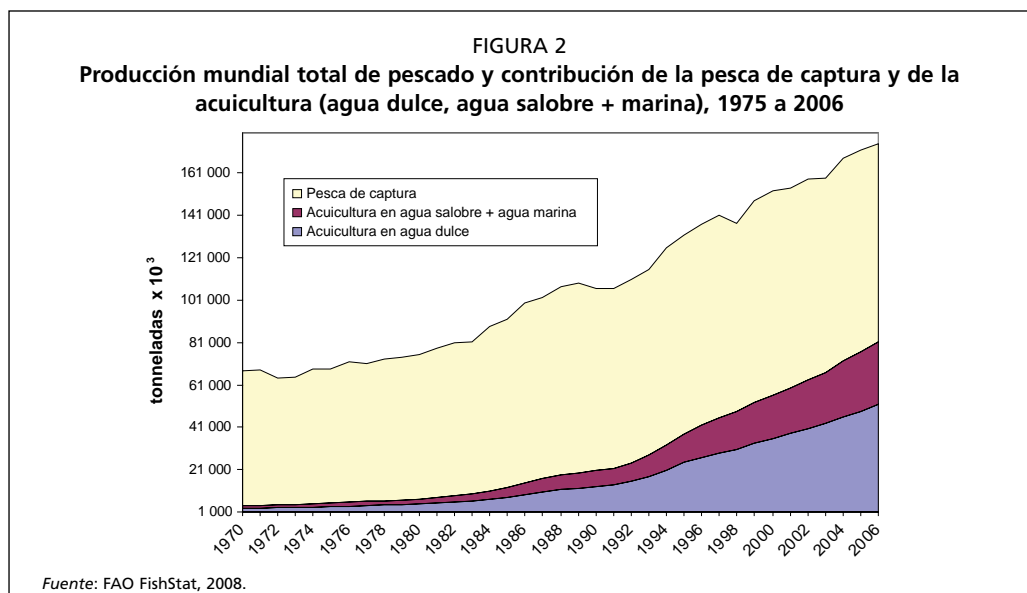
### 2.1 Demanda de pescado comestible

La producción de peces cultivados constituye en la actualidad cerca del 50 por ciento del pescado que se consume en todo el mundo (FAO, 2009), y el objetivo es que para 2020 llegue al 60 por ciento (FAO, 2008; Figura 1).

El aporte de peces cultivados al suministro mundial de pescado se ha incrementado significativamente en los últimos diez años, alcanzando el 47 por ciento en 2006 (Figura 2). Dentro de estas cantidades, la producción en agua dulce ha alcanzado el 30 por ciento.

Considerando que el componente «pesca de captura» del suministro pesquero ha alcanzado casi un nivel de saturación de aproximadamente 100 millones de toneladas anuales, y que cerca del 25 por ciento es enviado a las industrias de transformación, y





por consiguiente no está disponible para el consumo humano (Jackson, 2006; Hassan *et al.*, 2007), es poco probable que –quizá con la excepción de posibles progresos registrados en el sector de las pesquerías continentales en los trópicos que parecen cobrar impulso– la cesta alimentaria humana registre nuevos incrementos de productos provenientes de la pesca de captura. Esto quiere decir que se deberá recurrir sobre todo a la acuicultura para hacer frente al crecimiento de las necesidades de peces para consumo humano como consecuencia de la expansión demográfica y del aumento del consumo de pescado per cápita en el seno de algunos sectores (debido a los beneficios para la salud derivados de una alimentación a base de pescado).

Se han formulado numerosas predicciones sobre la disponibilidad futura de pescado y éstos son claramente resumidos en las Tablas 1 y 2 (Siriwardene, 2007, comunicación personal). En todos los casos, es evidente que la demanda de pescado ha aumentado significativamente en el tiempo, que esta demanda ha variado según los continentes y ha estado relacionada con los pronósticos de crecimiento de la población.

La demanda en el sector de la acuicultura destinada a suplir las crecientes necesidades de pez comestible ha sido estimada en cerca de 60 millones de toneladas, es decir un incremento de casi el 43 por ciento de la producción correspondiente a 2003. En la Tabla 3 se presenta el desglose proyectado por continentes. Si se pretende que la demanda de pez comestible deba ser satisfecha para 2020, la producción de acuicultura

**TABLA 1**  
**Proyecciones de la demanda de pescado comestible en relación con los pronósticos de crecimiento de la población**

Continente	Población ( x 10 <sup>3</sup> )		Suministro de pescado (2001)		Demanda en 2020 (toneladas) <sup>d</sup>
	2005 <sup>a</sup>	2020 <sup>a</sup>	Total (toneladas) <sup>b</sup>	Per cápita (kg) <sup>c</sup>	
África	905 936	1 228 276	7 066 301	7,8	9 580 553
Asia	2 589 571	3 129 852	36 512 951	14,1	44 130 913
China	1 315 844	1 423 939	33 685 606	25,6	36 452 606
Europa	728 389	714 959	14 422 102	19,8	14 156 838
América Latina y el Caribe	561 346	666 955	4 939 845	18,8	5 869 204
América del Norte	330 608	375 000	5 719 518	17,3	6 487 500
Oceanía	33 056	38 909	760 288	23,0	894 907
Todo el mundo	6 464 750	7 577 889	105 375 425	16,3	123 519 591

a- Naciones Unidas; b- población en 2005 x suministro per cápita en 2001; c- FAO; d- población en 2020 x suministro per cápita en 2001.

Fuente: Tomado con modificaciones de Siriwardene, P.P.G.S., comunicación personal.



TABLA 2  
Demanda mundial proyectada de pescado comestible

Pronósticos	Necesidades		Necesidades estimadas por ser satisfechas mediante la acuicultura (x 10 <sup>6</sup> toneladas)	
	Consumo per cápita (kg/año)	Demanda total (x 10 <sup>6</sup> toneladas)	Considerando las pesquerías:	
			En crecimiento (0,7 por ciento)	Estancadas
Línea de referencia <sup>a</sup>	17,1	130	53,6 (1,8%)	68,6 (3,5%)
Más baja	14,2	108	41,2 (0,4%)	48,6 (1,4%)
Más alta	19,0	145	69,5 (3,2%)	83,6 (4,6%)
2010 <sup>b</sup>	17,8	121	51,1 (3,4%)	59,7 (5,3%)
2050	30,4	271	177,9 (3,2)	209,5 (3,6%)
1999 <sup>c</sup>	15,6	127	45,5 (0,6%)	65,1 (2,0%)
2030	22,5	183	102,0 (3,5%)	121,6 (4,2%)

a- Delgado *et al.* (2003), hasta 2020; b- Wijkström, 2003.

Fuente: Tomado con modificaciones de Brugère y Ridler, 2004.

TABLA 3  
Demanda de producción proyectada en el sector de la acuicultura, 2020

Continente	Demanda de pescado comestible en 2020 (t)	Producción de acuicultura en 2003 (t) <sup>a</sup>	Demanda en el sector de la acuicultura en 2020 (t) <sup>b</sup>	Cambio necesario (%)
Africa	9 580 553	520 806	3 035 058	482,8
Asia	44 130 913	8 686 136	16 304 098	87,8
China	36 452 838	28 892 005	31 659 237	9,6
Europe	14 156 188	2 203 747	1 937 833	-12,1
Latin America and Caribbean	5 869 204	1 001 588	1 930 947	92,8
North America	6 487 500	874 618	1 642 600	87,8
Oceania	894 907	125 241	259 860	107,5
World	123 519 591	42 304 141	60 448 307	42,9

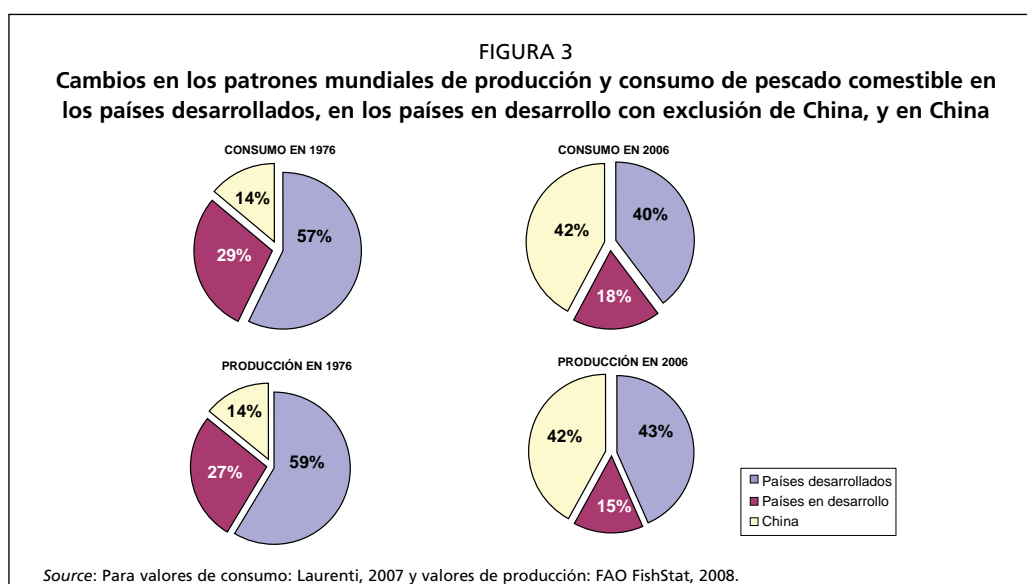
a- FAO Stats; b- 2020 Demanda de pescado menos la producción de pescado actual estimada.

Fuente: Modificado de la comunicación personal de Siriwardene, P.P.G.S,

deberá incrementarse en medida variable en todos los continentes, excepto en Europa. La anterior es una situación hipotética que es preciso tomar en consideración al evaluar las repercusiones del cambio climático en la acuicultura.

## 2.2 Producción de pescado de consumo: hipótesis cambiantes

La Figura 3 ilustra los principales cambios en el suministro y disponibilidad mundial de pez comestible y en los patrones de consumo durante las últimas tres décadas.



El incremento gradual del papel de la acuicultura en el suministro mundial de pez comestible (Figura 1), y en particular en el sector continental (Figura 2), contrasta con el estancamiento registrado en las pesquerías de captura, en las cuales cerca del 85 a 90 por ciento de los suministros provienen de recursos marinos. No obstante, se trata de detalles aproximados que no reflejan con exactitud los pormenores que se requieren para investigar y/o evaluar las principales repercusiones del cambio climático en los suministros de alimentos de consumo humano y/o la acuicultura.

### 2.3 Seguridad alimentaria y pescado

De acuerdo con la definición aceptada, «existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana» (FAO, 2003). Según Sen (1981), la seguridad alimentaria puede conseguirse directa o indirectamente, mediante:

- derechos basados en la producción: el sujeto produce alimentos para la satisfacción de sus propias necesidades;
- derechos basados en el comercio: venta o trueque de bienes u otros activos;
- derechos basados en el trabajo: venta del propio trabajo;
- derechos transferenciales: recepción de obsequios o transferencias de alimentos.

La seguridad alimentaria es un derecho humano universal. Las cuestiones relativas a la seguridad alimentaria han sido materia de arduos debates y han resultado en principios generales, resumidos por Kurien (2005), aceptados por el grueso de la sociedad.

Se ha convenido en que el insumo diario mínimo recomendado de calorías para llevar una vida sana se cifra en 1 800, cantidad que el Servicio de Investigaciones Económicas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos<sup>3</sup> ha elevado a 2 100 calorías. Se ha estimado que hay en el mundo mil millones de personas desnutridas en 70 países de bajos ingresos; cabe destacar que la mayoría de ellas vive en zonas rurales. Durante las últimas dos décadas, el número de personas hambrientas en Asia ha registrado una disminución. La contribución del pescado a la ingesta calórica diaria no es necesariamente significativa, pero en la actualidad se estima que supone el 20 por ciento de la ingesta de proteínas animales, y mucho más en el mundo en desarrollo. El pescado proporciona también, entre otros elementos, micronutrientes esenciales en forma de vitaminas, minerales (p. ej. fuentes óptimas de yodo y selenio) y algunas coenzimas (Q10).

Por lo general, el consumo de pescado por sí mismo no garantiza seguridad alimentaria, principalmente porque su contenido de calorías es bajo. No obstante, la producción pesquera, la pesca de captura y la acuicultura contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria al proveer medios de subsistencia y al asegurar la generación de ingresos. Se estima que 35 millones de personas están empleadas directamente en el sector pesquero, y que de éstas aproximadamente el 80 por ciento trabaja en la pesca y el 20 por ciento en la acuicultura (FAO, 2003b). La mayor parte de los medios de vida que dependen de las pesquerías se concentra en los países en desarrollo y en particular en Asia. Es también importante darse cuenta de que, a través de los sectores de apoyo doméstico y otros sectores auxiliares, el sector pesquero proporciona sustento a varias veces el número de los individuos que encuentran empleo en él directamente (Williams, 2004).

En términos generales, el pescado y el comercio pesquero se consideran importantes fuentes directas e indirectas para la consecución de la seguridad alimentaria, pese a que hasta recientemente la relación del pescado con la seguridad alimentaria se enfocaba en los aspectos directos del consumo (Kurien, 2005). Kurien destaca que en 10 de 11 países en desarrollo, la principal fuente de divisas es el pescado, lo que indica la

<sup>3</sup> [www.ers.usda.gov/Briefing/GlobalFoodSecurity](http://www.ers.usda.gov/Briefing/GlobalFoodSecurity)

#### RECUADRO 1

En la mayor parte de las empresas acuícolas en Asia y América Latina las mujeres son las trabajadoras predominantes en el sector de la elaboración. Esta circunstancia, que permite a la mujer conquistar su autonomía en los hogares rurales, contribuye además a la seguridad alimentaria y a la armonía y bienestar de la familia. Tal factor ha sido escasamente tomado en cuenta en los análisis tradicionales relativos a la acuicultura. Las fotos muestran las mujeres que trabajan en elaboración en plantas acuícolas en Vietnam (camarón) y Myanmar (labeo roho).



importancia de este producto para garantizar la seguridad alimentaria a nivel agregado. Es crecientemente evidente que la acuicultura está superando a la pesca de captura en lo que respecta a la producción, y que el sector acuícola representa cerca del 45 por ciento del total de las actividades pesqueras en Asia y casi el 70 por ciento en la República Popular de China. Esta ganancia en la importancia relativa del sector quedará reflejada indirectamente en el comercio asociado con la acuicultura y por ende en la importancia relativa de la acuicultura por su aporte a la seguridad alimentaria.

Con el término de «trabajadores pesqueros» se designa comúnmente a los operarios que llevan a cabo los servicios poscosecha en cualquier economía pesquera. Esta categoría incluye sobre todo las personas que intervienen en la clasificación, envasado y transporte del pescado; las que realizan los distintos procesos relacionados con la elaboración para prolongar la vida útil del pescado y añadirle valor; y las que suministran el pescado a los exportadores y elaboradores y a los mercados mayoristas y minoristas, o directamente a los consumidores. Parece que las personas que trabajan en las industrias de transformación y de fabricación de piensos no forman tradicionalmente parte de esta categoría.

Sin embargo, se sabe que este sector proporciona asimismo un gran número de puestos de trabajo que contribuyen a la seguridad alimentaria general. En este contexto algunos de los nuevos productos acuícolas que se destinan a la exportación suponen oportunidades de empleo cuantiosas para las comunidades rurales relativamente empobrecidas. Se pueden citar como ejemplos la acuicultura del bagre (*Pangasianodon hypophthalmus*) y el labeo roho (*Labeo rohita*) en Vietnam y Myanmar, respectivamente. En este último país se han instalado 80 plantas de elaboración para atender el creciente mercado de exportación de labeo roho (Aye *et al.*, 2007) cuyo valor asciende en la actualidad a cerca de 70 millones de dólares EE.UU. (cantidad equivalente a 60 000 toneladas de ejemplares de 1 a 2 kg). En promedio, se requieren ocho equipos de trabajadores para elaborar una tonelada de labeo roho, lo que representa empleos en este sector para cerca de 1 300 a 1 400 personas durante todo el año. Vinh Hoan Corporation, una de las mayores empresas elaboradoras de bagre del delta del Mekong, emplea a 2 500 personas, el 80 por ciento de las cuales son mujeres<sup>4</sup> que trabajan en tres

<sup>4</sup> www.dotvn.com

turnos y elaboran 200 toneladas diarias, con un rendimiento aproximado de 80 toneladas de producto elaborado exportable (Vinh Hoan Corporation, sin fecha). En base a los datos anteriores, el sector del bagre en el delta del Mekong, que produjo 1,2 millones de toneladas en 2007, cantidad que fue elaborada y exportada casi en su totalidad, habría proporcionado empleos durante todo el año a 40 000 - 45 000 personas, es decir una cantidad muy significativa de empleos directos procedentes del subsector dentro de una determinada área geográfica. Sin lugar a dudas, este alto grado de empleo tiene un impacto significativo en la seguridad alimentaria de esa región.

En el caso de los productos cultivados de alto valor, como el salmón y el camarón (y cada vez más la tilapia), la mayor parte de la producción se elabora y se exporta. Aunque su costo energético general es significativamente más elevado, los productos de alto valor representan un número considerable de oportunidades de medios de vida y contribuyen por lo tanto a la seguridad alimentaria general. Por ejemplo, en Tailandia, la mayor nación productora de camarón de cultivo (375 320 toneladas, valoradas en 1 196 millones de dólares EE.UU.), solo el 30 por ciento del camarón se consume fresco; el resto de la producción se procesa fresco-enfriado o congelado (37 por ciento) y/o enlatado (29 por ciento) (Fishery Information Technology Centre, 2006). Aquí también el sector de la acuicultura proporciona considerables oportunidades de medios de vida y contribuye a la seguridad alimentaria. Otro ejemplo es el de la salmicultura en Chile. En 2007, el salmón fue el tercer producto de exportación más importante de Chile, con un valor de 2 200 millones de dólares EE.UU. Ese año, la industria salmonera dio empleo a aproximadamente 53 000 personas, lo que supuso un impulso considerable para las economías locales y las zonas rurales donde se cultiva el salmón. La participación de la mujer en la industria salmonera, en particular en las plantas elaboradoras, es también muy alta y representa aproximadamente el 50 por ciento del total del sector.

La pobreza está vinculada con la seguridad alimentaria y la malnutrición; las personas pobres tienen menos posibilidades de lograr la seguridad alimentaria. La malnutrición a menudo conduce a enfermedades. En el Tabla 4 se resume la situación de malnutrición por región.

El nivel de malnutrición es evidente en la región de Asia y el Pacífico, e indica que la pobreza en Asia meridional es considerable. Una constante en la mayor parte de la región de Asia y el Pacífico es la dependencia relativamente elevada del pescado como fuente principal de proteína animal. Si bien la malnutrición alcanza sus niveles más altos en el África subsahariana, en esa región la dependencia del pescado es menor y en ella la acuicultura es apenas incipiente. Si se desarrollase de forma sostenible, el sector de la acuicultura podría proporcionar beneficios significativos a la región y producir un desarrollo económico nutricional y social directo.

**TABLA 4**  
**Población mundial total en millones (2000 a 2002); número de personas desnutridas, y expresado como porcentaje de la población total**

Región/subregión	Población total	Personas desnutridas	
		Total	Porcentaje
Mundo en desarrollo	4 796,7	814,6	17
Asia y el Pacífico	3 256,1	519	16
Asia oriental	1 364,5	151,7	11
Asia sudoriental	522,8	65,5	13
Asia meridional	1 363,3	301,1	22
América Latina y el Caribe	521,2	52,9	10
Cercano Oriente y África del Norte	399,4	39,2	10
África subsahariana	620,0	203,5	33
Países en transición	409,8	28,3	7

Fuente: Extraído de PMA (Programa Mundial de Alimentos, sin fecha).

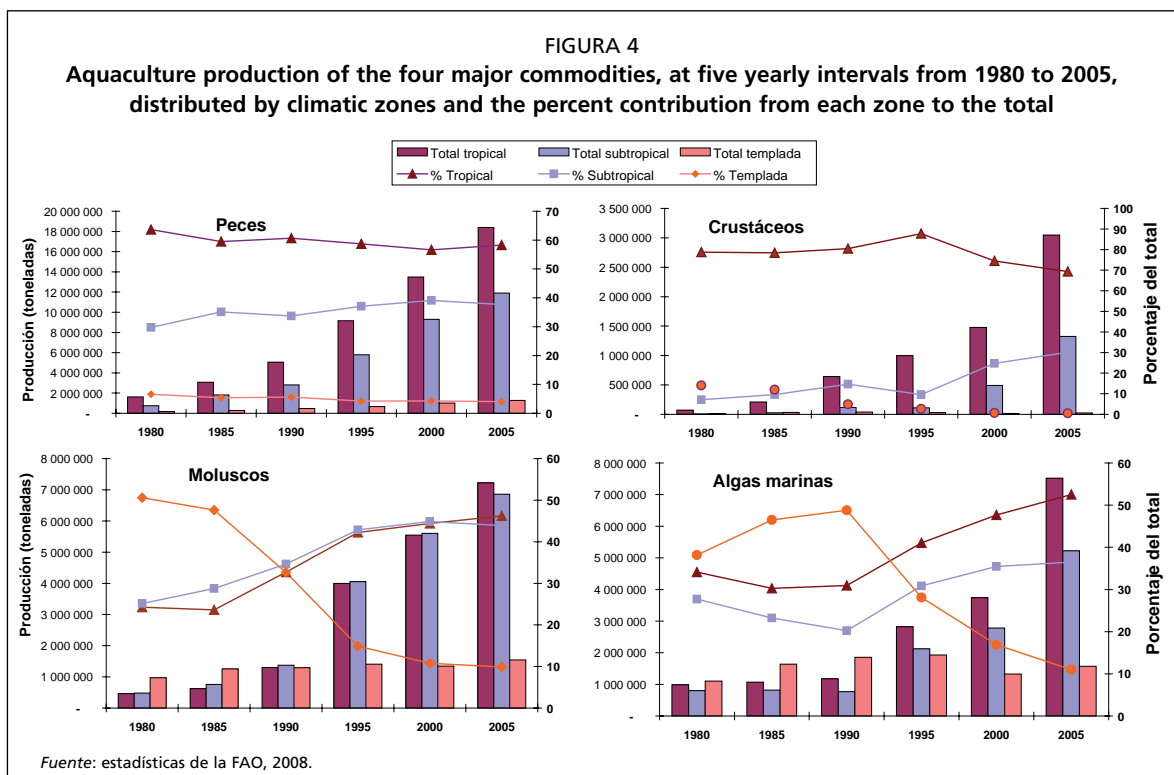
A lo largo de los últimos 15 años, la acuicultura ha registrado un crecimiento relativamente rápido en América Latina y el Caribe, sobre todo en Brasil, Chile, Ecuador, Honduras y México (Morales y Morales, 2006). América del Sur y África son los continentes que tienen el más alto crecimiento potencial del sector acuícola, mientras que en Asia el índice de crecimiento de la acuicultura está disminuyendo (De Silva, 2001). Es probable que en las próximas décadas los progresos que tengan lugar en el sector acuícola en América del Sur y África contribuyan aún más a la seguridad alimentaria y al alivio de la pobreza mundial. En países como Chile, Ecuador y Honduras, los productos cultivados requieren ser elaborados y transportados (además de otros servicios conexos) y por consiguiente contribuirán de manera indirecta a la seguridad alimentaria.

### 3. PRODUCCIÓN DE ACUICULTURA

Con el objeto de evaluar los cambios potenciales que han tenido lugar en el sector de la acuicultura bajo diferentes hipótesis del cambio climático, es importante hacer referencia a las tendencias anteriores de la producción de acuicultura en base a los regímenes climáticos aproximados respecto a las regiones tropical, subtropical y templada.

#### 3.1 Distribución climática de la producción

Hasta ahora, la mayor parte de los análisis de la producción de acuicultura (véase por ejemplo FAO, 2007, entre otros) se han basado en los países, territorios, continentes y regiones. Desde el punto de vista de los impactos del cambio climático, la utilidad de este tipo de análisis será reducida a menos que tales países o territorios se consideren individualmente. Así pues, en el presente estudio de síntesis se consideran las tendencias de la producción de acuicultura a intervalos quinquenales (1980 a 2005) para cada uno de los productos de cultivo (peces, moluscos, crustáceos y algas marinas) de acuerdo con las estadísticas de la FAO (FAO, 2008) para tres regímenes climáticos: tropical (23°N a 23°S), subtropical (24-40°N y 24-40°S) y templado (>40°N y >40°S) (Figura 4). Es cierto que este no es un enfoque perfecto. Por ejemplo, la producción acuícola en China se desarrolla (aproximadamente entre 20 y 42°N y 75 y 130°E) a través de zonas



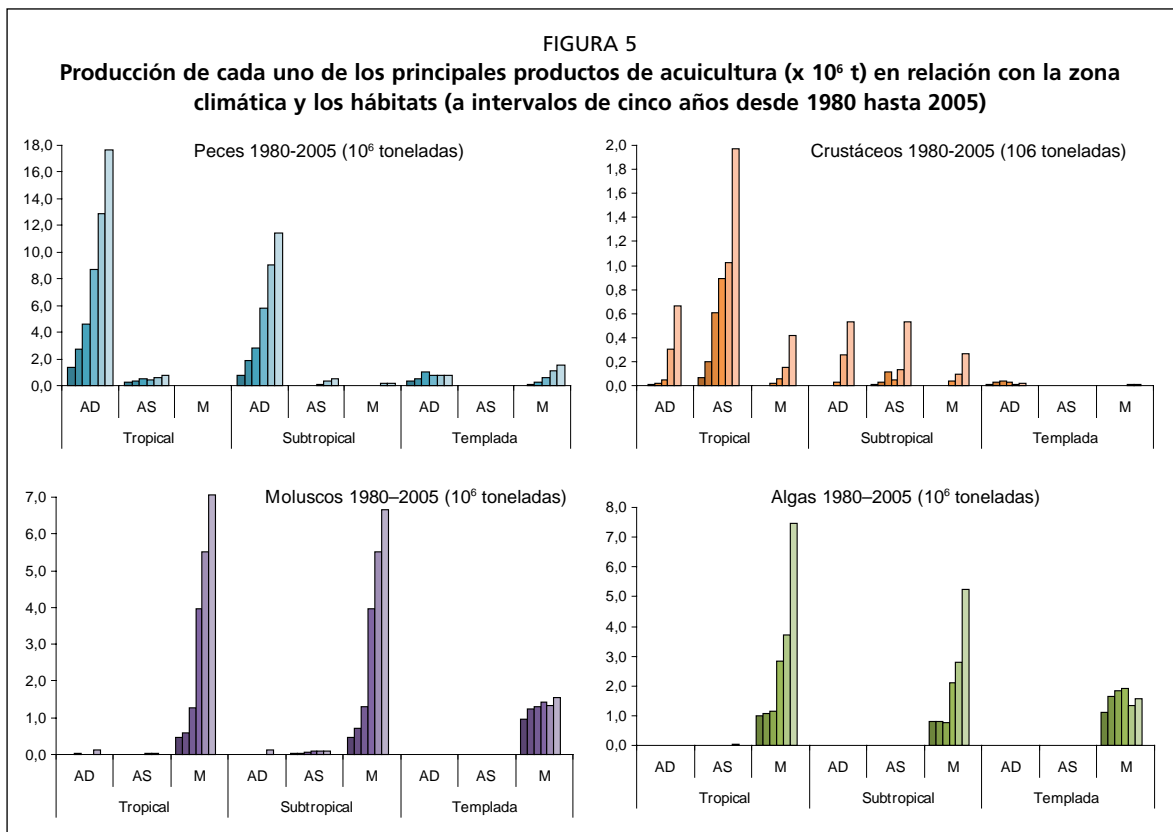
que abarcan muchos grados de latitud. En este análisis se parte del supuesto que el 60 por ciento de la producción acuícola de China se considera subtropical, y el resto tropical.

El análisis muestra que los principales grupos de productos cultivados provienen principalmente de las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Figura 4). Para tres de los cuatro principales grupos de productos, la producción en zonas tropicales representa más del 50 por ciento, correspondiendo a los crustáceos la proporción más alta, con aproximadamente 70 por ciento. Es importante notar la tendencia en la producción de moluscos y algas marinas cultivadas en regiones templadas durante los últimos 25 años. Hasta hace cerca de una década, el cultivo de estos dos grupos era predominante en esta región climática, pero desde entonces ha descendido por debajo del nivel de las otras dos regiones y en la actualidad su contribución representa alrededor del 10 por ciento del total. Esto se debe en gran parte a la alta tasa de crecimiento de la acuicultura en las regiones tropical y subtropical más que a una reducción de la producción absoluta en la región templada.

### 3.2 Distribución ambiental y climática de la acuicultura

La acuicultura se desarrolla en tres ambientes básicos: aguas dulces, aguas marinas y aguas salobres. Cada uno de estos ambientes ocurre en los tres regímenes climáticos considerados. En la Figura 5 se presenta la producción de cada uno de los principales productos de acuicultura (a intervalos de cinco años desde 1980 hasta 2005, expresados en  $10^6$  toneladas) en relación con el régimen climático y los ambientes de aguas continentales, marinas y salobres.

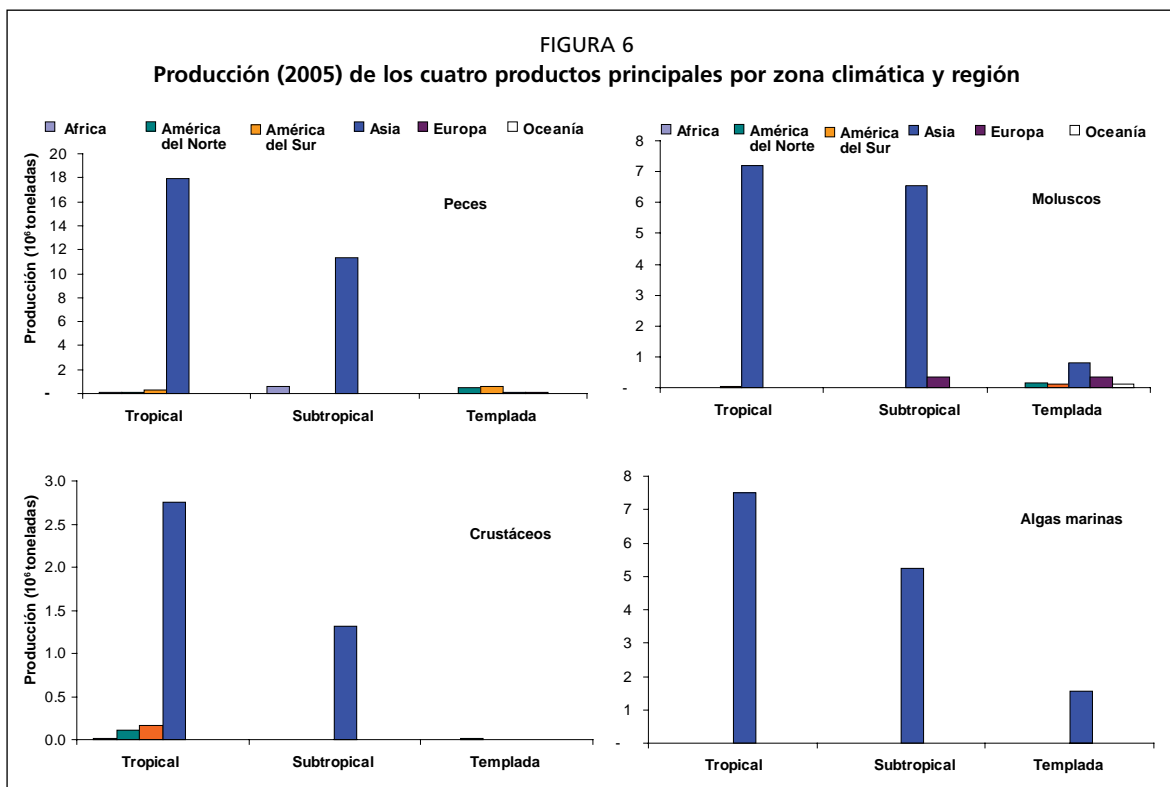
Resulta evidente que, aparte de los moluscos, el cultivo de todos los demás productos tiene lugar principalmente en los trópicos, seguido por el cultivo en los sub-trópicos, y mucho menos por el que se desarrolla en las regiones templadas. En esencia, a lo largo de los últimos 25 años el aporte porcentual de los cuatro principales productos cultivados en las regiones templadas, salvo quizá los peces, ha disminuido



debido a los aumentos substanciales de la producción en las otras regiones (Figura 5). Asimismo, en todas las regiones la producción total de peces supera ampliamente la de otros productos, y esta tendencia es constante a lo largo de los años. El cultivo de peces tiene lugar principalmente en aguas dulces, mientras que el cultivo de crustáceos y moluscos se realiza en aguas salobres y marinas, respectivamente (Figura 5). Aquí, una vez más, las tendencias de producción son más bien constantes a lo largo del período de 25 años. Por consiguiente, es importante observar que las repercusiones del cambio climático, si es que las hay, producirán probablemente efectos netos más significativos en el subsector acuícola de aguas dulces en las regiones tropicales y subtropicales que en cualquier otro lugar porque es en ellos donde se concentra la producción.

### 3.3 Distribución climática, nacional y regional de la acuicultura

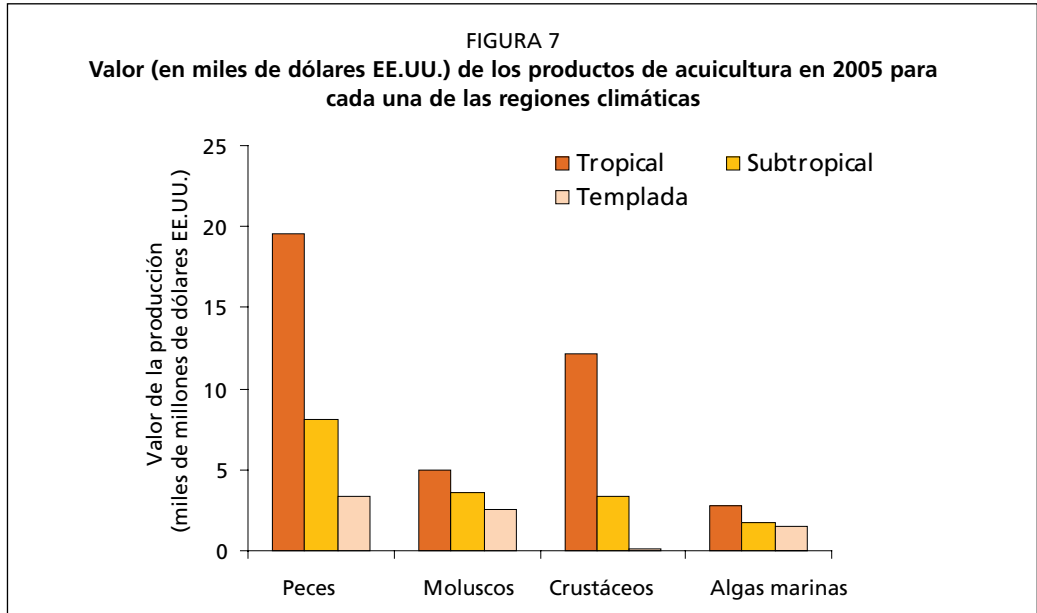
Con el objeto de obtener una imagen de la importancia de la distribución de la producción de acuicultura en relación con las regiones climáticas (tropical, subtropical y templada) por continentes, se analizó la producción de 2005 relativa a los cuatro productos principales con arreglo a estos dos factores (Figura 6). La figura muestra



claramente que la producción de los cuatro principales productos de cultivo en los tres regímenes climáticos considerados tiene lugar sobre todo en Asia. Las diferencias de producción entre Asia y los demás continentes son sumamente grandes, y superan el 90 por ciento en todos los casos. Por consiguiente, las estrategias de adaptación que se necesita llevar a cabo para contrarrestar las repercusiones potenciales del cambio climático en la acuicultura deberían tener como objetivo inicial el continente asiático.

### 3.4 Valor de los productos de acuicultura

El valor de los productos de acuicultura producidos en las diferentes zonas climáticas siguió una tendencia similar a la de la producción general de cada uno de ellos. Las tendencias del valor que se muestran en la Figura 7, revelan que en 2005 los productos provenientes de la región tropical alcanzaron el valor más alto, y que a esta región seguían las regiones subtropicales y finalmente la zona templada. En lo que se refiere



al valor de las algas marinas y los moluscos cultivados, las diferencias entre zonas climáticas eran mucho más pequeñas que para los peces y los crustáceos, y en ellas el valor de los respectivos productos superaba en el 50 por ciento el total (Figura 7). Por otra parte, aunque en la región templada los peces representan sólo cerca del 4 por ciento de la producción mundial, su valor equivale a cerca del 11 por ciento del valor mundial total de la producción de peces; ello indica que en esta región climática se producen predominantemente peces de mayor valor. Por lo tanto, en la zona templada los cambios en la producción por tonelada de pescado pueden tener repercusiones potenciales mayores en los medios de vida.

### 3.5 Tendencias del crecimiento en la acuicultura

Se reconoce a la acuicultura como el sector de producción primaria de más rápido crecimiento en las últimas tres décadas, habiendo registrado una tasa de expansión anual de casi el 10 por ciento. Sin embargo, los datos tendenciales indican que el ritmo de crecimiento está disminuyendo (Figura 8), y se admite generalmente que en la mayoría de las regiones el crecimiento del sector no puede mantener el mismo ritmo (De Silva,

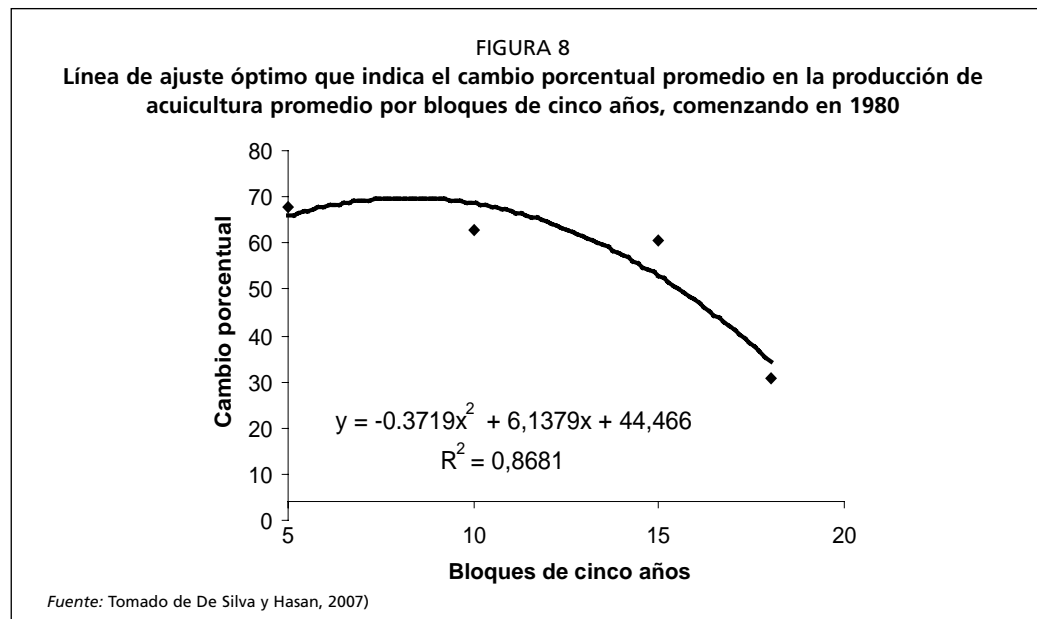




TABLA 5

**Contribución relativa estimada de la pesca de captura y la acuicultura al PIB en países seleccionados de Asia y en Chile (América del Sur) (2004-2006)**

País	Pesca de captura	Acuicultura
Bangladesh#	1,884	2,688
República Popular de China	1,132	2,618
Indonesia#	2,350	1,662
República Democrática Popular Lao	1,432	5,775
Malasia#	1,128	0,366
Filipinas#	2,184	2,633
Tailandia	2,044	2,071
Vietnam*	3,702	4,00
Chile**	2,17	2,63

Fuentes: # Sugiyama, Staples y Funge-Smith, 2004; \* Viet Nam Net Bridge; \*\* www.subpesca.cl

2001; FAO, 2007). Es necesario no perder de vista estas tendencias de crecimiento al tomar en cuenta las posibles repercusiones del cambio climático en la acuicultura y su expansión potencial.

### 3.6 Acuicultura y PIB

Kurien (2005) ha puesto de relieve la creciente importancia del comercio pesquero mundial, mostrando que la contribución de la pesca al Producto Interno Bruto (PIB) de muchos países en desarrollo ha superado la de otros productos básicos tradicionales como el café y el té. En 10 de 11 países en desarrollo, la pesca es la principal fuente de ingresos de exportación cumpliendo una función esencial en la seguridad alimentaria a nivel agregado. En Asia, independientemente de los regímenes climáticos (Figura 6), la contribución de la acuicultura a la producción total de pescado ha aumentado en las dos últimas décadas (Figura 1), una tendencia que se ha observado en muchos de los principales países productores de productos acuícolas de ese continente (De Silva, 2007).

Esta tendencia se refleja en el PIB de algunos de los mayores países productores de productos acuícolas de la región y en otros lugares en los cuales la acuicultura ocupa un lugar cada vez más importante en el sector piscícola (Tabla 5), con repercusiones positivas en la seguridad alimentaria.

## 4. SÍNTESIS DE ESTUDIOS ANTERIORES SOBRE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ACUICULTURA Y LAS PESQUERÍAS

Aparte de algunos estudios específicos, se ha otorgado escasa atención a la acuicultura y las pesquerías en los principales análisis sobre los impactos del cambio climático en la producción pesquera. Esto es especialmente evidente al comparar con la atención que han recibido todos los demás sectores de la producción primaria y también en relación con otros problemas destacados como la influencia de los cambios climáticos en la biodiversidad (IPCC, 2002). Es interesante observar que los problemas del cambio climático relacionados con la pesca fueron ya examinados más de una década atrás (Wood y McDonald, 1997). En este tratado, las influencias del cambio climático en la pesca se abordaron desde el punto de vista de la fisiología, con técnicas para analizar los efectos de la temperatura en los índices de crecimiento (Jobling, 1997), el desarrollo larval (Rombough, 1997) y el rendimiento reproductivo (Van der Kraak y Pankhurst, 1997).

Dos informes de política respecto a las amenazas que pesan sobre las pesquerías y la acuicultura estudiaron la importancia de estas últimas para las comunidades cuyos medios de vida dependen de los sectores pesquero y acuícola; y materia de una breve reseña fue la necesidad de diseñar estrategias de adaptación a los efectos del cambio climático (WFC, 2006). A este estudio siguió un informe en el que se declaraba

que ambos sectores presentan oportunidades de adaptación, por ejemplo mediante la integración de las actividades de acuicultura y la agricultura, y se sugería que la ordenación pesquera debía dejar de buscar rendimientos máximos para dedicarse a las investigaciones sobre métodos de adaptación (WFC, 2007). Además, el informe planteaba la necesidad de llevar a cabo más estudios destinados a encontrar formas novedosas para mejorar la capacidad de adaptación de pescadores y acuicultores.

Sharp (2003) analizó los efectos futuros del cambio climático en las pesquerías regionales examinando los cambios climáticos a lo largo de la historia y evaluando la dinámica climática en relación con la evolución de las especies, la sociedad y la variabilidad de las pesquerías. El autor catalogó las repercusiones del cambio climático en las pesquerías regionales y señaló que las siguientes pesquerías eran las que mayormente respondían a las variables climáticas (en orden descendente de susceptibilidad):

- pesquerías en pequeños ríos y lagos, en regiones en las que los cambios de temperatura y precipitaciones son mayores; pesquerías que se desarrollan en zonas económicas exclusivas (ZEE), donde los mecanismos de acceso reducen artificialmente la movilidad de los grupos de pescadores y las flotas y su capacidad de ajuste a las fluctuaciones en la distribución y abundancia de las especies;
- pesquerías en grandes lagos y ríos;
- pesquerías en estuarios, en especial cuando existen especies que no presentan patrones de dispersión o de migración de desove, o en estuarios que han sufrido las repercusiones del aumento del nivel del mar o una reducción del flujo fluvial;
- pesquerías de alta mar. Además, se indicó que las pesquerías marinas que realizan una producción en gran escala no estarán sujetas a padecer las repercusiones inmediatas del cambio climático, y que las más expuestas son las que han sido afectadas por intervenciones humanas, por ejemplo por la construcción de embalses o por las restricciones de acceso de que son objeto los movimientos migratorios que tienen lugar aguas arriba o aguas abajo, o por otros problemas relacionados con el crecimiento demográfico y la manipulación del hábitat por el hombre (Sharp, 2003).

El estudio de Handisyde *et al.* (2006) es probablemente el más exhaustivo sobre la acuicultura y el cambio climático. En ese trabajo de síntesis, los autores analizan la influencia en la acuicultura mundial de los cambios climáticos anunciados tales como la temperatura, precipitaciones, subida del nivel del mar, fenómenos extremos, variabilidad climática y corrientes oceánicas. También abordan las repercusiones en la productividad acuícola, los medios de vida que dependen de la acuicultura y las influencias indirectas de la disponibilidad de harina y aceite de pescado en la acuicultura. Se incluye un amplio estudio de modelización y una serie de submodelos que abarcaban la exposición a los fenómenos climáticos extremos, la capacidad de adaptación y la vulnerabilidad. Completa el trabajo un estudio de caso sobre Bangladesh, país que posee una de las zonas deltaicas más extensas del mundo que es particularmente susceptible a la subida del nivel del mar y a los daños meteorológicos graves.

También existe un tratado detallado sobre la influencia del cambio climático en la acuicultura canadiense (2WE Associate Consulting, 2000).

En su examen de las repercusiones físicas y ecológicas del cambio climático en la pesca y la acuicultura, Barrange y Perry indican que sobre esta materia las incertidumbres y vacíos de investigación son cuantiosos (véase el Capítulo 1 de esta Sección). Un asunto especialmente preocupante son las interacciones sinérgicas entre los actuales factores de estrés, incluyéndose entre éstos la capacidad de resiliencia de las pesquerías y ecosistemas y la capacidad de adaptación y evolución de los organismos marinos y acuáticos en función de los cambios climáticos.

Roessig *et al.* (2004) pusieron de manifiesto la necesidad de intensificar las investigaciones sobre la fisiología y ecología de los peces marinos y estuarinos, en

particular en los trópicos. En cuanto a las pesquerías de aguas continentales, Ficke, Myrick y Hansen (2007) indicaron que los efectos generales del cambio climático en los sistemas de aguas dulces se manifestarán a través del aumento de la temperatura del agua, la disminución de los niveles de oxígeno y el aumento de toxicidad de los agentes contaminantes. Además, se llegó a la conclusión de que la alteración de los regímenes hidrológicos y el aumento de la temperatura de las aguas subterráneas repercutirían sobre las comunidades ícticas en los sistemas lóticos. En los sistemas lénticos la eutrofización podría exacerbarse y la estratificación hacerse más pronunciada, con consecuencias negativas para las cadenas tróficas y la disponibilidad y calidad de los hábitats. Nunn *et al.* (2007) llevaron a cabo un estudio de caso más específico sobre el éxito del reclutamiento en los ciprínidos en los ríos bajos en relación con los cambios potenciales producidos por el cambio climático en la corriente del Golfo.

Se han realizado varios estudios sobre el cambio climático y las repercusiones climáticas en la pesca que podrían afectar indirectamente a la acuicultura, por ejemplo en lo que respecta a la disminución de la productividad oceánica (Schmittner, 2005).

En esta fase del presente trabajo no se trata de revisar estos estudios de manera exhaustiva puesto que los más pertinentes se mencionan en la Sección 5.4. Sin embargo, se llama la atención sobre algunos ejemplos selectos. Atkinson *et al.* (2004) describieron la disminución de la densidad del krill Antártico (*Euphausia superba*) y el aumento correspondiente de sálpidos (sobre todo *Salpa thompsonii*), uno de los principales organismos que se alimentan de krill. Se supone que esta tendencia se exacerbará probablemente a causa del cambio climático, del aumento de la temperatura del mar y de la disminución de las masas de hielo polar. Se ha abogado por el uso de krill como fuente esencial de proteína para reemplazar la harina de pescado en los piensos utilizados en la acuicultura (Olsen *et al.*, 2006; Suontama *et al.*, 2007), pero la tendencia actual parece indicar que esto no es posible (De Silva y Turchini, 2008). Esta situación se ve complicada por el hecho de que el krill es el alimento principal de las ballenas misticetas y de muchas especies de peces silvestres.

## 5. REPERCUSIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ACUICULTURA

Las repercusiones del cambio climático podrían manifestarse directa o indirectamente, y no todos los aspectos del cambio climático se traducirán en repercusiones sobre la acuicultura. Así como sucede con cualquier práctica de cultivo, las prácticas acuícolas se definen espacial y temporalmente y por su alcance, y son bastante manejables. Además, la producción de acuicultura se concentra en ciertas regiones climáticas y en ciertos continentes (véanse las Secciones 3.1, 3.2, 3.3), con un conjunto de prácticas sectoriales bien definidas.

Puede que estos acontecimientos, al menos durante las fases tempranas de la historia reciente del sector, hayan sido impulsados por atributos culturales, tales como el hecho de «vivir en contacto con el agua» y otras tendencias tradicionales afines con arreglo a las cuales eran algunos los grupos que se dedicaban a la piscicultura. Sin embargo, es preciso reconocer que la expansión de la acuicultura en las diferentes regiones puede de hecho sufrir modificaciones por causa del cambio climático, en particular en las zonas y regiones donde la acuicultura misma puede proporcionar posibilidades de adaptación para otros sectores (p. ej. la agricultura en zonas costeras).

### 5.1 Cambios climáticos importantes que podrían repercutir potencialmente en la acuicultura

No todos los cambios climáticos repercutirían por igual directa o indirectamente en la acuicultura. Asimismo, no resulta sencillo discernir los efectos causales de las repercusiones de los diferentes elementos del cambio climático en la acuicultura y en la pesca. Más aún, no es posible atribuir las repercusiones potenciales de las actividades agrícolas a un único factor del cambio climático. En la mayor parte de los casos, se trata

de una cadena de efectos difíciles de entender que se convierten en elementos causales, y no de un factor reconocible único. Basándose en los pronósticos del IPCC (2007), los elementos del cambio climático que probablemente repercutan en la acuicultura se pueden resumir como sigue:

- Recalentamiento mundial: las opiniones concuerdan en que el recalentamiento de la Tierra será de 1,1 °C durante este siglo, pudiendo incluso alcanzar los 3 °C.
- Subida del nivel del mar: la subida del nivel del mar estará relacionada con el recalentamiento mundial. Según cálculos del IPCC, el nivel de los océanos subirá entre 10 y 100 cm durante el presente siglo; la expansión térmica supondrá 10 a 43 cm de esta subida, y el derretimiento de los glaciares, 23 cm. El aumento del nivel del mar influirá profundamente en las regiones de deltas, determinará la invasión de las tierras por aguas salinas y ocasionará alteraciones bióticas.
- Productividad de los océanos y cambios en los patrones de circulación: se predicen cambios importantes en la productividad de los océanos y en los patrones de circulación; los océanos que más sufrirán repercusiones serán el Atlántico septentrional (Schmittner, 2005) y el Índico (Gianni, Saravanan y Chang, 2003; Goswami *et al.*, 2006). Los cambios tendrán efectos en las pesquerías y en otros grupos de biomasa planctónica vegetal y animal y se traducirán en modificaciones de las cadenas tróficas.
- Cambios en los monzones y aparición de fenómenos climáticos extremos: frecuencia de las inundaciones, variaciones en los patrones de las lluvias monzónicas (Goswami *et al.*, 2006) y la tempestuosidad general.
- Estrés hídrico: el IPCC (2007) estima que para 2020 entre 75 y 250 millones de personas en África experimentarán estrés hídrico y que, según las proyecciones, en particular en las grandes cuencas hidrográficas en Asia central, meridional, oriental y sudoriental la disponibilidad de agua dulce disminuirá. América del Sur y Europa estarán en una situación mejor.
- Cambios en los regímenes hidrológicos de las aguas continentales: es probable que a causa del recalentamiento atmosférico ocurran cambios que podrían repercutir en las actividades de acuicultura tanto en ambientes lénticos como lóticos. Por ejemplo, los procesos de eutrofización podrían exacerbase y la estratificación podría acentuarse, con los consiguientes efectos en las cadenas tróficas y en la disponibilidad y calidad de los hábitats (Ficke, Myrick y Hansen, 2007). Estos dos aspectos podrían a su vez pesar sobre las actividades de acuicultura, en especial la acuicultura continental practicada en jaulas y corrales.

## 5.2 Aspectos de la vulnerabilidad de la acuicultura al cambio climático

A diferencia de otros animales de granja, todas las especies de animales acuáticos cultivadas destinadas al consumo humano son poiquiloterms. Por consiguiente, cualquier aumento o disminución de la temperatura del hábitat podría influir considerablemente en el metabolismo general y por lo tanto en los índices de crecimiento y de producción total; en la reproducción, en la estacionalidad y posiblemente también en la eficacia reproductiva incluyendo fecundidad relativa y número de desoves (véase Wood y McDonald, 1997); y en el aumento de la susceptibilidad a enfermedades e incluso a agentes tóxicos (Ficke, Myrick y Hansen, 2007).

Los niveles inferiores y superiores de temperaturas letales y la gama de temperaturas óptimas para las especies de peces varían considerablemente (Tabla 6). Es por lo tanto inevitable que las variaciones de temperatura inducidas por el cambio climático repercutan en la distribución espacial de las actividades de acuicultura que son específicas de las especies.

Además, la acuicultura se lleva a cabo en tres ambientes muy diferentes –aguas dulces, aguas marinas y aguas salobres– y cada uno de ellos es apropiado para un determinado grupo de especies con rasgos fisiológicos particulares. Es probable que

TABLA 6

**Tolerancia térmica de algunas especies cultivadas seleccionadas pertenecientes a diferentes zonas climáticas**

Modalidad climática/zona térmica común/especies	Temperatura letal incipiente (°C)		Rango óptimo (°C)
	Baja	Alta	
<b>Tropical</b>			
Tilapia ( <i>Tilapia zillii</i> )	7	42	28,8–31.4
Tilapia de Guinea ( <i>Tilapia guineensis</i> )	14	34	18–32
<b>Aguas templadas (subtropicales)</b>			
Anguila europea ( <i>Anguilla anguilla</i> )	0	39	22–23
Bagre de Canal ( <i>Ictalurus punctatus</i> )	0	40	20–25
<b>Templada/polar</b>			
Trucha ártica ( <i>Salvelinus alpinus</i> )	0	19,7	6–15
Trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	0	27	9–14
Salmón del Atlántico ( <i>Salmo salar</i> )	-0,5	25	13–17

Fuente: tomado con modificaciones de Ficke, Myrick y Hansen, 2007.

el cambio climático ocasione importantes modificaciones sobre todo en cuanto a salinidad y temperatura en los hábitats de aguas salobres e influya en consecuencia en la producción de acuicultura en esos ambientes. A este respecto, el sector acuícola actual podría responder a ciertos fenómenos como el grado de alzamiento del nivel del mar o la penetración de aguas salobres tierra adentro reubicando las granjas o recurriendo a la cría de cepas más tolerantes a la salinidad. Entre temperatura y salinidad existen efectos interactivos de influencia recíproca que varían mucho en los organismos acuáticos cultivados y deberán ser tomados en cuenta a la hora de diseñar medidas de adaptación.

### 5.3 Repercusiones directas

Así como ocurre en el sector de la pesca, los impactos del cambio climático en la acuicultura serán probablemente tanto positivos como negativos y resultarán de los efectos directos e indirectos sufridos por los recursos naturales de los que depende la acuicultura. Los principales problemas serán el agua, la tierra, las semillas, los piensos y la energía.

#### 5.3.1 Repercusiones directas conocidas hasta la fecha

Hasta la fecha, solo se ha informado de un caso de repercusión directa en la acuicultura del cambio climático inducido por el hombre: la niebla tóxica que se extendió sobre Asia sudoriental durante El Niño de 2002. Aunque no fue atribuido a las actividades humanas en sí, el acontecimiento tuvo por consecuencia la reducción en un 10 por ciento de la propagación de la luz solar y el calor en la baja atmósfera y el océano. Según algunos autores, el fenómeno contribuyó a un episodio de floración de dinoflagelados que perjudicó la acuicultura en zonas costeras desde Indonesia hasta la República de Corea causando daños por millones de dólares EE.UU. (Swing, 2003),

Algunos desastres climáticos recientes con repercusiones considerables en las comunidades costeras, tales como el ciclón que afectó Myanmar en 2008 o los frecuentes huracanes que se han registrado en el Caribe, se han vinculado con el cambio climático pero sin que al respecto haya consenso científico.

#### 5.3.2 Repercusiones potenciales

En las siguientes secciones se tratará de evaluar las repercusiones del cambio climático en diferentes prácticas de acuicultura en varios ambientes, y en algunos casos en

relación con los productos básicos. Cuando es posible, también se abordan las medidas de adaptación más inmediatas.

### 5.3.2.1 Recalentamiento mundial y repercusiones asociadas al aumento de la temperatura

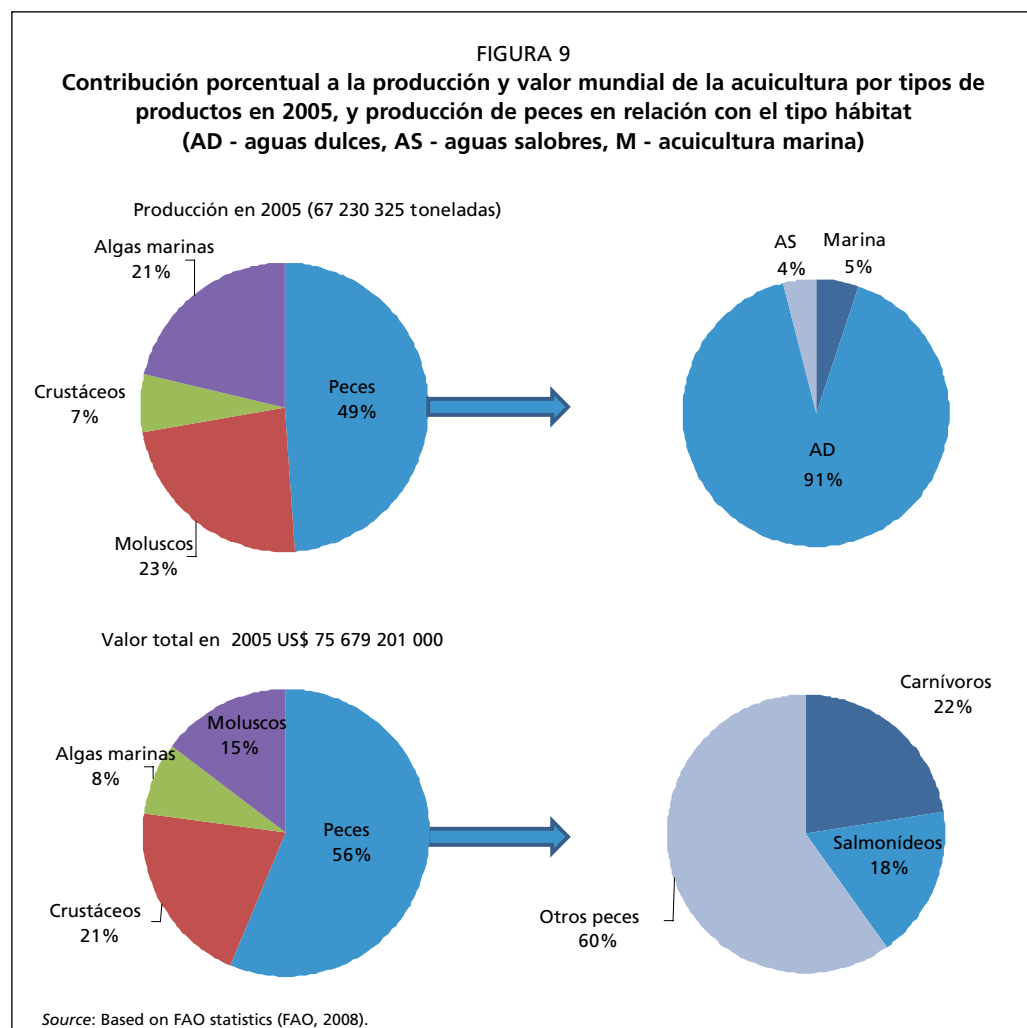
Una de las mayores repercusiones ocasionadas por el cambio climático es el recalentamiento mundial. El aumento de la temperatura acarrea cambios conexos en la hidrología e hidrografía de los cuerpos hídricos, multiplica la frecuencia de los episodios de floración de algas y mareas rojas, etc. Todos estos factores podrían tener repercusiones importantes en la acuicultura.

Para evaluar el efecto de este cambio en la acuicultura y considerar las medidas de adaptación que conviene adoptar, se ha creído apropiado tratar los diferentes sistemas de cultivo y referirlos por separado a los ambientes de aguas dulces y de aguas marinas.

## Acuicultura continental

### Acuicultura en estanques

La mayor parte de la acuicultura practicada en las regiones tropicales y subtropicales es el cultivo de peces (Figura 9). La forma predominante de acuicultura continental de peces es la que se desarrolla en estanques de tamaño que oscila entre unos pocos centenares de metros cuadrados y algunas hectáreas. Los estanques a menudo no son muy profundos; los estanques acuícolas más profundos en funcionamiento son los que se utilizan para el cultivo del bagre en Vietnam, con profundidad de 4 a 4,5 m. Los



principales factores que influyen en la temperatura del agua en los estanques son la radiación solar, la temperatura del aire, la velocidad del viento, la humedad, la turbidez del agua y la morfometría del estanque.

El aumento pronosticado de la temperatura del aire intensificará la vaporización y la cubierta nubosa (IPCC, 2007), y por consiguiente reducirá la radiación solar que llega a los estanques. En términos generales, el aumento mundial de la temperatura del aire podría por consiguiente no quedar reflejado directamente en un incremento concomitante de la productividad en los estanques piscícolas continentales. Esto indica que puede no ser necesario contemplar la sustitución de las especies cultivadas o cambiar las prácticas acuícolas habituales, en particular en las zonas tropicales y subtropicales.

No obstante, la situación podría ser ligeramente diferente para la acuicultura en estanques en las regiones templadas; a escala mundial, esta actividad es de dimensiones pequeñas y se limita principalmente a las especies de salmónidos y en menor medida a las carpas. Los salmones más frecuentemente cultivados en agua dulce son la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y la trucha marina (*Salmo trutta*); para estas especies, el rango de temperaturas óptimas es muy estrecho y el límite superior de temperatura letal es relativamente bajo (Tabla 6). Estas especies también son cultivadas en tierras altas tropicales si bien en cantidades menores, pero representan un medio de vida para las comunidades agrícolas pobres. El aumento de la temperatura del aire podría reflejarse en un aumento de la temperatura en los estanques de acuicultura y causar repercusiones dañinas y, en casos extremos, mortalidad (para más detalles, véase la sección siguiente sobre el cultivo en jaulas). Por lo general, la piscicultura de truchas y salmónidos tiene lugar en estanques con alto recambio de agua o en estanques de flujo continuo en los que el agua fluye libremente 24 horas al día por la duración del ciclo de cultivo (para detalles, véase la Sección 5.3.2.4). Gracias al recambio de agua, las posibles repercusiones de las altas temperaturas pueden verse amortiguadas. Sin embargo, la disponibilidad de agua podría representar un problema para este tipo de explotación si se declarasen sequías debidas al cambio climático, tal como ya está sucediendo en algunas zonas andinas en América del Sur donde los glaciares están retrocediendo.

### *Acuicultura integrada*

La acuicultura integrada es una práctica muy antigua que suele adoptar varias formas: el cultivo del arroz con la piscicultura y/o la integración de la acuicultura con la zootecnia. Se trata de formas de explotación tradicional en pequeña escala, a menudo realizadas por una sola unidad familiar.

La acuicultura integrada sigue siendo relativamente popular en China y se practica también en otros países asiáticos y en algunas regiones templadas de Europa oriental. El nivel de producción de pescado y otros productos derivados no se conoce con exactitud, pero baste decir que esta actividad representa un medio de sustento importante y a veces único para las comunidades rurales (Miao, en prensa).

En general, las especies de peces cultivadas se alimentan en los eslabones bajos de la cadena trófica, y con frecuencia en este tipo de acuicultura se prescinde de cualquier aporte externo de piensos; la población se vale por sí misma extrayendo su alimento del fitoplancton, zooplancton y bentos. Por consiguiente, se trata de prácticas que funcionan esencialmente como sumideros de carbono. Feare (2006) sugirió que la acuicultura integrada con la cría de pollos o patos podría representar una canal para la difusión del virus de la gripe aviar, en especial si se considera que esta acuicultura encaja en los sectores 3 y 4<sup>5</sup> de las líneas directrices FAO (2004) en materia de bioseguridad.

<sup>5</sup> El sector 3, sistemas de producción comercial con niveles de bioseguridad bajos o mínimos; las aves y demás productos llegan por lo general vivos al mercado. Las aves se colocan en cobertizos abiertos y pueden pasar parte del día fuera del cobertizo. El sector 4, sistemas de producción de aldea o de traspatio con niveles de bioseguridad mínimos; las aves y demás productos son consumidos en la localidad.

Existe preocupación de que este tipo de prácticas podría poner en peligro la certificación y comercialización de los productos acuícolas, lo que supone la necesidad de adoptar nuevos enfoques precautorios.

La gripe aviar altamente patógena es causada sobre todo por la cepa H5N1 del virus de tipo A de la familia vírica Orthomyxoviridae. Es una enfermedad que se difunde fácilmente entre las aves domésticas y silvestres. Es preciso saber si los efectos del cambio climático repercutirán en la piscicultura integrada causando la propagación del virus, y si esto acarrearía peligros para la salud humana.

Resulta que podría ocurrir lo contrario. La potencialidad de repercusiones debidas al cambio climático radica en que el aumento de la temperatura del agua podría ocurrir, aunque con efectos mucho menores que en las zonas de clima templado. Sin embargo, se ha demostrado que la persistencia de los virus H5 y H7 es inversamente proporcional a la temperatura y salinidad del agua y que existen importantes efectos interactivos entre estos últimos parámetros (Brown *et al.*, 2006). Por tanto, la influencia general del cambio climático en la acuicultura integrada podría ser mínima, y con ello los temores de que la práctica de esta actividad tenga repercusiones en la difusión de los mencionados virus desaparecerían o se reducirían al mínimo. Sería de esperar que estas formas de cultivos integrados, entendidas como medida de adaptación que favorece la absorción de carbono (véase la Sección 6.1.2) se popularicen y se fomenten, y se desarrollen de manera de satisfacer las normas de seguridad alimentaria.

### *Cultivo en jaulas*

A nivel mundial, la acuicultura en jaulas es cada vez más importante para el desarrollo de la acuicultura, y esta tendencia se mantendrá en el futuro próximo (Halwart, Soto y Arthur, 2007). Es posible que esta actividad esté impulsada por los siguientes factores:

- ante las limitaciones en cuanto a disponibilidad de tierras y de agua, la toma de conciencia de que es necesario utilizar las aguas continentales existentes para la producción de peces comestibles (De Silva y Phillips, 2007);
- la necesidad de satisfacer la creciente demanda de peces comestibles de calidad y mayor valor provenientes de ambientes marinos;
- se considera también que en aguas continentales el cultivo en jaulas representa un medio de subsistencia alternativo para las personas que han sido desplazadas tras la construcción de un dique de acopio de agua (Abery *et al.*, 2005), situación más frecuente en Asia que en otros lugares (Nguyen y De Silva, 2006).

La acuicultura en jaulas es una actividad con formas de operación e intensidad muy diversas, como también son variadas las especies que se cultivan. No obstante, una

#### RECUADRO 2

La piscicultura integrada es una actividad popular originaria de China que ha sido adoptada por muchos países de Asia como eficaz sistema de producción de alimentos en el medio rural. Esta práctica agrícola, que representa una forma eficiente y efectiva de reciclar los desechos biológicos, ha sido cuestionada respecto a la calidad de los alimentos producidos. En las fotos, explotaciones agrícolas integradas de peces, pollos y cerdos.





gran proporción del cultivo en jaulas se realiza en regiones tropicales, sobre todo en embalses y lagos; en cambio, la acuicultura en jaulas más tradicional y con finalidad menos comercial se practica en ríos. Casi siempre, la piscicultura en jaulas en zonas continentales produce peces de valor bajo a mediano (De Silva y Phillips, 2007). La proliferación no reglamentada del cultivo en jaulas en muchos cuerpos de agua en la región tropical ha conducido a episodios regulares de mortandad de peces y a la transmisión de enfermedades y por consiguiente a menores ganancias debido a la gran densidad de jaulas que se colocan en un cuerpo de agua sin considerar la capacidad de carga del ecosistema (Abery *et al.*, 2005).

Ficke, Myrick y Hansen (2007) han sugerido que el cambio climático podría agudizar los procesos de eutrofización y de estratificación en los sistemas lénticos. El aumento de la eutrofización podría ocasionar el agotamiento de oxígeno durante las horas del amanecer; y los cambios repentinos en los patrones eólicos y de pluviosidad determinar el afloramiento de las aguas profundas o del fondo, carentes de oxígeno, con perjuicios para las poblaciones cultivadas y las poblaciones de reclutamiento natural que residen en el cuerpo de agua. La desoxigenación resultante de las surgencias ha sido la causa de que en algunos cuerpos de agua la piscicultura en jaulas se vea hoy limitada a explotar un único cultivo por año y no dos como en el pasado.

Ante los cambios climáticos y para evitar los citados efectos, podría ser necesario que en los trópicos los cultivos en jaulas se planificasen mejor pues de lo contrario dejarían de ser factibles. Al diseñar las medidas de adaptación será preciso adoptar una perspectiva ecosistémica y restringir la intensidad del cultivo a la capacidad de carga del cuerpo de agua en cuestión. Además, en lo que respecta a la colocación de las jaulas, se deberán evitar las aguas excesivamente someras y aquellas en las que la circulación es escasa.

El cultivo fluvial en jaulas se practica tradicionalmente en la mayoría de las regiones tropicales de Asia. Pese a que se estima que su contribución a la producción de piscicultura es relativamente menor, este cultivo representa para muchas personas que viven en las cercanías de los ríos una modalidad de acuicultura de subsistencia. A menudo, en estas operaciones se cultivan peces de poco valor destinados a los mercados locales, y la mayor parte del producto comercializado depende del suministro de semillas silvestres (De Silva y Phillips, 2007). Aunque el grueso de las explotaciones no recurre ya a semillas capturadas en el medio silvestre (salvo en el caso señalado de las anguilas y de unas pocas especies carnívoras marinas), en algunas granjas piscícolas artesanales rurales pertenecientes a comunidades que viven en las cercanías de ríos se practica todavía una piscicultura de subsistencia en jaulas que en alguna medida usa semillas silvestres (De Silva y Phillips, 2007). El cambio climático podría afectar los patrones reproductivos de las poblaciones naturales y repercutir en la disponibilidad de este tipo de semillas; por otra parte, esta acuicultura de subsistencia podría también ser influida indirectamente por la escasa disponibilidad de agua en los ríos. Un método de adaptación para hacer frente a los cambios potenciales consistiría en mejorar las prácticas de explotación, por ejemplo mediante una alimentación más eficiente.

### Maricultura

La maricultura en pozos excavados en la arena o los cultivos sobre el fondo, en balsas y en jaulas tienen lugar tanto en zonas costeras como en mar abierto en las tres regiones climáticas, es decir la zona tropical, subtropical y templada. En las zonas templadas la principal actividad acuícola es la maricultura de salmónidos en jaulas (Halwart, Soto y Arthur, 2007). La maricultura en las regiones tropicales y subtropicales produce variedades de peces de precio relativamente alto, como los meros (p. ej., *Epinephalus* spp., los pargos, *Sparus* spp., la cobia, *Rachycentron canadum*, etc.). Además hay cultivos marinos de moluscos como *Ruditapes* sp., *Mytilus* sp., y algas como *Gracilaria* sp. (véanse las Figuras 4, 5 y 6). Las algas marinas, ostras y almejas constituyen la mayor

proporción de la maricultura mundial. El cultivo de estos últimos grupos supone un consumo de energía mínimo; asimismo, las especies cultivadas son grandes absorbentes de carbono. Los mayores costos energéticos que derivan del cultivo de estos organismos son los relacionados con el transporte del producto hasta el consumidor. Estos cultivos son sumamente benignos en cuanto a emisiones de carbono, siempre que las instalaciones piscícolas estén adecuadamente localizadas, y las perturbaciones ambientales que producen sean exiguas o nulas. Las perturbaciones registradas han consistido sobre todo en modificaciones hidrográficas en la zona de cultivo y en la sedimentación de las materias fecales o pseudofecales en el fondo.

Los cambios climáticos y en particular el recalentamiento mundial podrían tener impactos directos e indirectos en la maricultura en regiones templadas. Las especies que se cultivan en éstas, principalmente los salmónidos (p. ej., *Salmo salar*) y el cultivo emergente del bacalao (*Gadus morhua*), tienen un margen de tolerancia térmica óptima relativamente estrecho (véase el Tabla 6). El sector salmonero ya ha conocido un aumento de la temperatura del agua en el pasado reciente, y se sabe que una temperatura superior a 17 °C podría ser perjudicial cuando la ingesta de pienso desciende y la eficacia de su utilización se reduce. Para desarrollar posibles medidas de adaptación, se ha comenzado a investigar la influencia de la temperatura en la eficacia de utilización del pienso y el aprovechamiento de proteínas y lípidos para estimular el crecimiento, en lugar de mantener las funciones del organismo a temperaturas elevadas, por ejemplo a 19 °C.

Algunos autores han mostrado que los piensos hipograsos producen mejores rendimientos a temperaturas elevadas (Bendiksen, Jobling y Arnesen, 2002); y ello indica que es posible perfeccionar las medidas de adaptación mediante la alimentación. Asimismo, existe el potencial de aumentar el cultivo de especies marinas tales como la cobia (*Rachycentron canadum*), una de las especies de crecimiento más rápido y de alta eficiencia de conversión alimentaria que requiere un aporte de proteínas en la dieta relativamente menor que otras especies marinas cultivadas. A diferencia de muchas de éstas, la cobia es muy fecunda y la producción de semilla en criadero se lleva a cabo ordinariamente con una tasa de supervivencia larval alta (Benetti *et al.*, 2008).

El aumento de las temperaturas en las regiones tropicales y subtropicales podría aumentar el crecimiento y por consiguiente mejorar la producción en general. Las temperaturas pronosticadas estarán comprendidas en el margen óptimo de tolerancia

### RECUADRO 3

El cultivo en jaulas en aguas continentales puede adoptar muchas formas, y a menudo esta acuicultura tradicional, destinada mayormente a la subsistencia, se practica en los ríos tropicales; en cambio, las empresas acuícolas que se orientan más al comercio funcionan en lagos y embalses. Este tipo de acuicultura es frecuentemente intensivo y suele superar la capacidad de carga del cuerpo de agua; a lo largo de los años en algunos casos se han registrado con regularidad episodios de mortandad de peces. A menos que se tomen medidas de mitigación, esta situación podría verse exacerbada por el cambio climático. Las fotos muestran varias formas de acuicultura en jaulas en Asia tropical.



térmica de la mayoría de las especies que se cultivan en esas aguas (marinas, salobres y/o dulces), lo que significa que el recalentamiento mundial podría tener efectos positivos en el grueso de la producción de acuicultura siempre que los requisitos relacionados con los insumos de piensos, necesarios para compensar la mayor actividad metabólica, puedan satisfacerse y se puedan evitar otros factores perjudiciales asociados como las enfermedades.

En 2006, la producción pesquera en aguas marinas y salobres alcanzó 4385 179 toneladas, de las cuales el 30 por ciento correspondió a salmónidos. La mayor parte de esta producción fue basada en alimento fabricado, y los principales ingredientes de éstos fueron la harina y el aceite de pescado. La gestión de los piensos en la salmonicultura es quizá la más eficiente de todo el sector de la acuicultura; sin embargo, el elevado grado de dependencia de la harina y aceite de pescado plantea un problema muy pertinente en la mayor parte de las hipótesis relativas al cambio climático.

Las repercusiones potenciales del cambio climático en la disponibilidad futura de estos productos para la fabricación de piensos acuícolas se aborda en detalle más adelante (véase la Sección 5.4). Los progresos que han tenido lugar en el sector de los piensos para salmones durante los últimos 20 años se han traducido en una reducción significativa de los factores de conversión y en el uso de una menor cantidad de harina de pescado, principalmente porque se ha recurrido a dietas hiperenergéticas que aprovechan la capacidad de ahorro de proteínas de los salmónidos. Otras actividades de piscicultura marina se han quedado generalmente rezagadas tanto respecto a estas tendencias de sustitución como en cuanto a la reducción de los índices de conversión alimentaria, en parte porque se trata de industrias jóvenes. El desafío a que se enfrenta el sector es asegurar que los piensos de alta densidad energética resulten igualmente efectivos en un medio en el cual las temperaturas han aumentado.

Se predice que la acidificación mundial aumentará debido al cambio climático (Hughes *et al.*, 2003; IPCC, 2007). Aparte de sus repercusiones en la formación de los corales, es posible que el aumento de la acidificación impida la calcificación de las conchas, en particular en los moluscos, y que este efecto, agudizado por el aumento de la temperatura del agua, afecte el cultivo de dichos organismos. El fenómeno ha recibido escasa atención y debería ser investigado con urgencia.

En la actualidad, el cultivo de moluscos representa cerca del 25 por ciento de toda la producción de acuicultura (aproximadamente 15 millones de toneladas en 2005), y es por eso que cualquier efecto negativo en la formación de las conchas podría tener graves consecuencias en la producción total de acuicultura. Prácticamente no existe información sobre los impactos potenciales del aumento de la temperatura del agua en la fisiología de los principales bivalvos cultivados. Sin embargo, si la productividad planctónica en las zonas de costa aumentase por el ascenso de las temperaturas, y siempre que se disponga de nutrientes, podrían observarse repercusiones positivas en el cultivo de los organismos filtradores. El aumento de las temperaturas asociado con la eutrofización y la proliferación de algas nocivas (Peperzak, 2003) podría causar eventos tóxicos más frecuentes, que a su vez podrían deteriorar la producción y aumentar los riesgos que para la salud humana representa el consumo de moluscos que provienen de las zonas afectadas. Esto requiere llevar a cabo investigaciones que suministren pronósticos más exactos acerca de los efectos netos esperados.

### 5.3.2.2 Infiltración de aguas salinas

Además del cultivo de camarones en zonas de estuario en Asia, América del Sur y el Caribe, se llevan a cabo en las regiones tropicales de Asia intensas actividades de acuicultura en los deltas de los principales ríos en el límite medio a superior de las áreas mareales. Destacan los cultivos relativamente recientes de bagre (*Pangasianodon hypophthalmus*) y de labeo (*Labeo rohita*) en el Mekong (Vietnam) (Nguyen y Hoang, 2007) y el Irawadi en Myanmar (Aye *et al.*, 2007), respectivamente.

Las primeras dos operaciones de acuicultura han proliferado durante la última década con una producción de 1,2 millones y 100 millones de toneladas, respectivamente. Han generado una gran cantidad de divisas y proporcionan medios de vida adicionales a las comunidades del medio rural. Las aguas salobres de la mayor parte de los deltas en las regiones tropicales de Asia están también entre las principales zonas de cultivo de camarón.

De gran importancia es que tanto el cultivo de peces como el de camarón son sectores en crecimiento y casi todo el producto es elaborado y se destina a la exportación. Se crean así oportunidades de empleo suplementarias con profundas consecuencias en la situación socioeconómica de la comunidad en general.

A causa de la subida del nivel del mar a lo largo de las próximas décadas la infiltración de aguas saladas río arriba aumentará afectando los cultivos dulceacuícolas. Debería contemplarse como medidas de adaptación trasladar las instalaciones de acuicultura a zonas superiores, desarrollar u optar por cepas más salino-tolerantes de las especies cultivadas o bien cultivar otras especies salino-tolerantes. Se trata de modificaciones costosas que repercutirán también en la situación socioeconómica de las comunidades involucradas. Cabe destacar que las medidas de adaptación podrán ocasionar el abandono de muchos estanques, y ello hará recordar lo que sucedió con las granjas camaroneras hace una década. Por el lado positivo para la acuicultura, con la penetración de aguas salinas que convierten las tierras en superficies inapropiadas para la agricultura, y en particular para el cultivo tradicional del arroz, se ganarían áreas adicionales para el cultivo del camarón. El camarón es un producto de valor mucho más alto que numerosos otros productos agrícolas y tiene gran potencial comercial pero su cría conlleva también mayores riesgos de ordenación. Si se opta por los cambios mencionados, habrá que modificar bastante las cadenas de suministro, y los países deberán incorporar estas necesidades en sus planes y pronósticos. Los fenómenos de subida del nivel del mar y de penetración salina también determinarán cambios ecológicos y de hábitat, incluidos los manglares, que funcionan como territorios de cría para muchas especies eurihalinas. Aunque en términos generales la mayor parte

#### RECUADRO 4

El cultivo del bagre y del labeo en los deltas de los ríos Mekong e Irawadi en Vietnam y Myanmar, respectivamente, son formas de acuicultura que han registrado las mayores tasas de crecimiento de todos los tiempos. Las regiones en las que se practica esta acuicultura pueden verse afectadas por la infiltración de aguas salinas debido a la subida pronosticada del nivel del mar. Estos son cultivos intensivos con gran densidad de población y altos niveles de alimentación de especies de agua dulce cuya tolerancia a la salinidad es relativamente baja. Para conseguir mitigar los efectos del cambio climático se haría por lo tanto necesario trasladar las instalaciones a lugares aguas arriba. Pero por otra parte, por el efecto mismo de las repercusiones climáticas se podría disponer de más espacio en los estanques para el cultivo de camarones, y ello permitiría entrelazar adecuadamente las cadenas de suministro. Las fotos muestran escenas de la acuicultura del bagre en el delta del Mekong.



de las explotaciones acuícolas dependen en la actualidad muy poco de los suministros naturales de semilla (con la excepción notable de la anguila de agua dulce, *Anguilla* spp.), será indispensable vigilar continuamente los cambios para diseñar medidas de adaptación adecuadas.

Se dispone de predicciones específicas relativas a la subida del nivel del mar en el delta del Mekong (Vietnam). Este delta es en verdad la cesta de alimentos de ese país y supone el 46 por ciento de la producción agrícola vietnamita y el 80 por ciento de las exportaciones de arroz (How, 2008). Se predice que el mar podría subir un metro e inundar una superficie de 15 000 a 20 000 km<sup>2</sup>, ocasionando una pérdida equivalente al 76 por ciento de las tierras arables. El delta alberga ya una próspera acuicultura y la pérdida de tierras arables podría demandar la creación de medios de vida alternativos mediante la acuicultura.

### 5.3.2.3 Cambios en los patrones de los monzones y frecuencia de los fenómenos climáticos extremos

A lo largo de los pasados 50 años la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos como tifones, huracanes e inundaciones poco corrientes ha aumentado notablemente. El número de estos sucesos pasó de 13 entre 1950 y 1960 a 72 entre 1990 y 2000 (IPCC, 2007). Estos fenómenos se traducen en pérdidas económicas enormes. Las pérdidas económicas promedio para las mencionadas dos décadas se han estimado entre 4 000 y 38 000 millones de dólares EE.UU. (dólares fijos) y, para algunos años, en hasta 58 000 millones de dólares EE.UU. (IPCC, 2007). Se predice que los fenómenos meteorológicos extremos ocurrirán mayormente en las regiones tropicales y subtropicales. Para los pasados acontecimientos extremos los daños a la acuicultura no fueron cuantificados.

Los fenómenos de El Niño y La Niña también producen acontecimientos meteorológicos extremos en las regiones templadas. Por ejemplo, durante El Niño de 1994, se registraron 95 grandes tempestades que ocasionaron cuantiosos daños a la industria salmonera en el sur de Chile y la fuga de peces de las jaulas colocadas en el mar (Soto, Jara y Moreno, 2001). El Niño es conocido también como un fenómeno que provoca efectos ecológicos en los ecosistemas terrestres con efectos en la vegetación y fauna terrestre y marina (Jaksic, 2001). Como El Niño también acrecienta la gravedad de las tempestades invernales en América del Norte, el desarrollo de la acuicultura en mar abierto puede sufrir repercusiones adversas. Se predice que los efectos del cambio climático aumentarán probablemente en intensidad y que su frecuencia podría traducirse en impactos significativos en la acuicultura en mar abierto en las regiones templadas, que se sumarían a los efectos relacionados con los suministros de harina y aceite de pescado (véase la Sección 5.4.1).

Los fenómenos meteorológicos extremos pueden repercutir potencialmente en las actividades de acuicultura en las regiones tropicales y subtropicales de Asia y otros lugares. Las repercusiones potenciales podrían variar entre la destrucción física de las instalaciones hasta la pérdida de poblaciones en cultivo y la propagación de enfermedades. Las alteraciones climáticas recientes, las temperaturas excepcionalmente frías y las tempestades de nieve que ocurrieron en China meridional sirven como ejemplos para ilustrar el alcance de los impactos en la acuicultura de tales cambios (no se sugiere sin embargo que los fenómenos recientes estén vinculados a los cambios climáticos mundiales). Análogamente, Vietnam experimentó en 2007 la más grave inundación en 50 años, y los daños a la acuicultura no han sido evaluados (Nguyen, 2008).

De acuerdo con estimaciones preliminares, en China central se perdieron cerca de medio millón de toneladas de peces cultivados, en su mayor parte especies de aguas templadas y especies exóticas tales como la tilapia, de las cuales una importante proporción eran reproductores (W. Miao, comunicación personal). Quedan por

determinar las posibles perturbaciones ambientales que podrían causar los ejemplares fugados, en particular los pertenecientes a especies cultivadas exóticas.

La acuicultura asiática continental depende fuertemente de las especies exóticas (De Silva *et al.*, 2006). Si bien la fuga de individuos de las instalaciones acuícolas es un fenómeno casi inevitable en circunstancias normales y representa un problema persistente (Anónimo, 2007), la posibilidad de que un gran número de individuos cultivados penetre en las vías de agua debido a los efectos destructores de los eventos climáticos extremos es mucho mayor. Los grandes episodios de liberación involuntaria de individuos pueden causar fuertes perturbaciones ambientales y sus eventuales repercusiones negativas en la biodiversidad serían mucho más agudas. Además se podrían registrar pérdidas financieras directas y daño a la infraestructura de las instalaciones acuícolas.

Sin embargo, resulta casi imposible adoptar medidas de adaptación destinadas a evitar estos acontecimientos potenciales, salvo quizá reduciendo la dependencia de las especies exóticas para limitar los daños sólo a pérdidas financieras (pérdidas de poblaciones). Sin embargo, ésta no es una solución perfecta ya que los ejemplares fugados pertenecientes a especies nativas pueden afectar a la diversidad genética de las poblaciones silvestres, tal como se ha documentado en el caso del salmón del Atlántico (Thorstad *et al.*, 2008); los fenómenos meteorológicos extremos se suelen mencionar como la causa más frecuente de tales fugas. No obstante, el efecto de escapes de especies nativas cultivadas ha sido generalmente ignorado en todo el mundo.

El cambio climático puede en algunas regiones del planeta ser causa de clima severo (tempestades), alteraciones en la calidad del agua (debidas por ejemplo a la proliferación de algas) y quizá de mayores concentraciones de sustancias contaminantes y otros tipos de esorrentías dañinas provenientes de fuentes terrestres y producidas por las inundaciones en zonas costeras. Las mencionadas condiciones climáticas harán de la acuicultura marina un sector más vulnerable, en particular la acuicultura en jaulas que es la modalidad marina predominante para el cultivo de peces y algas en las bahías costeras de Asia. Esta acuicultura se está convirtiendo en el mayor productor de algas marinas cultivadas del mundo (véase la Figura 7).

Las instalaciones acuícolas ubicadas en tierra cerca de la costa son las más propensas a sufrir los impactos del clima severo, la erosión y las tempestades ciclónicas, con consecuencias como la destrucción de las estructuras de cultivo, escapes y la pérdida de los medios de vida de acuicultores. Entre las zonas más susceptibles están los deltas costeros de Asia, donde existen miles de granjas acuícolas en las que trabajan, principalmente en el cultivo de peces y camarones, otros tantos miles de personas.

Los ecosistemas de delta aguas abajo son igualmente frágiles debido a que sufren los cambios que tienen lugar aguas arriba, relacionados con la disponibilidad de agua y las descargas hídricas, las cuales ocasionan alteraciones en la calidad del agua y en los ecosistemas en las áreas de delta. Pocas son las medidas de adaptación posibles para hacer frente a estos impactos; pero éstas serán eventualmente similares a las que se han propuesto para la acuicultura continental.

La estación de huracanes en América Central ha afectado a la acuicultura costera rural; así ocurrió en Nicaragua, donde la camaronicultura era una actividad floreciente entre comienzos del decenio de 1990 y 1998 cuando el huracán *Mitch* devastó un gran número de granjas y muchos acuicultores no estuvieron en condiciones de reemplazar la producción perdida. Otras tempestades muy destructoras han sido los huracanes *Dennis* y *Emily* en Jamaica, *Stan* en El Salvador y Guatemala y, más recientemente, *Félix*, que acabó con muchas zonas rurales de Nicaragua, algunas con empresas de acuicultura incipientes. En general, las medidas de adaptación más pertinentes consisten en evaluar los riesgos climáticos en las zonas donde se encuentran las granjas acuícolas; el tema se trata bajo el título «Zonificación y seguimiento en la acuicultura», Sección 7.1.3.

#### 5.3.2.4 Estrés hídrico

De acuerdo con las proyecciones, el estrés hídrico resultante del cambio climático podría tener repercusiones considerables en la acuicultura de regiones tropicales, en especial en Asia. Se cree que los efectos de estrés se traducirán en una disponibilidad hídrica reducida en los principales ríos de Asia central, meridional, oriental y sudoriental, y de África (IPCC, 2007), que son zonas donde se desarrollan actividades acuícolas importantes. Por ejemplo, los deltas de algunos de los principales ríos, tales como el Mekong, el Meghna-Brahmaputra y el Irawadi, son regiones en las que se lleva a cabo una intensa actividad de acuicultura que contribuye a los ingresos de exportación y a los medios de sustento de miles de personas. Aparte de este hecho, el uso prudente de este recurso primordial se ha convertido en un asunto de gran interés, ya que del aprovechamiento racional del agua depende la sostenibilidad de la acuicultura.

La cantidad de agua que se utiliza para la producción de alimentos varía enormemente de un sector a otro. Zimmer y Renault (2003) han indicado que es preciso diferenciar entre los sectores de la producción de alimentos, por ejemplo en cuanto a:

- principales productos primarios (p. ej., cereales, frutas, etc.);
- principales productos elaborados (p. ej., productos alimenticios derivados de los productos primarios);
- principales productos de transformación (p. ej., productos animales, ya que éstos se producen a partir de productos vegetales);
- principales productos que se producen con poco consumo de agua o sin agua (alimentos marinos).

En la Tabla 7 se comparan las necesidades hídricas específicas por unidad de producción de productos seleccionados del sector de la zootecnia. Sin embargo, aparte de la acuicultura en estanques, otras formas de acuicultura como el cultivo en jaulas son consumidoras directas casi nulas de agua salvo en lo que respecta a los piensos. En términos generales, la reducción del uso de agua en la acuicultura se podría conseguir: a) seleccionando ingredientes de pienso que puedan ser producidos con poca agua; b) mejorando la producción interna de piensos destinados al sistema acuicultura mediante tecnologías relacionadas con el perifiton; y c) integrando el aprovechamiento del agua con la agricultura (Verdegem, Bosma y Verreth, 2006). Algunas de las medidas mencionadas ya se aplican en la acuicultura asiática de peces que se alimentan en los eslabones bajos de la cadena trófica, por ejemplo en los sistemas de policultivo de carpas recurriendo a fuentes de alimentos disponibles naturalmente mediante una producción apropiada de perifiton (Wahab *et al.*, 1999; Van Dam *et al.*, 2002).

Es necesario considerar la reducción de la disponibilidad de agua que se pronostica en los grandes sistemas fluviales deltaicos de Asia –que albergan importantes actividades de acuicultura– en conjunción con el fenómeno de infiltración de aguas salinas resultante de la subida del nivel del mar (Hughes *et al.*, 2003) y los cambios esperados en los patrones de precipitación monzónica (Goswami *et al.*, 2006).

A lo largo de los grandes sistemas fluviales del Asia tropical la extracción y descarga de aguas es muy abundante y se debe principalmente a la acuicultura intensiva del camarón y el bagre. Un modelo global en el que se incorporasen las anteriores variables relacionadas con las regiones deltaicas del Mekong y el Meghna-

TABLA 7  
Demanda hídrica específica (m<sup>3</sup>/t) para diferentes productos alimenticios animales\* y comparación con las necesidades relativas a la acuicultura

Producto	Demanda hídrica
Carne de vacuno, carne de carnero, carne caprina	13 500
Carne de cerdo	4 600
Aves	4 100
Leche	790
Mantequilla + grasas	18 000
Carpa común (cultivo intensivo/estanques) <sup>a</sup>	21 000
Tilapia (cultivo extensivo/estanques) <sup>a</sup>	11 500
Pienso en gránulos utilizado en estanques <sup>b</sup>	30 100

a- Muir, 1995; b- Verdegem, Bosma and Verreth, 2006.

Fuente: \*datos tomados de Zimmer y Renault, 2003.

Brahmaputra en Bangladesh y el Irawadi en Myanmar, entre otras, permitirá determinar con precisión:

- el grado de penetración de las aguas marinas en el río y hacia los humedales contiguos;
- las actividades agrícolas que podrían ser perdidas a consecuencia de la penetración de las aguas marinas;
- los cambios brutos en el hábitat (véase también la Sección 5.3.2.1). Las repercusiones potenciales en las migraciones de desove y por lo tanto los cambios en la disponibilidad de semillas para cultivos de subsistencia en jaula;
- las repercusiones socioeconómicas generales de los acontecimientos resultantes.

La información disponible permitirá tomar medidas de adaptación y responder por ejemplo a la pregunta siguiente: ¿Podría compensarse la pérdida de actividad agrícola en estas zonas deltaicas con la provisión de medios de vida alternativos derivados de la acuicultura o de la maricultura? Esta posibilidad podría equivaler a un potencial impacto no perjudicial del cambio climático porque se habría encontrado para las comunidades rurales una forma de subsistencia más lucrativa. Si se adoptase esta medida de adaptación sería urgente crear capacidades en materia de acuicultura en el seno de las comunidades agrícolas, incluido quizá un dispositivo de apoyo financiero para la construcción de infraestructuras (p. ej., estanques, viveros y viviendas) y proporcionar apoyo gubernamental adecuado para facilitar el tránsito de la agricultura a la acuicultura.

En la salmonicultura continental en regiones templadas y en tierras altas y en las zonas de bajas temperaturas de los trópicos y sub-trópicos, se tiende a adoptar cada vez más los estanques de flujo continuo, que son sistemas en los cuales la demanda de agua es sumamente elevada. Es muy probable que este tipo de acuicultura sufra los efectos del estrés hídrico, lo que hace necesario modificar las prácticas de cultivo para que pueda sobrevivir. En las zonas aguas arriba donde la cubierta de nieves se ha derretido podría contemplarse la posibilidad de crear nuevas áreas para la acuicultura de especies de aguas frías y templadas.

Actualmente se fomenta la acuicultura no consuntiva del agua, como el cultivo en jaulas (aparte de los insumos que se introducen durante el proceso de producción de piensos) y el aprovechamiento de los pequeños cuerpos de aguas lénticas para la pesquería basada en el cultivo (De Silva, 2003; De Silva, Amarasinghe y Nguyen, 2006), para lo cual se recurre a piensos producidos de forma natural dentro del sistema hídrico.

La pesquería basada en el cultivo es una actividad comunitaria que utiliza un recurso hídrico de propiedad común, que requiere menos capital y que es reconocida por funcionar eficazmente en cuerpos hídricos no perennes en los que el agua se retiene por períodos de seis a ocho meses. Se predice que en algunas regiones, en particular en Asia y en África, las temporadas de sequía se prolongarán debido al cambio climático (Goswami *et al.*, 2006; IPCC, 2007) por lo que la capacidad de retención hídrica en los cuerpos no perennes será menor. Como consecuencia, la mayor parte de los cuerpos de agua serán relativamente inadecuados para la acuicultura ya que se necesita un período mínimo de retención de seis meses para que la mayor parte de los peces alcance un tamaño comercial.

Para atenuar las principales limitaciones o las repercusiones potenciales del estrés hídrico es preciso realizar esfuerzos específicos destinados a conservar el agua en la acuicultura en zonas terrestres, que es aún la forma predominante de la acuicultura continental. En este sentido, la tecnología de recirculación se considera una solución plausible. Sin embargo, los desembolsos de capital y los costos de mantenimiento son actualmente bastante elevados, como también son considerables los niveles de pericia que exige el manejo rutinario (De Ionno *et al.*, 2006).

Para que la producción de especies cultivadas en sistemas de recirculación sea rentable, es normal que su precio de mercado alcance valores relativamente altos. Esto



implica cultivar especies que se alimentan en los eslabones superiores de la cadena trófica y plantea problemas relacionados con los piensos a los cuales es preciso hacer frente. Uno de los objetivos de las medidas de adaptación destinadas a minimizar los impactos del cambio climático es que deben articularse en torno a los procedimientos de ahorro de energía. Los costos energéticos de operación de los sistemas de recirculación son elevados (De Ionno *et al.*, 2006), y, aun si son remunerativas, estas operaciones contribuirán más que cualquier otra actividad de acuicultura tradicional a las emisiones de gases de efecto invernadero, primera causa del cambio climático.

Durante las dos últimas décadas se ha defendido muchas veces el desarrollo de la maricultura en mar abierto como un procedimiento factible para aumentar la producción de peces porque ocasiona muy pocas perturbaciones ambientales inmediatas. No obstante, este desarrollo ha sido impedido por problemas técnicos y logísticos y los gastos de capital necesarios (Grøttum y Beveridge, 2008). Obviamente tales empresas se enfrentarán también al problema común de la acuicultura: el suministro de harina y aceite de pescado en suficiente cantidad para la fabricación de alimento.

#### **5.4 Repercusiones indirectas del cambio climático en la acuicultura**

Las repercusiones indirectas del cambio climático en un fenómeno o en un sector productivo pueden ser sutiles, complejas y difíciles de desentrañar, pero los desafíos que plantean las medidas de adaptación que es necesario diseñar para combatir las o superarlas pueden ser formidables.

Como las pesquerías representan una de las principales fuentes de insumos para la acuicultura al suministrar en particular piensos y en menor medida semilla, las alteraciones resultantes del cambio climático mundial que se registren en ellas se harán sentir en los sistemas de acuicultura. Especial importancia tendrá la designación de las diferentes áreas aptas para el cultivo las especies de acuicultura, pero también serán factores pertinentes la disponibilidad y los precios de los recursos, por ejemplo la proteína de pescado que se usa para la fabricación de piensos. Handisyde *et al.* (2006) examinaron dos repercusiones indirectas del cambio climático en la acuicultura en relación con las posibles fluctuaciones de los precios de los productos de la pesca de captura y las repercusiones de la disponibilidad de harina y aceite de pescado. El informe discute los cambios en la producción de estos dos productos y la necesidad de modificar el uso que a ambos se da en la acuicultura, pero sin dar mayores detalles.

También es oportuno señalar que puede crearse una situación imprevista en lo que respecta a la producción de alimentos acuícolas debido a que algunas materias primas vegetales serán desviadas en cantidades crecientes hacia la producción de biocombustibles. Por efecto de la competencia, la disponibilidad de los alimentos acuícolas podría verse limitada y los costos de los ingredientes podrían aumentar. Puesto que la producción de biocombustibles y el desvío de materias primas que tiene como propósito la fabricación de biocombustibles están aún en una etapa de transición, y las partes interesadas expresan sobre la materia puntos de vista opuestos, es prematuro tratar este tema con detalle y mucho menos predecir sus futuros impactos en la disponibilidad de alimentos acuícolas.

##### **5.4.1 Suministros de harina y aceite de pescado**

El tipo de repercusión indirecta del cambio climático más evidente y más frecuentemente discutido en el sector acuícola se relaciona con los suministros de harina y aceite de pescado y su uso simultáneo en la acuicultura. Tacon, Hasan y Subasinghe (2006) estimaron que en 2003 el sector consumió 2,94 millones de toneladas de harina de pescado en todo el mundo (53,2 por ciento de la producción mundial de harina de pescado), y que esas cifras equivalían al consumo de 14,95 a 18,69 millones de toneladas de pez forraje/morralla/pez de bajo valor, especialmente pelágicos pequeños. En todo el mundo se han realizado investigaciones para combatir este problema incipiente. Se

han llevado a cabo estudios prácticamente en todas las especies cultivadas para ensayar el posible reemplazo de la harina de pescado con otras fuentes de proteínas más baratas fácilmente disponibles, en especial subproductos agrícolas. La literatura sobre el tema es voluminosa y exhaustiva. Desafortunadamente, las conclusiones han conducido a escasas soluciones prácticas, con la excepción notable del empleo de la soja y la harina de trigo en cantidades relativamente elevadas en los alimentos para peces. Los problemas encontrados en el campo de la transferencia de las soluciones teóricas a la práctica, así como otros temas relacionados, han sido ya estudiados en detalle (p. ej. por Tacon, Hasan y Subasinghe, 2006; Hasan *et al.*, 2007; De Silva, Sim y Turchini, 2008).

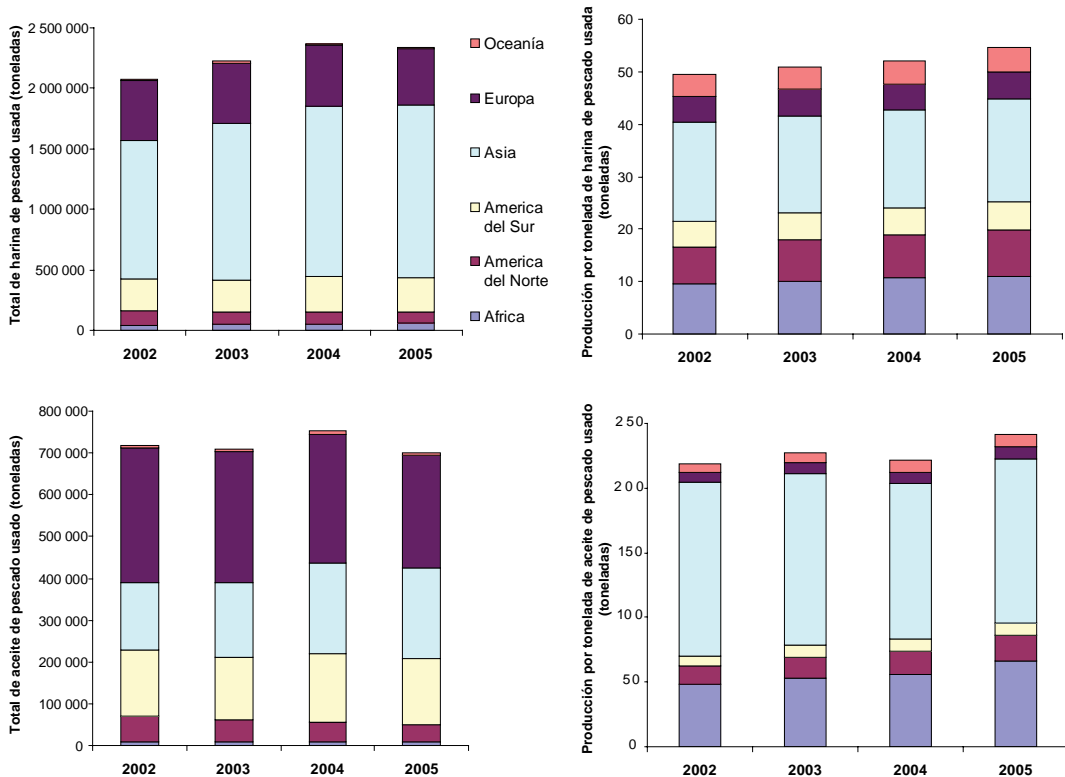
La producción industrial de harina y aceite de pescado se basa normalmente en unas pocas poblaciones de pequeños pelágicos poco longevas de crecimiento rápido que se encuentran en zonas subtropicales y templadas. Las principales poblaciones que se utilizan en la industria de la transformación son la anchoveta peruana, el capelán, el lanzón y las sardinias.

Se ha predicho que la productividad biológica en el Atlántico septentrional disminuirá en el 50 por ciento y que, a nivel mundial, la productividad del océano bajará un 20 por ciento (Schmittner, 2005). Además de la pérdida de productividad general y el consiguiente impacto en la pesca de captura y por ende en la materia prima disponible para transformación, se pronostican otros efectos del cambio climático en la pesca. Es posible que los cambios anunciados en la circulación oceánica determinen una mayor frecuencia de fenómenos del tipo El Niño. Éstos influirán a su vez, como ya ha ocurrido en el pasado, en las poblaciones de los pequeños pelágicos (p. ej., la anchoveta peruana, *Engraulis ringens*). El impacto de El Niño en los desembarques de sardina peruana y anchoa –y por tanto en los suministros mundiales de harina y aceite de pescado– ha sido bien documentado (Pike y Barlow, 2002). Análogamente, los cambios que ocurran en el índice invernal de la oscilación atlántica (Schmittner, 2003), que se traducen en temperaturas invernales más altas, podrían influir en el reclutamiento de los lanzones (*Ammodytes* spp.). Estas variaciones en la productividad de las pesquerías que abastecen a la industria de transformación limitarán la disponibilidad de materia prima transformable y en particular las actividades de las principales pesquerías de las que proviene la producción de harina y aceite de pescado.

Teniendo presente que la acuicultura no es una actividad uniformemente practicada a través del mundo y que predomina en las regiones tropicales y subtropicales, conviene considerar cuáles serán las prácticas acuícolas más afectadas y de qué forma. De la Figura 10 se desprende que si bien el uso de la harina de pescado es notablemente mayor en Asia, en Europa predomina el uso del aceite de pescado. Lo que es más importante es que la producción por unidad de harina y aceite de pescado es bastante más alta en los países en los que la acuicultura se basa sobre todo en las especies de peces omnívoros que reciben piensos procedentes del exterior, los cuales contienen mucho menos harina y muy poco aceite de pescado. Este último hecho es evidente cuando se consideran los grupos de especies cultivadas en relación con los beneficios por unidad de uso de harina y aceite de pescado en el pienso (Figura 11). Este análisis se basa en la cantidad de harina y aceite de pescado que se usa en los piensos para cada grupo de peces y crustáceos, el índice promedio de conversión alimentaria para cada grupo y la cantidad de estos piensos usada para cada grupo. El análisis presentado indica que a raíz de los posibles cambios climáticos y las consiguientes repercusiones adversas en las poblaciones de peces silvestres con que se abastecen las industrias de transformación, el camino por seguir consiste en aumentar de manera concertada y desarrollar aún más, en los trópicos y sub-trópicos, la acuicultura de peces omnívoros y peces que se alimentan por filtración.

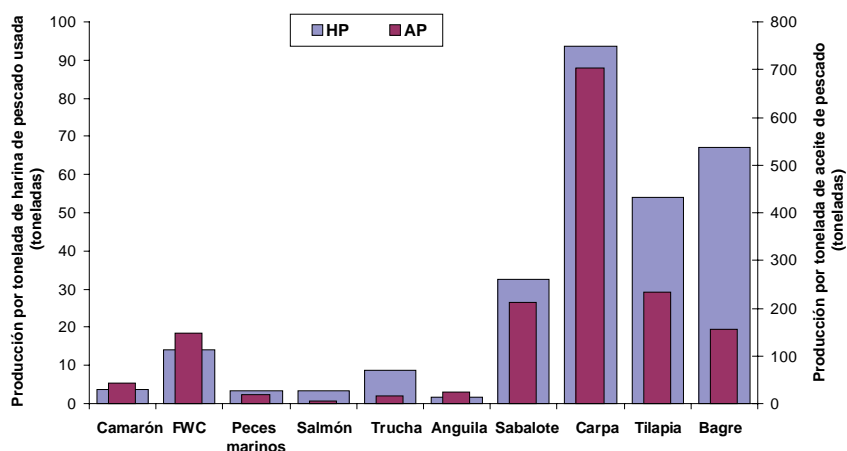
Esta sugerencia ha sido formulada múltiples veces por muchos autores (Naylor *et al.*, 1998; 2000, entre otros), y los procedimientos de adaptación exigirán cambios profundos en la demanda de consumidores y mercados. Al atraer la atención del público

**FIGURA 10**  
**Cantidades estimadas de harina y aceite de pescado utilizadas en la acuicultura en diferentes continentes, y producción de acuicultura por unidad de uso de harina y aceite de pescado**



Fuente: Calculado a partir de datos de la Organización Internacional de la Harina y el Aceite de Pescado.

**FIGURA 11**  
**Producción de acuicultura por tonelada de harina y aceite de pescado usados para la alimentación de diferentes grupos de organismos cultivados que reciben piensos que contienen dichos productos**



sobre este asunto, el mismo se ha convertido en un tema de debate ético. Los cambios en la opinión pública podrían darse con el tiempo, si se tiene presente que muchos grupos abogan ya, desde un punto de vista puramente ético, por que los recursos primarios usados en la industria de transformación sean canalizados hacia los pobres como fuente alimentaria directa (Aldhous, 2004; Allsopp, Johnston y Santillo, 2008). En efecto, a medida que se dispone de información más precisa acerca del encauzamiento de los recursos pesqueros hacia finalidades distintas de las de la producción de alimentos para

el ser humano (De Silva y Turchini, 2008), es muy probable que la demanda del público se oriente lentamente a la acuicultura de peces omnívoros y peces que se alimentan por filtración.

#### 5.4.2 *Otros ingredientes de los piensos usados en la acuicultura*

Aunque se ha subrayado que lo importante es cómo reducir el uso de harina y aceite de pescado en los piensos para organismos acuáticos cultivados, a lo largo de los últimos años han ido surgiendo otros problemas. Por ejemplo, las harinas de soja y de trigo se usan a menudo como ingredientes de los piensos para organismos acuáticos cultivados, y el salvado de arroz se usa en la acuicultura tropical semi-intensiva. Ante la necesidad universal de encontrar alternativas adecuadas a los combustibles fósiles, la producción de biocombustibles es una de las principales opciones. El uso de algunos de los ingredientes mencionados para producir biocombustibles ha dado origen a diversos desafíos económicos y sociales que han producido un efecto dominó (Naylor *et al.*, 2000); la repercusión definitiva de esta situación en el sector de la acuicultura es aún difícil si no imposible de predecir.

Además de lo señalado, el aumento del precio de los alimentos y la disminución de los beneficios para los acuicultores (Anónimo, 2008a) –un proceso que ha sido llamado «el tsunami silencioso» (Anónimo, 2008b)–, son dos asuntos que preocupan al sector en la medida en que la disponibilidad de los ingredientes para los piensos y su encarecimiento puedan repercutir negativamente en el costo de los piensos. En la acuicultura, independientemente del producto y del lugar en donde se practique el cultivo, los precios al productor no han aumentado significativamente a lo largo de los años; de hecho, para algunos productos como el camarón (Kongkeo, en prensa) y el salmón (Grøttum y Beveridge, 2008), los precios han bajado en términos reales.

El margen de beneficio en la acuicultura es sumamente estrecho, y los aumentos de los costos podrían repercutir en los beneficios a tal punto que algunas actividades acuícolas serían inviables. Un factor positivo importante es que en la acuicultura, para la fabricación de los ingredientes de los piensos se usan casi siempre subproductos agrícolas. Por ejemplo, la harina de soja utilizada en los alimentos acuícolas es un subproducto de la extracción del aceite de soja. De forma similar, para la confección de piensos destinados a la acuicultura semi-intensiva de las carpas se usa una gran cantidad de tortas oleaginosas de mostaza (*Brassica* spp.) y de cacahuete, que son subproductos de la extracción del aceite (De Silva y Hasan, 2007).

Las repercusiones del cambio climático en la agricultura terrestre se están comenzando a cuantificar, y se sabe por lo general que en las zonas tropicales esta agricultura sufrirá más daño que en las zonas templadas (McMichael, 2001). La mayoría de los subproductos agrícolas usados en los alimentos acuícolas provienen de los trópicos. Sin embargo, no se dispone fácilmente de estudios sobre las fluctuaciones de los precios de los subproductos. Urge evaluar los cambios en la disponibilidad, accesibilidad y estructura de los precios de los subproductos agrícolas usados en los alimentos acuícolas y diseñar estrategias de adaptación para garantizar la continuidad de los suministros de dichos alimentos a precios razonables en el futuro próximo, así como la viabilidad de la acuicultura.

#### 5.4.3 *Suministros de morralla, de pez de poco valor y de pez forraje*

Existen otras posibles repercusiones indirectas del cambio climático en determinadas prácticas de acuicultura que en un contexto socioeconómico adquieren gran importancia para algunos países en desarrollo. También en este caso se trata de repercusiones relacionadas con los suministros para alimentos acuícolas y sus ingredientes, en particular la morralla, el pez de poco valor y el pez forraje (véase el Recuadro 5).

Se ha estimado que en la región de Asia y el Pacífico el sector de la acuicultura utiliza en la actualidad entre 1 603 000 y 2 770 000 toneladas de morralla o de pez de poco

valor como fuente directa de piensos. Las predicciones altas y bajas para el año 2010 son de 2 166 280 a 3 862 490 toneladas de uno u otro producto como insumos directos para los piensos (De Silva, Sim y Turchini, 2008). Sugiyama, Staples y Funge-Smith (2004) estimaron que en China y en Filipinas se usan, respectivamente, el 72,3 por ciento de 5 millones de toneladas (3 615 000 toneladas) y 144 638 toneladas de morralla o de pez de poco valor como piensos para alimentar a las poblaciones cultivadas. Edwards, Lee y Allan (2004) estiman que en la acuicultura vietnamita se usan 323 440 toneladas de estos productos, en su mayor parte para la fabricación de piensos en la granja destinados a la alimentación de los bagres pangásidos que se cultivan en el delta del Mekong. En la Tabla 8 se resumen las estimaciones acerca del uso de la morralla o del pez de poco valor en la acuicultura de Asia y el Pacífico; es evidente que las cantidades son relativamente grandes. Es importante notar que la mayor proporción de

TABLA 8

**Uso total de morralla/pez de poco valor como fuente directa de piensos en la acuicultura de Asia y el Pacífico**

Actividad	Países/regiones	Calidad*	Cantidad por 1 000 toneladas		
			Actual (rango)	2010a	2010b
Peces marinos	Asia sudoriental	A, B	1 603–2 770	913	1 663
Atún de aleta azul del sur	Australia meridional	B	50–60	45	50
Peces de agua dulce	Asia	A,B	332.44	na (332.44)	na (332.44)
Engorde de cangrejos	Asia sudoriental	B	480–700	600	700
Cultivo de Moluscos	Asia	C	0.035–0.049	0.050	0.055
<b>Total</b>			<b>2 166 280–3 862 490</b>	<b>1 890 490</b>	<b>2 745 495</b>

Calidad A– inferior, no apropiada para el consumo humano; calidad B– puede ser apropiada para el consumo humano; calidad C– buena, apropiada para el consumo humano. Las predicciones para 2010 (predicción a = baja y b = alta) se basan en el aumento de los índices de producción y en cambios asociados a la gestión de los piensos, según los datos ofrecidos en las Tablas anteriores. Para los cangrejos y moluscos, las predicciones se basan en un aumento porcentual de la producción a partir de los datos presentes. n.d. = no disponible.

Fuente: De Silva et al., 2008.

#### RECUADRO 5

La morralla, peces de poco valor y peces forraje, provienen principalmente de las pequeñas pesquerías costeras artesanales y son parte importante de las materias primas para la acuicultura tropical de Asia. Se usan directamente en la alimentación de las poblaciones cultivadas, como en el caso de los peces marinos, secas o en polvo como producto de industrias domésticas, o procesadas en las instalaciones acuícolas para la elaboración de piensos en combinación con otros ingredientes. Estas pesquerías en pequeña escala podrían ser afectadas por los cambios climáticos porque la productividad del océano se reducirá (Schmittner, 2005), incluida la productividad del océano Índico (Gianni, Saravanan y Chang, 2003), y consiguientemente alterar el suministro de un importante ingrediente del pienso para la acuicultura en pequeña escala. Las imágenes muestran el ingrediente (pescado seco), la molienda y el pienso en gránulos resultante, que se prepara según las especificaciones requeridas en la granja y se vierte en los estanques para la alimentación de bagres (Vietnam).



estos productos proviene de las pesquerías costeras artesanales de la región, las cuales proveen medios de subsistencia a miles de pescadores.

Aparte de la pronosticada reducción general de la productividad oceánica, se ha anticipado que el océano Índico se está calentando más rápidamente y que el cambio climático dará lugar a perturbaciones considerables en este océano y en zonas terrestres, en especial en cuanto a productividad y pautas de circulación (Gianni, Saravanan y Chang, 2003). La situación podría extremarse debido a los cambios que afectan a los patrones de pluviosidad monzónica (Goswami *et al.*, 2006) y que influyen en la productividad pesquera en las costas, además de otras repercusiones generales relacionadas con los suministros de morralla y peces de poco valor.

Aunque ya se está abordando cómo reducir la dependencia de estos productos en la creciente maricultura asiática, las repercusiones que tendrán lugar aproximadamente durante los diez años venideros en este sector acuícola no pueden ser ignoradas y deben ser enfrentadas con urgencia. El problema es tanto más agudo si se considera que los pescadores de subsistencia y otros pescadores pequeños que no pueden desplazar sus pesquerías y carecen de alternativas son a menudo los que más dependen de un tipo específico de pesquerías, y quienes sufrirán mayormente las alteraciones y la mayor frecuencia de los cambios a que el IPCC (2007) atribuye un índice de ocurrencia de mediana fiabilidad.

#### 5.4.4 Repercusiones en las enfermedades

Mucho se ha debatido sobre el cambio climático y los riesgos asociados para la salud humana (véase p. ej. Epstein *et al.*, 1998; McMichael, 2003; Epstein, 2005). La opinión generalizada es que la incidencia de las enfermedades diarreicas transmitidas por vectores terrestres irá en aumento. Las tendencias potenciales del cambio climático en los organismos acuáticos y a su vez en las pesquerías y la acuicultura han sido menos documentadas, y los estudios se han concentrado sobre todo en el descoloramiento de los corales y otros cambios conexos. Se ha informado de un aumento de la incidencia de brotes de enfermedades en corales y mamíferos marinos, junto a la incidencia de nuevas enfermedades (Harvell *et al.*, 1999). El descoloramiento de corales se vinculó a las altas temperaturas causadas por el fenómeno de El Niño en 1997 y 1998; se ha sugerido que tanto los acontecimientos climáticos como la actividad antropogénica pueden haber acelerado el desplazamiento mundial de las especies, y que así se han reunido patógenos y poblaciones antes no expuestas a agentes infecciosos (Harvell *et al.*, 1999; Hughes *et al.*, 2003).

Daszak, Cunningham y Hyatt (2000) han indicado que la intensificación agrícola y las translocaciones asociadas pueden exacerbar las enfermedades infecciosas emergentes en animales silvestres que viven en libertad; y que, a raíz de los cambios climáticos —en particular el recalentamiento mundial en algunas zonas áridas del globo—, éstas podrían repercutir en la biodiversidad. Sin embargo, en otros lugares como Europa se predice que esta tendencia disminuirá (IPCC, 2007).

Se ha hecho notar que no se dispone de conocimientos acerca de los parásitos de los animales acuáticos distintos de los parásitos deletéreos causantes de las enfermedades que afectan al ser humano. A raíz de los efectos asociados con el cambio climático que repercuten en los patrones de circulación, y atendiendo a las predicciones deducidas de los modelos de circulación general, se ha tratado de entender los cambios que afectan a las poblaciones de parásitos en las regiones templadas o boreales de América del Norte oriental (Marcogliese, 2001). La conclusión general arrojada por las simulaciones ha sido que el cambio climático puede influir en la selección de diferentes rasgos del ciclo biológico y que puede afectar la transmisión de los parásitos y potencialmente a su virulencia. Resulta difícil predecir las consecuencias de tales cambios en la acuicultura en sí, pero el estudio indica que el sector acuícola debe ser consciente de las amenazas nuevas y potenciales representadas por el parasitismo.

Durante las últimas dos décadas el ritmo de la eutrofización en algunos océanos y la proliferación de algas nocivas asociadas con este fenómeno han aumentado debido a influencias antropogénicas (Smayda, 1990). Se ha señalado que el ritmo de eutrofización y de proliferación de algas nocivas (FAN)<sup>6</sup> iría en aumento a causa de las perturbaciones resultantes del cambio climático, en especial en algunos océanos como el Atlántico septentrional y el mar del Norte (Peperzak, 2003; Edwards *et al.*, 2006), por ejemplo a lo largo de la costa noruega y en otros lugares, pero no de forma homogénea. Las algas tóxicas repercutirán en la vida marina y en la salud humana por conducto del consumo por el hombre de moluscos filtradores, un fenómeno que corrientemente se designa como envenenamiento por mariscos. Además, los FANs también podrían ocasionar efectos dañinos en los cultivos en jaulas, como en el caso de la salmonicultura. Es preciso adoptar medidas de adaptación para hacer un seguimiento regular de las instalaciones acuícolas en las zonas potencialmente vulnerables a la eutrofización y FANs.

Es posible que el cambio climático potencie tanto las especies altamente competitivas, tales como la ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*), como la difusión por nuevas zonas de las especies patógenas asociadas (Diederich *et al.*, 2005). Un hecho relacionado y comparable es que se tienen pruebas de la difusión de dos parásitos protozoarios (*Perkinsus marinus* y *Haplosporidium nelsoni*) en dirección norte desde el Golfo de México hacia la bahía de Delaware (Hofmann *et al.*, 2001) y que esto ha causado una mortalidad masiva en la ostra del Atlántico (*Crassostrea virginica*). Se ha indicado que la difusión patógena se ha debido a la subida de las temperaturas invernales en las que, bajo condiciones normales, los patógenos se mantenían inactivos cuando las temperaturas eran inferiores a 3 °C.

Todas las mencionadas especies hospederas son especies de cultivo. Con el pronosticado aumento de las temperaturas en dirección hacia el polo determinadas por el cambio climático se podría registrar la emergencia de patógenos que se mantenían bajo control cuando las temperaturas invernales eran más bajas. Por lo tanto, pueden ocurrir repercusiones que afectarán en particular a organismos cultivados tales como los moluscos. Otro ejemplo reciente es el brote de *Vibrio parahaemolyticus* en ostras en Alaska y en mariscos en el sur de Chile (Karunasagar, I., 2008; comunicación personal). En este último país, el primer brote importante ocurrió a comienzos de 2004 y se ha mantenido durante los meses de verano (Paris-Mancilla, 2005) debido a que aparentemente las temperaturas del agua de mar han aumentado durante esa estación. Tampoco es posible ignorar el efecto de otros factores tales como el aumento de los nutrientes en las zonas costeras (Hernández *et al.*, 2005). Las medidas de adaptación son, en este caso, principalmente de dos tipos: por una parte, evitar que los organismos comestibles (en especial los bivalvos) queden expuestos a altas temperaturas durante el transporte o el almacenamiento (dado que la temperatura óptima para la multiplicación del patógeno es de 37 °C; H. Lupin, comunicación personal), y cocinar correctamente los mariscos y demás alimentos marinos. Para evitar estos peligros, el consumo de pescado crudo o ceviche<sup>7</sup> ha sido prohibido en Chile, sobre todo durante el verano.

No es difícil predecir en la acuicultura las repercusiones generales del calentamiento del agua en la difusión de enfermedades tales como las enfermedades bacterianas porque, en la mayoría de los casos, su incidencia y persistencia se relacionan con el estrés sufrido por los peces. El aumento de las temperaturas del agua generalmente ocasiona estrés en los peces y facilita las manifestaciones patológicas (Snieszko, 1974). La literatura abunda en ejemplos al respecto. Últimamente se ha mostrado el posible efecto de la acidificación en la respuesta inmune de los mejillones, por ejemplo en el caso del mejillón común, *Mytilus edulis*, una popular especie de acuicultura (Bibby *et al.*, 2008). Se ha indicado que las alteraciones obedecen a cambios en la condición

<sup>6</sup> FANs – Floraciones algales nocivas

<sup>7</sup> Ceviche, cebiche o seviche es el nombre común del plato de pescado crudo en América Latina y el Caribe.

y funciones de los hemocitos, causados a su vez por el efecto de la disolución del carbonato cálcico de la concha.

Es plausible que en la acuicultura de agua dulce pueda aumentar la absorción de sustancias tóxicas y metales pesados en los moluscos cultivados filtrantes, debido a que la subida de la temperatura acelera el ritmo metabólico en estos organismos (Ficke, Myrick y Hansen, 2007), y que esto pueda plantear problemas relacionados con la seguridad alimentaria y la certificación del producto. Pocas son las opciones de adaptación a que se podría recurrir para obviar estas dificultades; quizá lo más apropiado como primera medida sería controlar regularmente la calidad del agua y el producto cultivado para determinar los riesgos para la salud humana.

Claramente, la difusión de enfermedades es una de las amenazas más temibles, si no la mayor, para la acuicultura. Entre los ejemplos de catástrofes debidas a enfermedades en la industria acuícola cabe citar la difusión de la mancha blanca en la camaronicultura del Ecuador y otros países de América Latina (Morales y Morales, 2006), y más recientemente la anemia infecciosa del salmón (ISA, por su sigla en inglés), que está perjudicando gravemente la industria salmonera chilena a tal punto que sus operaciones podrían contraerse durante los próximos dos a cinco años o un período incluso mayor. Dado que la difusión de las plagas y enfermedades se considera una de las grandes amenazas bajo las distintas hipótesis del cambio climático, las medidas de bioseguridad que es preciso adoptar en el sector de la acuicultura deben ocupar un lugar prioritario en los planes de adaptación.

#### 5.4.5 *Repercusiones en la biodiversidad*

Uno de los temas especiales que fue objeto de gran atención desde las etapas iniciales de las deliberaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2002) ha sido el impacto en la biodiversidad. En general, se predice que éste ocurrirá en los hábitats terrestres y en menor medida en los acuáticos, aparte de las que derivan del blanqueamiento de los corales y de la consiguiente pérdida de hábitats coralinos, los cuales están entre los de mayor biodiversidad de la Tierra. Sin embargo, hasta la fecha solo la extinción de una especie se ha vinculado indiscutiblemente al cambio climático: la del sapo dorado (*Bufo periglenes*), que ha desaparecido de Costa Rica (Crump, 1998). Las predicciones de pérdidas totales de biodiversidad atribuibles al cambio climático son asombrosas; el estudio de Thomas *et al.* (2004) por ejemplo menciona que, extrapolando datos, bajo las concentraciones actuales de gases de invernadero, al menos una de cada cinco especies de la Tierra estaría destinada a extinguirse.

Entre las principales características del sector de la acuicultura en todos los regímenes climáticos, continentes y regiones están la fuerte dependencia de las especies exóticas (Gajardo y Laikre, 2003; De Silva *et al.*, 2005; Turchini y De Silva, 2008), la translocación asociada de nuevas especies más allá de su ámbito de distribución geográfica normal y la constante transferencia de reservas de semilla entre países y cuencas hidrográficas. Se ha informado hasta ahora de algunas introducciones de parásitos internos vinculados a translocaciones realizadas con propósitos de producción. Si bien no ha sido posible contrastar las repercusiones devastadoras derivadas de un caso concreto de translocación relacionado con la introducción de una plaga fúngica y la consiguiente diseminación del cangrejo europeo de agua dulce nativo (Edgerton *et al.*, 2004), porque no se disponía de indicios explícitos acerca de las especies exóticas *per se* y su efecto en la biodiversidad, ello no es motivo para dejar de efectuar controles (De Silva *et al.*, 2004).

Las repercusiones en la biodiversidad causadas por especies exóticas han sido en su mayor parte producto de la competencia por el alimento y el espacio con las especies nativas (p. ej. Moyle y Leidy, 1992; Soto *et al.*, 2006), la alteración de hábitats (p. ej. Collares-Pereira y Cowx, 2004) y la transmisión de organismos patógenos (Dobson y May, 1986) y han tenido origen en interacciones como la hibridación y la introgresión



(Dowling y Childs, 1992; Leary, Allendorf y Forbes, 1993; Rhymer y Simberloff, 1996; Araguas *et al.*, 2004) y otros efectos genéticos indirectos (Waples, 1991). Gienapp *et al.* (2008) abordaron la posible relación entre cambio climático y evolución, concluyendo que:

- muchas alteraciones que se ven como formas de adaptación al cambio climático podrían ser respuestas de adaptación plástica al ambiente y no genuinas adaptaciones micro-evolutivas;
- no existen pruebas fehacientes que indiquen que la adaptación evolutiva al continuo proceso de recalentamiento climático pueda jugar un papel importante.

Se plantea entonces la pregunta si, a raíz de los cambios climáticos mundiales, la dependencia continua, si no en aumento, de las especies exóticas en los futuros avances en el sector acuícola y las reservas de semilla asociadas podría tener repercusiones adversas en la transmisión de enfermedades y en la biodiversidad. Haciendo un balance de las pruebas, se puede afirmar que el cambio climático no amplificará las repercusiones en la biodiversidad de eventuales efectos ejercidos por la acuicultura *per se*. Sin embargo, teniendo en cuenta los cambios en los regímenes de temperatura y otros fenómenos similares, en particular en la región templada, es mayor la posibilidad de que ocurran enfermedades que afecten a moluscos filtradores y a peces. Además, en todo intento de nuevas introducciones con propósitos acuícolas será necesario tomar en consideración los mencionados factores a la hora de hacer una evaluación inicial de riesgos encaminada a adoptar decisiones.

En el ámbito del desarrollo de la acuicultura mundial hay tres grupos principales de especies que han sido translocadas por todas las regiones geográficas y han llegado a jugar un papel importante en la producción: entre éstas están los salmónidos en las aguas templadas frescas y las tilapias en las aguas templadas tropicales. Ambas suponen en la actualidad una producción de más de un millón de toneladas que se realiza en zonas fuera del ámbito de distribución nativo de dichas especies. A éstas sigue muy de cerca el camarón patiblanco *Penaeus vannamei*. Las tres están entre las especies exóticas más importantes y podrían sufrir las repercusiones del cambio climático. En las regiones templadas, el recalentamiento estrechará el ámbito de distribución de los salmones cultivados, mientras que el efecto opuesto podrá darse para la tilapia y el camarón. En este último caso, la distribución se podría extender hacia gran parte de las zonas subtropicales, donde en el presente el período de cultivo se limita a un único ciclo de crecimiento al año y el grueso de los reproductores es mantenido en condiciones de invernadero.

Las repercusiones del cambio climático en el descoloramiento de los corales y la pérdida de biodiversidad conexas son fenómenos abundantemente documentados y adecuadamente entendidos. El decaimiento de los arrecifes debido al descoloramiento, a la debilitación de los esqueletos y al escaso proceso de acumulación de corales alcanzará, según se calcula, el 60 por ciento para el año 2030 (Hughes *et al.*, 2003). De acuerdo con estos autores, los factores de destrucción de los arrecifes no son los mismos que los que la impulsaban en épocas anteriores, y se deben sobre todo a elementos vinculados al cambio climático. No es evidente en este momento cuál pueda ser la pertinencia de la pérdida de los arrecifes de coral y la biodiversidad para la acuicultura. De todas maneras, una de las causas principales del deterioro de los arrecifes –es decir, los métodos de pesca destructivos (McManus, Reyes y Nanola, 1997; Mous *et al.*, 2000) cuyo propósito es abastecer peces vivos a los restaurantes de lujo (Pawiro, 2005; Scales, Balmford y Manica, 2007)– está menguando. Este declive se debe a la sustitución de esos peces con suministros provenientes de la acuicultura, en especial los meros. Es posible que el pescado de los arrecifes de coral termine siendo reemplazado por completo por el producto que procede de la acuicultura; y con ello se habría eliminado una de las causas de la destrucción de los corales y se contribuiría a la conservación de estos hábitats críticos y asimismo a la protección de la biodiversidad.

Los episodios de fuga de individuos contenidos en las instalaciones acuícolas hacia el medio silvestre pueden aumentar debido a los fenómenos meteorológicos extremos tales como ciclones tropicales o marejadas ciclónicas. Se ha discutido acerca de las repercusiones causadas por las especies exóticas en la biodiversidad local, pero no de las repercusiones de la acuicultura en las especies nativas. A menudo, la estructura genética de las poblaciones acuícolas ha sufrido alteraciones debidas a la cría selectiva, a las prácticas de selección, a la deriva y adaptación genética de individuos que viven en cautividad al ambiente y en algunos casos a la endogamia severa (véase p. ej. Eknath y Doyle, 1990).

Las alteraciones de la estructura genética de las poblaciones podrían repercutir potencialmente en el patrimonio génico de las contrapartes silvestres de las especies cultivadas a través de interacciones genéticas entre individuos que han escapado e individuos silvestres. Sin embargo, como lo ha expresado Rungruangsak-Torrissen (2002), los individuos fugados sanos no genéticamente manipulados no deberían representar una amenaza para las poblaciones de salmón silvestre. Esta opinión es diametralmente opuesta a la de otros autores (p. ej. Jonsson y Jonsson, 2006) y denota la complejidad del problema.

La falta de acuerdo, tanto en el campo científico como en otros dominios, no es razón para manifestar una actitud complaciente. Un problema similar se está abordando con algunas especies acuícolas nuevas tales como el bacalao (Jørstad *et al.*, 2008). Thorstad *et al.* (2008) han analizado tanto los efectos causados por los individuos fugados nativos de salmón del Atlántico (p. ej., en Noruega) como los del salmón exótico (p. ej., en Chile) y no dudan en afirmar que cualquiera que sea la especie cultivada o sus antecedentes genéticos, las medidas preventivas y de mitigación para controlar las fugas deben adoptarse en todos los casos.

Además de causar alteraciones genéticas, se piensa que los individuos fugados del medio acuícola son responsables del aumento de las infecciones parasitarias de las poblaciones silvestres, por ejemplo, en el salmón en aguas costeras del Canadá (Krkošek *et al.*, 2007; Rosenberg, 2008), entre otros. Las fugas masivas de las instalaciones acuícolas causadas por los fenómenos meteorológicos extremos –muy distintas de las fugas de unos pocos individuos que tienen lugar normalmente a lo largo del tiempo– podrían influir en la estructura genética de las poblaciones nativas y perjudicarlas a largo plazo. Quizá sea necesario al diseñar las instalaciones para zonas vulnerables a los fenómenos climáticos inusuales tomar medidas especiales para contener los escapes masivos.

## 5.5 Repercusiones sociales del cambio climático en la acuicultura

Las repercusiones sociales del cambio climático en la pesca de captura, comparadas con las repercusiones sociales en la acuicultura, han sido objeto de mucha mayor atención (véase p. ej., Allison *et al.*, 2005). Este análisis se concentra en las comunidades pesqueras vulnerables pobres. En esencia, las repercusiones sociales potenciales sobre las pesquerías son múltiples y estriban en:

- la disminución de las ganancias de los pescadores debido a la reducción de las capturas y abundancia de las poblaciones (Luam Kong, 2002; Mahon, 2002);
- los cambios en las rutas migratorias y en la biogeografía de las poblaciones y su efecto en el esfuerzo pesquero; sirva como ejemplo la dilatación de los tiempos de viaje hacia los bancos pesqueros (Dalton, 2001; Mahon, 2002);
- los cambios en la tecnología de cosecha y en los costos de elaboración resultantes de la necesidad de capturar especies nuevas (Broad, Pfaff y Glantz, 1999);
- los daños al capital físico ocasionados por los fenómenos meteorológicos severos (Jallow, Barrow y Leatherman, 1996);
- las repercusiones en las cadenas y sistemas de transporte y mercadeo (Catto, 2004);

- la reducción del capital humano derivada de los efectos de los fenómenos meteorológicos severos, el aumento de las mareas rojas y el concomitante envenenamiento de los crustáceos (Patz, 2000).

Algunos de los factores mencionados, por ejemplo los daños al capital físico o las repercusiones en los sistemas y canales de transporte y de mercadeo, tendrán con toda probabilidad algunos efectos en la acuicultura. Si se considera que la mayor parte de las empresas acuícolas en zonas tropicales y subtropicales son empresas pequeñas, a menudo de propiedad o gestionadas por los mismos acuicultores, pero agrupadas (véase el Recuadro 6) en zonas favorables para la acuicultura, los perjuicios que resultan de los fenómenos meteorológicos extremos repercutirán en los medios de vida propios de esas agrupaciones y afectarán potencialmente a muchos hogares pobres.

Estas comunidades agrícolas están entre las más vulnerables del sector de la acuicultura y las posibilidades de reducir su fragilidad son relativamente limitadas. Como medida de adaptación para permitir a este conjunto recuperar sus medios de vida será necesario implantar un plan de seguros colectivo, lo cual requerirá cambios en las políticas y apoyo por parte del gobierno.

Por el impulso que recibe de precios altos de los productos básicos y mayores márgenes de beneficios, el cultivo de peces es el subsector de la acuicultura que registra hoy en las zonas tropicales el más rápido índice de crecimiento; las técnicas de reproducción mejoradas fortalecen asimismo la expansión de las actividades de este subsector. En los trópicos, estas actividades se desarrollan casi siempre en bahías costeras encerradas y consisten en agrupaciones de pequeñas propiedades potencialmente vulnerables a los acontecimientos climáticos tales como tempestades marinas y marejadas. Estas comunidades acuícolas son muy vulnerables a los fenómenos meteorológicos adversos. Cabe tener presente que, al menos en Asia, este sector recurre sobre todo a los servicios de pescadores en pequeña escala que suministran morralla o pez de bajo valor para la alimentación de las existencias cultivadas. Una situación de mayor vulnerabilidad de estos proveedores podría repercutir en las empresas comunitarias que cultivan peces, que frecuentemente son negocios familiares. Ciertamente, ambos grupos serán muy vulnerables a los efectos del cambio climático, y las alteraciones potenciales serán padecidas mayormente por los pescadores artesanales, quienes estarán obligados a encontrar medios de vida alternativos, mientras que los cultivadores de peces podrán optar por alimentar a sus poblaciones con piensos comerciales, si esto les resultase económicamente factible.

#### RECUADRO 6

En la mayor parte de las regiones tropicales y subtropicales de Asia, donde se desarrolla el grueso de las actividades de acuicultura costera y continental, las pequeñas explotaciones individuales suelen estar agrupadas en las zonas más propicias para la acuicultura. Los fenómenos meteorológicos inusuales originados por el cambio climático podrían tener consecuencias adversas en estas agrupaciones y en los medios de vida de sus componentes. En las fotos, actividades de gran densidad de piscicultura marina en jaulas en la bahía de Xin Cuin, condado de Ling Shui (China); cultivo de algas marinas en pequeña escala en Sulawesi (Indonesia), y piscicultura continental en jaulas en el embalse de Cirata (Indonesia).



Se ha señalado más arriba que la subida del nivel del mar, el estrés hídrico y los fenómenos climáticos extremos podrían influir mucho en las regiones de delta, y no se descarta que las actividades agrícolas terrestres deban ser abandonadas y sustituidas por la acuicultura como medio de vida alternativo. Estos cambios entrañan grandes trastornos sociales en lo que respecta a los estilos de vida que harán necesario instaurar medidas de adaptación cuidadosamente planeadas. Inicialmente será necesario proporcionar asistencia en materia de creación de capacidades para que el cambio en las formas de subsistencia sea eficaz. Existen ejemplos que ilustran cómo se pasa de la agricultura a la acuicultura para asegurar los medios de vida; al respecto cabe mencionar las experiencias de comunidades que han debido desplazarse a causa de la construcción de diques de contención. Se ha informado de algunos casos en que los titulares han mejorado su situación socioeconómica tras la adopción de la acuicultura (Pradhan, 1987; Abery *et al.*, 2005; Wagle *et al.*, 2007).

Podrían registrarse repercusiones sociales negativas indirectas en el vecino sector de la elaboración acuícola que produce productos de valor relativamente bajo y que accede fácilmente a las instalaciones de cultivo. Sin embargo, con la subida del nivel del mar y la consiguiente infiltración de aguas salinas (véase la Sección 5.3.2.2) podría ser necesario trasladar las instalaciones de cultivo a zonas aguas arriba, y quizá las plantas elaboradoras se verían motivadas para seguir el ejemplo. Esto se traduciría en pérdidas de oportunidades de empleo para algunas comunidades y en ganancias para otras y crearía, al menos temporalmente, problemas sociales y una retirada de capitales. Otro factor indirecto es que algunos de los mecanismos de adaptación que han sido desarrollados a nivel mundial para combatir las emisiones de carbono y por lo tanto el cambio climático podrían ocasionar una vulnerabilidad mayor en el sector de la acuicultura.

Uno de los grandes cambios sociales e industriales que se registra en el mundo entero es la importancia cada vez mayor que se da a la producción de biocombustibles y la presión de grupos que abogan por que las materias primas que se usan para la producción de piensos acuícolas –harina y aceite de pescado– se destinen directamente a la alimentación humana (Naylor *et al.*, 1998; 2000; Aldhous, 2004). Estas tendencias afectarán a la acuicultura ya que los ingredientes esenciales de los piensos serán siempre más escasos y caros; y por consiguiente el cultivo de peces carnívoros y camarones se volverá una empresa casi prohibitiva.

Algunos grupos de presión sostienen que en un mundo que está tomando conciencia de los procesos que determinan las emisiones de carbono, incluidas las que derivan de la producción de alimentos, la acuicultura constituye una actividad que carece de sostenibilidad ecológica. Hace dos décadas, los consumidores no ponían mucha atención a la calidad, el eco-etiquetado y la trazabilidad, pero ahora estos asuntos han adquirido trascendencia en la comercialización, sobre todo en el mundo desarrollado.

Se ha hecho notar que algunos productos cultivados son energéticamente costosos, pero obtienen un precio al consumo alto que los sitúa en la escala superior de los mercados. Es posible que en el futuro próximo los consumidores exijan un etiquetado que declare las emisiones de carbono producidas, y que el eco-etiquetado conduzca gradualmente al descenso de la demanda de productos energéticamente costosos como el camarón y el salmón. Este escenario no es irreal y podrían observarse repercusiones socioeconómicas significativas en los países productores y en el extremo alto del mercado de la producción y elaboración de productos de la acuicultura, que se dirige a un público selecto. Por el lado positivo, en cambio, podría darse un regreso, en particular en el caso del camarón, a especies nativas tales como el camarón tigre (*Penaeus monodon*) que se cultivarían con arreglo prácticas de ordenación mejoradas con menor costo de energía (véase la Tabla 11).

El aumento de la incidencia en la acuicultura de enfermedades debidas al cambio climático tendrá grandes impactos sociales en los pequeños productores y en otros

trabajadores del sector. En la actualidad esta situación se observa en industria del cultivo del salmón en Chile, que ha sido muy afectada por el virus de la anemia infecciosa del salmón (ISA)<sup>8</sup>, aunque la enfermedad no ha sido relacionada hasta ahora con el cambio climático. A causa de la enfermedad, el desempleo ha aumentado drásticamente en todos los niveles de esta industria, desde los trabajadores hasta el sector de los servicios, con fuertes repercusiones en la economía local.

## 6. REPERCUSIONES POTENCIALES DE LA ACUICULTURA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

A escala mundial, y en comparación con la zootecnia, la acuicultura ha constituido solo en época relativamente reciente una fuente importante de alimentos para la cesta alimentaria humana. A lo largo de las últimas dos décadas, el sector ha crecido mucho. Esto lo ha convertido en la industria de producción primaria de más rápida expansión (FAO, 2007). Su florecimiento tuvo lugar en un período en que el mundo se volvía más consciente y manifestaba preocupaciones acerca de la sostenibilidad, uso de los recursos primarios y problemas asociados relativos a la degradación ambiental. La sostenibilidad, la biodiversidad y la conservación pasaron a formar parte integrante de todos los esfuerzos de desarrollo tras la publicación del Informe Brundtland *Nuestro futuro común*, en 1987 (PNUMA, 1987), y las iniciativas mundiales de seguimiento tales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) (1994).

En este escenario mundial de aumentar la conciencia y vigilancia pública, el sector ha sido puesto en tela de juicio desde muchos frentes. Principalmente se ha cuestionado el uso de la harina y aceite de pescado obtenidos mediante la transformación de materias primas supuestamente apropiadas para el consumo humano directo (Naylor *et al.*, 1998; 2000; Aldhous, 2004). Otro tema litigioso ha sido la tala de manglares que se practicó durante la época del auge del cultivo del camarón (Primavera, 19989; 2005). Es cierto que en el pasado la tala de manglares –hoy abandonada– representaba un grave problema relacionado con la camaronicultura. De hecho, se ha estimado que las pérdidas de manglares debidas al cultivo de camarón son inferiores al 5 por ciento y que las mayores pérdidas son las causadas por la presión ejercida por la población y por la tala destinada a abrir espacios para la agricultura, la construcción de urbanizaciones, la explotación maderera y la producción de combustible (GPA, 2008).

Un argumento opuesto es que las contribuciones positivas de la acuicultura pueden no haber sido cuantificadas en su totalidad porque no se han tomado en consideración los beneficios no relacionados con la cesta alimentaria humana. Se ha ignorado las influencias positivas derivadas de la acuicultura respecto a asuntos como el cambio climático, mientras que es preciso que la sociedad en su conjunto admita que toda producción de alimentos conlleva algunos costos ambientales que se deben comparar de manera ecuánime (Bartley *et al.*, 2007). Por lo tanto, a continuación se intentará describir los aportes positivos de la acuicultura al problema mundial del cambio climático.

### 6.1 Comparación de las emisiones de carbono y la contribución a los gases de efecto invernadero derivadas de la zootecnia y la acuicultura

Las emisiones de carbono de origen antropogénico, es decir los gases de efecto invernadero, cualquiera sea su forma, son una de las causas del cambio climático (Brook, Sowers y Orchardo, 1996; Flattery, 2005; Friedlingstein y Solomon, 2005; IPCC, 2007), y todas las medidas de mitigación giran en torno a la reducción de tales emisiones. Resulta entonces pertinente considerar hasta qué punto los distintos sectores de la producción de alimentos de origen animal contribuyen a las emisiones de carbono a fin de evaluar el aporte de la acuicultura a esta causa primaria. Se admite que no es

<sup>8</sup> [www.salmonchile.cl/frontend/seccion.asp?contid=1109&secid=4&subsecid=61&pag=1](http://www.salmonchile.cl/frontend/seccion.asp?contid=1109&secid=4&subsecid=61&pag=1)

fácil y que es incluso imposible realizar estimaciones precisas o siquiera aproximadas de las emisiones totales producidas por cada uno de los sectores. Sin embargo, aun aproximadas, las estimaciones reflejan el papel indirecto jugado por la acuicultura a este respecto.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ha reconocido 14 fuentes principales de emisiones de metano en los Estados Unidos de América, y clasificó la fermentación entérica y el manejo del estiércol producidos por el sector de la zootecnia como la tercera y quinta mayores fuentes de emisión, respectivamente. Las emisiones procedentes de estas dos fuentes de producción de alimentos de origen animal fueron de 117,9 y 114,8, y 31,2 y 39,8 TgCO<sub>2</sub> Equivalentes en los años 1990 y 2002, respectivamente<sup>9</sup>. Por efecto de la fermentación microbiana (o fermentación entérica), el proceso de ruminación del ganado domesticado –es decir de los rumiantes (vacunos, búfalos, ovejas, cabras, etc.)– genera grandes cantidades de metano en el curso normal de la digestión de alimento. Este metano es descargado hacia la atmósfera. Asimismo, los desechos sólidos (estiércol) producidos por los animales necesitan ser manejados, y este proceso da origen a grandes cantidades de metano. Los niveles de metano atmosférico han pasado de 715 ppb<sup>10</sup> a 1 775 ppb en el período desde la revolución preindustrial a la actualidad. Tendencias comparables se han registrado en los núcleos de hielo en Groenlandia (Brook, Sowers y Orchardo, 1996). Se ha indicado que el ganado mundial es responsable del 18 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero, cantidad superior a las emisiones producidas por todos los tipos de transporte sumados, y estas emisiones provienen en su mayoría de los 1 500 millones de cabezas de ganado (Lean, 2006). En conjunto, se estima que el sector ganadero produce el 37 por ciento de todas las emisiones de metano inducidas por el hombre. Se calcula que el potencial de calentamiento global del metano es 23 veces superior al del dióxido de carbono.

Los organismos acuáticos cultivados no emiten metano y por lo tanto no contribuyen directamente a los factores que causan estas emisiones. Es sorprendente, y desafortunado, que este hecho no haya sido tomado en cuenta, en especial por aquellos que aseveran que la acuicultura es una actividad contaminante y no sostenible (véase p. ej. Allsopp, Johnston y Santillo, 2008).

La demanda mundial de alimentos de origen animal ha aumentado impulsada por el aumento de los ingresos y la urbanización, en particular en el mundo en desarrollo. Se estima que en el mundo en desarrollo el consumo cárnico per cápita pasó de 15 kg en 1982 a 28 kg en 2002, esperándose que alcance 37 kg en 2030 (FAO, 2003). En los países en desarrollo, el aumento de la demanda de productos alimentarios de origen animal se ha traducido en un ritmo de producción acelerado, y en 1995 su producción superaba la del mundo desarrollado (Gerber *et al.*, 2007). Cualquier análisis debe considerar las necesidades alimentarias humanas y la contribución porcentual de cada uno de los sectores productores de alimentos a las emisiones de gases de efecto invernadero.

### 6.1.1 Captura de carbono

Una de las causas principales, si no la causa principal del cambio climático es, independientemente de la fuente o fuentes de emisión, la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Brook, Sowers y Orchardo, 1996; Flattery, 2005; Friedlingstein y Solomon, 2005; Kerr, 2006; IPCC, 2007). La absorción de carbono es el proceso mediante el cual las actividades agrícolas y forestales retiran el dióxido de carbono atmosférico. Se considera que la forestación, la reforestación y la conservación forestal son prácticas que favorecen la absorción y/o la conservación del carbono y que

<sup>9</sup> [www.epa.gov/methane/sources.html#anthropogenic](http://www.epa.gov/methane/sources.html#anthropogenic)

<sup>10</sup> ppb= (parts-per-billion, 10<sup>-9</sup>)

todas ellas ayudan a aliviar el cambio climático cuando el almacenamiento de carbono se intensifica (Lal, 2004; Miller, 2008)<sup>11</sup>.

#### 6.1.1.1 Métodos utilizados para determinar los costos energéticos

Para calcular la absorción de carbono se pueden usar diversos métodos, tanto directos como indirectos. Una medida indirecta consiste en estimar los costos energéticos relativos a la producción de un producto, o «costos ambientales» de una entidad o producto. Entre los métodos están por ejemplo la «huella ecológica» y el «eco-indicador 99». Se reconoce que los métodos utilizados no son de ninguna manera perfectos y que es necesario estandarizarlos para llegar a resultados comparables significativos (Bartley *et al.*, 2007). Recientemente, Huijbregts *et al.* (2007) trataron de comparar el uso de ambos métodos para evaluar 2 360 productos y servicios, incluida la agricultura. Los autores concluyeron que la utilidad de la huella ecológica como indicador independiente del impacto ambiental es limitada en lo que respecta al ciclo vital de algunos productos, y que el uso de la tierra y de los combustibles fósiles son importantes motores de los impactos ambientales generales.

#### 6.1.1.2 Costos comparativos de la energía en la acuicultura y de otros tipos de alimentos

Pese a las incertidumbres relativas a la evaluación de los costos ecológicos de los procesos productivos, se han realizado muchos estudios sobre los costos energéticos que acarrea la cría de animales (Bartley *et al.*, 2007). Por ejemplo, en las Tablas 9 y 10, respectivamente, se ofrece una comparación entre los costos energéticos relativos a algunos productos de acuicultura y a algunos animales cultivados seleccionados, y una clasificación de los alimentos según su contenido energético en proteínas comestibles y los insumos energéticos industriales. Resulta patente la discrepancia en los datos aportados por diferentes autores para un mismo producto, y ello plantea nuevamente la necesidad de estandarizar las técnicas y unidades para facilitar las comparaciones directas (Bartley *et al.*, 2007; Huijbregts *et al.*, 2007; Tyedmers y Pelletier, 2007).

TABLA 9  
Energía utilizada en diferentes sistemas de cultivo

Sistema	Consumo de energía industrial			Unidades
	Energía directa	Energía indirecta	Total	
Cultivo semi-intensivo de camarones <sup>®</sup>	55	114	169	GJ t <sup>-1</sup>
Camarón tailandés <sup>‡</sup>	na	na	45,6	MJ kg <sup>-1</sup>
Camarón marino	54,2	102,5	156,8	MJ kg <sup>-1</sup>
Cultivo de salmón en jaulas <sup>§</sup>	9	99	105	GJ t <sup>-1</sup>
Cultivo intensivo de salmón en jaulas <sup>®</sup>	na	na	56	GJ t <sup>-1</sup>
Salmón <sup>§</sup>	11,9	87	99	MJ kg <sup>-1</sup>
Salmón noruego cultivado <sup>#</sup>	na	na	66	MJ kg <sup>-1</sup>
Estanques de truchas <sup>®</sup>	na	na	28	GJ t <sup>-1</sup>
Cultivo de mero/róbalo en jaulas <sup>®</sup>	na	na	95	GJ t <sup>-1</sup>
Carpas, reciclado intensivo <sup>®</sup>	na	na	56	GJ t <sup>-1</sup>
Carpas, sistemas de recirculación <sup>§</sup>	22	50	50	MJ kg <sup>-1</sup>
Estanques de carpas, vertido de alimentos y fertilizante <sup>®</sup>	na	na	11	GJ t <sup>-1</sup>
Cultivo semi-intensivo de carpas <sup>§</sup>	26	01	27	
Estanques de bagres <sup>®</sup>	na	na	25	GJ t <sup>-1</sup>
Bagre <sup>§</sup>	5,4	108	114	MJ kg <sup>-1</sup>
Tilapia <sup>§</sup>	0	24	24	MJ kg <sup>-1</sup>
Pollos noruegos <sup>#</sup>	na	na	55	MJ kg <sup>-1</sup>
Carne de vaca sueca <sup>#</sup>	na	na	33	MJ kg <sup>-1</sup>

Datos tomados de: <sup>®</sup>- Bunting y Pretty, 2007; <sup>#</sup>- Munkung y Gheewala, 2007; <sup>§</sup>- Troell *et al.*, 2004. n.d. = no disponible.

<sup>11</sup> [www.epa.gov/sequestration/forestry.html](http://www.epa.gov/sequestration/forestry.html)

TABLA 10

**Clasificación de alimentos seleccionados según la razón rendimiento de energía proteínica comestible (EP)-insumos de energía industrial (EI), expresada en porcentaje**

Tipo de alimento, comprendida la tecnología, el medio ambiente y la localidad	%EP/EI
Carpa, cultivo extensivo, agua dulce, varios tipos	100-111
Algas marinas, maricultura, Caribe	50-25
Pollos, cría intensiva, Estados Unidos de América	25
Tilapia, cultivo intensivo, estanques de agua dulce, Indonesia	13
Mejillones, líneas marinas largas, Escandinavia	10-5
Tilapia, agua dulce, Zimbabue	6,0
Carne de vaca, pasturas, Estados Unidos de América	5,0
Carne de vaca, parcelas de engorde, Estados Unidos de América	2,5
Salmón atlántico, cultivo intensivo, jaulas marinas, Canadá	2,5
Camarón, cultivo semi-intensivo, Colombia	2,0
Cordero, Estados Unidos de América	1,8
Róbalo, cultivo intensivo en jaulas marinas, Tailandia	1,5
Camarón, cultivo intensivo, Tailandia	1,4

Fuente: Tyedmers y Pelletier, 2007. Se ruega al lector remitirse a estos autores para obtener las referencias originales.

A pesar de las discrepancias, se evidencian algunas tendencias generales. En lo que respecta a la acuicultura, el costo energético total del cultivo de camarones y peces carnívoros tales como el salmón es relativamente alto y el rendimiento proteínico es más bien bajo en comparación con los insumos de energía. De hecho, el rendimiento proteínico porcentual referido a los insumos de energía por unidad de peso de camarón y salmón producida es incluso más bajo que para el pollo, el cordero y la carne de vaca (Tabla 10). Por otra parte, el salmón y los peces marinos proveen otros elementos nutricionales importantes para la salud humana que es preciso tener en cuenta en este tipo de comparaciones.

Análogamente, los beneficios relativos derivados del cultivo de peces omnívoros y otros productos tales como el mejillón y las algas marinas son mucho más altos que los generados por el cultivo de peces carnívoros y/u otros animales de ganadería. Es obvio que el cultivo de carpas, un grupo de especies omnívoras que se alimenta en los eslabones bajos de la cadena trófica, es rentable en términos de energía; este hecho también fue patente en los anteriores análisis del uso de harina y aceite de pescado en la acuicultura (Sección 5.4.1). El cultivo de la carpa produce rendimientos proteínicos un 100 por ciento superiores respecto a los insumos energéticos (Tabla 10), un valor no igualado por ningún otro sistema de cultivo. Es hora de que el sector produzca modelos cuantitativos sobre estos aspectos para facilitar el avance mundial de la acuicultura en un contexto de materias tan urgentes como el cambio climático. Estos análisis son muy pertinentes para los países en desarrollo porque en ellos se realiza el grueso de las actividades acuícolas, las cuales suponen no solo medios de vida sino que contribuyen significativamente al ingreso de divisas de los países.

## 6.2 Estimación de la contribución potencial de la acuicultura al cambio climático

Es preciso aceptar que todas las formas de cultivo suponen algún costo energético, y la acuicultura no constituye una excepción. Este hecho debe ser ponderado frente a otros factores, por ejemplo que, a diferencia de la agricultura terrestre y la cría de animales, existen, en el sector de la acuicultura, potencialmente más de 300 especies entre las que es posible elegir (FAO, 2007). En muchos casos, las prácticas que se habrán de adoptar estarán determinadas por las fuerzas de mercado.

Son buenos ejemplos en este sentido la acuicultura del camarón, de los salmónidos y de los peces marinos. Estos últimos han registrado una importante fase de crecimiento gradual a raíz de una demanda de mercado que tiene por objeto especies como los meros, los pargos y los lábridos, todas en declive en las pesquerías de captura. El



TABLA 11

**Resultados de la evaluación de impactos en el ciclo biológico del camarón tigre en bloque y del camarón patiblanco del Pacífico (cpP) congelado rápido individual (CRI)**

Categoría de impacto	Unidad	Bloque (de 1,8 kg) de camarón tigre <sup>a</sup>	4 bolsas (de 453 g) de cpP CRI <sup>b</sup>
Potencial de agotamiento abiótico (PAA)	kg Sb eq*	0,32	0,19
Potencial de recalentamiento mundial (PRM100)	kg CO <sub>2</sub> eq	19,80	27,31
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1,79	3,04
Eco-toxicidad acuática del agua dulce	kg 1,4-DB eq	0,25	0,41
Eco-toxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	1660,00	2071,00
Eco-toxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,02	0,02
Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq	0,07	0,14
Eutrofización	kg PO <sub>4</sub> eq	0,22	0,19

\* Equivalentes de extracción de antimonio (agotamiento); \*\* kg, 1,4-equivalentes de emisiones de diclorobenceno (1,4-DB)/kg como unidades de toxicidad normalizadas.

Fuentes: #- Mungkung, 2005; @- Mungkung et al., 2007

aumento de la demanda de mercado de estas especies de alto valor responde también a factores análogos a los que se han traducido en el incremento del consumo de carne en los países en desarrollo.

El costo medioambiental de la acuicultura del camarón es el más alto, entre todos los productos del sector. Esta acuicultura es muy importante económicamente en varias regiones tropicales de Asia y América del Sur. Puesto que requiere aeración constante e intercambio de agua, el cultivo del camarón consume por lo general, en comparación con los demás productos cultivados, una abundante cantidad de energía. Además, el camarón cultivado se destina sobre todo a los mercados de exportación y por tanto necesita un alto nivel de elaboración, lo que supone costos energéticos relativamente elevados. En publicaciones recientes sobre evaluaciones del ciclo biológico relacionadas con la producción del camarón patiblanco del Pacífico, *Penaeus vannamei*, congelado rápido individual (Mungkung, 2005; Mungkung et al., 2007; Mungkung y Gheewala, 2007) (Tabla 11) revelaron que el cultivo del camarón tigre, *P. monodon*, en Asia es con mucho más rentable ecológicamente que el de la especie exótica *P. vannamei*. En todos los aspectos ecológicos y desde el punto de vista de la contribución al recalentamiento mundial, el cultivo de *P. monodon* es más ventajoso. Estos aspectos deben ser tomados en consideración en los debates sobre la introducción de especies exóticas, tal como el reciente debate sobre el cultivo del camarón asiático en Asia (De Silva et al., 2006). Quizá haya llegado la hora para que como medida de adaptación al cambio climático se considere la acuicultura no solo a la luz de las ganancias económicas futuras directas (que a menudo tienden a ser de corto plazo) sino también en cuanto a su contribución a los factores que repercuten en el cambio climático visto como un todo. Un buen ejemplo es la introducción de *P. vannamei*, una especie de alto rendimiento que, a diferencia de la nativa *P. monodon*, arroja beneficios económicos rápidos (Wyban, 2007).

La mayor parte de la producción de acuicultura se orienta a productos que, desde una perspectiva ambiental, son relativamente más rentables que el camarón (Tabla 12). El Recuadro muestra que en general el crecimiento mundial de la acuicultura de peces ha tendido hacia organismos que se alimentan en los eslabones bajos de la cadena trófica y para cuya producción, desde un punto de vista ecológico, se consume menos energía. Por consiguiente, el aumento de las emisiones de carbono derivadas de la acuicultura de peces son mínimas, y menores que las que genera la producción de la mayor parte de los demás productos básicos alimentarios.

Además, la acuicultura de moluscos y el cultivo de algas marinas –que está en vías de expansión (véanse también las Figuras 10 y 12)–, en particular en las regiones tropicales, contribuyen significativamente a la absorción de carbono. Es más, a causa del rápido ciclo de rotación de los cultivos de algas marinas –aproximadamente de tres meses por

TABLA 12

**Producción, en 1995 y 2005, de peces cultivados (x 103 toneladas) que se alimentan en los eslabones bajos de la cadena trófica, y el crecimiento general durante el período de diez años**

Especies	1995	2005	Crecimiento %
Carpa plateada	2 584	4 153	60,7
Carpa herbívora	2 118	3 905	84,4
Carpa común	1 827	3 044	66,6
Carpa cabezona	1 257	2 209	75,7
Carpín	538	2 086	287,7
Tilapia del Nilo	520	1 703	227,5
Labeo rohu	542	1 196	120,7
Catla	448	1 236	175,9
Mrigal	330	421	21,6
Carpa negra	104	325	212,5
Total	10 359	20 187	94,9
Otros peces de agua dulce (nei)	2 581	5 591	116,6
Total (agua dulce)	12 940	25 778	99,2
Todos los peces	15 616	31 586	102,2

cosecha (en las zonas tropicales), con rendimientos que superan las 2 500 toneladas por hectárea– se excede ampliamente el índice de absorción potencial de carbono obtenible mediante otras actividades agrícolas para una superficie comparable. El cultivo del camarón y de peces carnívoros son las actividades acuícolas que más consumen energía, y han servido como argumento para las críticas dirigidas a todo el sector por los grupos de presión ambientalistas. Éstas son en gran parte injustas porque se basan en solo dos productos que representan menos del 10 por ciento de la producción acuícola mundial.

## 7. OTRAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

En las secciones anteriores se examinaron sobre todo desde un punto de vista técnico las medidas plausibles de adaptación para combatir o mitigar las repercusiones del cambio climático en la acuicultura, incluidos los aspectos sociales conexos. Se ha demostrado últimamente que los logros en el campo de la acuicultura debían casi siempre complementarse con cambios o procedimientos de adaptación relevantes de tipo institucional, normativo o de planificación (De Silva y Davy, en prensa), y se esperaba que, para ser efectivos y sostenibles, los procedimientos de adaptación a las repercusiones del cambio climático sigan ese ejemplo.

### 7.1 Medidas institucionales, normativas y de planificación

En lo que respecta a las medidas institucionales y normativas, las siguientes son áreas prioritarias para el desarrollo del sector:

- adoptar un enfoque ecosistémico de la acuicultura (EEA) como estrategia mundial;
- dar prioridad y potenciar la maricultura y en especial la acuicultura sin piensos (organismos filtradores, algas);
- potenciar el uso de cuerpos de agua continentales apropiados mediante pesquerías basadas en el cultivo y prácticas idóneas de desarrollo de poblaciones.

El propósito del EEA consiste en integrar la acuicultura con el ecosistema ampliado de tal manera que se consiga promover la sostenibilidad de los sistemas sociales y ecológicos entrelazados (SOFIA, 2006; Soto *et al.*, 2008).

Como sucede con cualquier enfoque sistémico de gestión, el EEA abarca todo el abanico de partes interesadas, esferas de influencia y otros procesos entrelazados. En el caso de la acuicultura, la aplicación del enfoque basado en el ecosistema supone que, al planificar el desarrollo comunitario, se abarquen los sistemas físico, ecológico, social y económico y se tomen en cuenta las aptitudes y experiencias de las partes interesadas, dentro del contexto social, económico y ambiental extendido de la acuicultura.

El EEA subraya la necesidad de integrar la acuicultura con otros sectores (p. ej., la

pesca, la agricultura, el desarrollo urbano) que comparten y utilizan recursos comunes (la tierra, el agua, los piensos, etc.) y de concentrarse en diferentes escalas espaciales; *i*) la granja; *ii*) la zona dedicada a la acuicultura, el cuerpo de agua o la cuenca hidrográfica donde se desarrolla la actividad, y *iii*) la dimensión mundial (Soto *et al.*, 2008).

La aplicación del EEA a escala del cuerpo de agua es quizá una de las formas de adaptación al cambio climático más pertinentes. El ámbito geográfico de actuación de las autoridades encargadas del desarrollo de la acuicultura (es decir, los lindes administrativos) suele no incluir los límites de cuencas hidrográficas, y esto representa una seria dificultad porque las medidas de prevención y adaptación relacionadas con el cambio climático necesitan de una gestión de cuencas, es decir la protección de las zonas costeras contra los deslizamientos de tierra, la sedimentación, las descargas o, simplemente, la provisión de agua para la acuicultura.

Por otra parte, la acuicultura puede proporcionar medios de adaptación a las comunidades agrícolas costeras que deben hacer frente a los efectos de la salinización debido a la subida del nivel del mar. En las regiones costeras, gracias a la maricultura se pueden crear oportunidades para producir proteínas animales cuando el agua dulce escasea. El enfoque basado en las cuencas hidrográficas precisa de cambios normativos y acciones de integración entre diferentes sectores (p. ej., el sector agrícola y la acuicultura), además del fomento de la capacidad y los requisitos en materia de infraestructuras.

Puesto que el cambio climático no reconoce fronteras políticas, las políticas de adaptación y la planificación de cuencas hidrográficas internacionales pueden representar un gran desafío. Sin embargo, las repercusiones del cambio climático, al suponer una amenaza común, pueden brindar la oportunidad de instituir una ordenación transfronteriza.

Para el sector de la acuicultura, también se necesita implantar un enfoque a escala de la cuenca hidrográfica con el objeto de diseñar métodos de adaptación conjuntos con los cuales negociar un seguro colectivo, ejecutar medidas de bioseguridad apropiadas, etc. Ejemplos de estos procedimientos, iniciados no necesariamente como medidas de adaptación para hacer frente a las repercusiones del cambio climático, existen en el sector del cultivo de camarones en la costa oriental de la India (Umesh *et al.*, en prensa). En este caso se ha comprobado que el enfoque puede aplicarse a otros sectores comparables de explotación en pequeña escala.

Se estima que el EEA representa una estrategia cada vez más apropiada que asegura la sostenibilidad, en especial en lo que respecta a una planificación consciente de las repercusiones del cambio climático. A continuación se describen otros elementos relacionados que es preciso considerar en las políticas y en la planificación.

### 7.1.1 Seguros en la acuicultura

Una medida de adaptación encaminada a limitar la quiebra de empresas acuícolas resultantes de pérdidas provocadas por fenómenos climáticos consistirá en estimular a los acuicultores a contratar seguros contra daños a las poblaciones y a la propiedad causados por los fenómenos climáticos extremos. Una cobertura de seguro adecuada garantizará por lo menos que haya fondos disponibles para que la empresa vuelva a funcionar. Los seguros acuícolas están bien implantados para los principales productos como el salmón y el camarón producidos a escala industrial, pero los seguros no suelen ser contratados por los pequeños acuicultores.

En Asia (Secretan *et al.*, 2007), donde se realiza la mayor parte de las actividades acuícolas en pequeña escala, los planes de seguros serían particularmente pertinentes; y los gobiernos deberían decretar su obligatoriedad para las empresas acuícolas que superan un determinado tamaño. A largo plazo, se reducirían así las pérdidas relacionadas con producción, los medios de vida y los potenciales daños ambientales, por ejemplo los que se asocian con la fuga de ejemplares.

### 7.1.2 Investigación y transferencia de tecnología

Es necesario llevar a cabo investigaciones específicas para adaptar las actividades acuícolas al cambio climático. Los países y regiones deberán racionalizar sus trabajos sobre temas como las nuevas enfermedades y tratamientos preventivos, la fisiología acuática animal, la búsqueda de especies nuevas mejor adaptadas, mejores piensos y prácticas de alimentación animal más acordes con el ecosistema. Los mecanismos de transferencia tecnológica deben llegar a los acuicultores, especialmente a los pequeños acuicultores. Es en este contexto que es preciso integrar en las estrategias relativas al EEA las prácticas mejoradas que se aplican en la acuicultura en pequeña escala. Algunas medidas prácticas al alcance de muchos países se describen a continuación.

#### 7.1.2.1 Aplicar las lecciones sacadas de la expansión del cultivo de especies fuera del ámbito natural de distribución de éstas

El recalentamiento mundial representa una amenaza potencial inminente y resulta evidente que es necesario evaluar las formas de adaptación para las especies cultivadas, sobre todo en las regiones templadas. Un enfoque sencillo al respecto consistiría en «aprender de la experiencia de la expansión de las especies cultivadas fuera de su ámbito originario». Gran parte de este «conocimiento adaptativo» podría ya existir en el seno del sector entre los acuicultores pioneros, y ha llegado quizá el momento de recolectar esta información en todo el mundo. Por ejemplo, hay un cuerpo de conocimientos sobre la acuicultura del salmón en zonas más allá del ámbito de distribución natural, bajo diferentes condiciones climáticas y meteorológicas y la vulnerabilidad de los individuos a enfermedades viejas y nuevas. Se pueden encontrar ejemplos similares respecto a la tilapia y el camarón patiblanco. También es posible utilizar las cepas genéticamente mejoradas que se han adaptado con mayor éxito a ciertas condiciones exóticas. Pero es necesario proceder con cuidado en lo que concierne al desplazamiento de los organismos vivos.

#### 7.1.2.2 Diversificación de la acuicultura

En muchos países y regiones, existe una clara tendencia a la diversificación de las especies cultivadas y de la tecnología (FAO, 2006). Duarte *et al.* (2007) muestran la rapidez con que se lleva a cabo la diversificación y lo que ellos llaman la «domesticación de nuevas especies destinadas a la acuicultura» y en particular a la maricultura. Según los autores, el proceso se está desarrollando mucho más rápidamente de lo que ocurrió en el caso de la zootecnia o la fitotecnia, y ello pone de relieve la importancia de los mecanismos de adaptación. La Figura 12 muestra la diversificación relativamente rápida de la acuicultura en China y España.

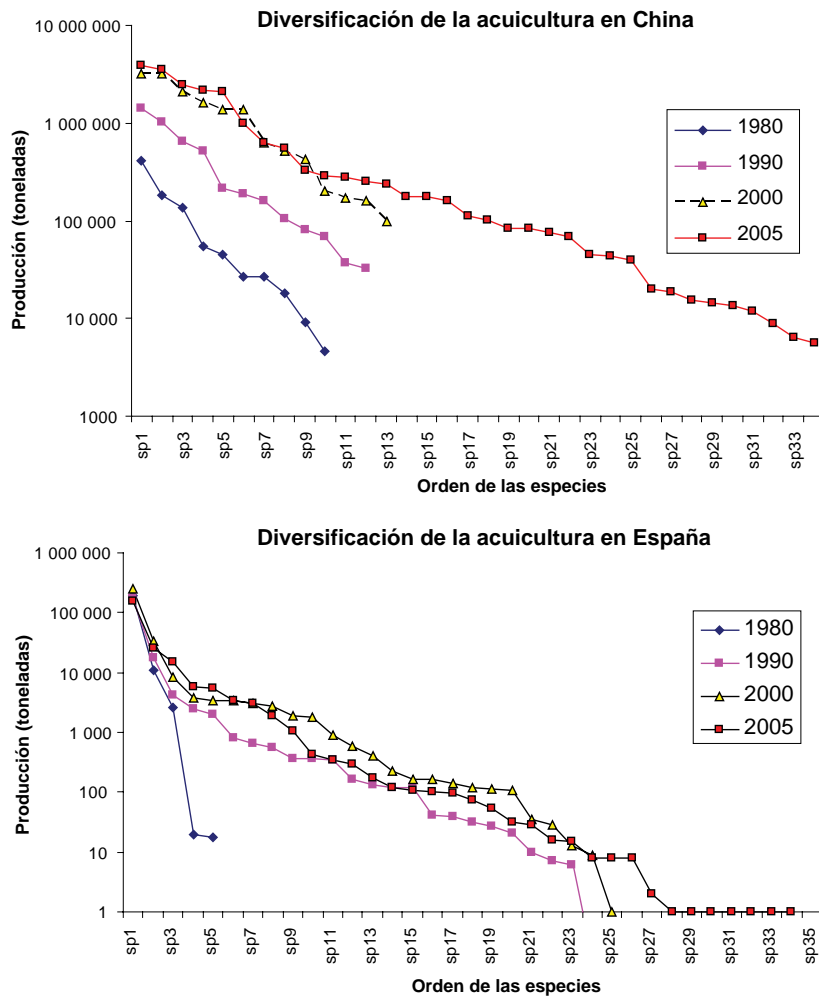
En China, se observa un salto considerable en cuanto a diversificación acuícola: se ha pasado de 13 especies cultivadas en 2000 a 34 en 2005. En términos evolutivos, se tiene entendido comúnmente que la diversidad proporciona terreno para la selección natural y para la adaptación; también se puede plantear que el cultivo de un número mayor de especies representa una forma de seguro y ofrece mejores posibilidades de adaptación bajo diferentes escenarios de cambio climático, en especial en cuanto a acontecimientos inesperados tales como enfermedades o problemas relacionados con el mercado.

La diversificación exige que los consumidores reciban educación y una información adecuada acerca de las especies y productos, y que la tecnología sea transferida de manera coordinada y eficaz a los nuevos profesionales. La promulgación de políticas nacionales y mundiales puede facilitar la diversificación de la acuicultura y al mismo tiempo reforzar las especies ya consolidadas.

La diversificación puede formar parte de un programa de seguros para el sector a nivel del país y de la región.

FIGURA 12

Diversificación de especies en China y en España según las estadísticas de la FAO. Las especies se muestran organizadas de izquierda a derecha (escalas logarítmicas en los ejes Y) de acuerdo con la producción, de tal manera que Sp1 es la especie con la producción más alta. Una pendiente acentuada indica que la producción está monopolizada por una o más especies. Esto sucede en el caso de España y China en 1980. Sin embargo, el aumento del número de especies cultivadas es destacable en 1990, y lo es más adelante en España y en 2005 en China, con 34 especies cultivadas y con una pendiente más suave de la curva en este último caso, lo que indica una producción más regular



Source: FAO FishStat, 2008.

### 7.1.3 Zonificación y seguimiento en la acuicultura

Una adecuada selección de sitios y zonificación en la acuicultura pueden ser medidas importantes de adaptación al cambio climático. Al seleccionar los sitios es esencial determinar las amenazas posibles llevando a cabo una evaluación analítica de riesgos. En particular en las zonas costeras y en las zonas más expuestas, es preciso tomar en consideración los riesgos relacionados con el clima. Por ejemplo, las granjas camaroneras que se construyan en las costas deberán ser dotadas de diques u otras estructuras protectoras. Las jaulas piscícolas deberán ser fijadas sólidamente al fondo o a una estructura de soporte. En algunos lugares de mar abierto se ha propuesto el uso de jaulas sumergibles que puedan resistir las condiciones adversas del clima.

El calentamiento del agua y la insuficiencia de oxígeno asociada, el potencial aumento de la eutrofización, etc. son factores que es posible evitar o reducir a su

mínima expresión en los lugares más profundos donde la circulación es más abundante. Sin embargo, con la exposición a condiciones extremas hay siempre algo que sacrificar. La probabilidad de difusión de enfermedades se puede limitar aumentando la distancia mínima entre las granjas e implantando programas de bioseguridad severos en los complejos o zonas dedicadas a la acuicultura.

También es muy importante operar un sistema de notificación de riesgos, pero las comunicaciones deben ser fiables y rápidas y la información transmitida exacta. A este respecto, la calidad de los sistemas de información meteorológica está mejorando en todo el mundo procurando impedir los grandes daños que puedan sufrir las infraestructuras y la biomasa.

En lo que concierne a la acuicultura, los dispositivos de prevención más importantes deben comportar un protocolo de seguimiento crítico y efectivo de los cuerpos de agua y los organismos acuáticos. Una medida de adaptación de gran trascendencia a nivel local y a escala del cuerpo de agua y de la cuenca consiste en implementar sistemas de seguimiento integrados. Estos sistemas tienen por objeto proporcionar información apropiada sobre las condiciones físicas y químicas de los ambientes acuáticos, y permiten hacer una detección temprana de la presencia de plagas y enfermedades, en especial de la proliferación de algas nocivas. A menudo, los agricultores rurales no suelen disponer de las condiciones o facilidades para aplicar ellos mismos los procedimientos de seguimiento. Sin embargo, existen algunas mediciones muy simples que sí pueden llevar a cabo, como la lectura de la temperatura del agua y la lectura de los discos Secchi. Estos últimos se usan con frecuencia para detectar anticipadamente las floraciones de algas. Para preparar y poner sobre aviso a las partes interesadas, lo ideal sería que las autoridades locales ayudaran en aplicación de los procedimientos de seguimiento integrado y sus estrategias complementarias de comunicación de riesgos y en la implementación de sistemas de alerta temprana. Algunos ejemplos interesantes son los programas de seguimiento de mareas rojas aplicados en el ámbito del cultivo de mejillones en las rías gallegas en España y los programas de seguimiento para el cultivo del salmón. El Instituto Tecnológico para el Control del Medio Marino de Galicia dispone de un programa de seguimiento permanente accesible a través de Internet que da informaciones de situaciones de emergencia y de alerta temprana sobre mareas rojas y demás condiciones del agua útiles para el cultivo de mejillones<sup>12</sup>. En Chile, la Asociación de la Industria del Salmón mantiene una base integrada de seguimiento que suministra diferentes parámetros relativos a las condiciones del agua que se recogen mediante un sistema permanente de registro de informaciones (boyas automáticas y muestreo manual). Esta información se entrega a diario a los acuicultores a través de la Web y también es difundida en regiones remotas por las radios locales<sup>13</sup>.

## 8. CONCLUSIONES

En las últimas dos o tres décadas, el sector de la acuicultura se ha establecido como uno de los principales sectores alimentarios, y ha sido capaz de satisfacer una proporción significativa de las necesidades de proteínas animales de todas las comunidades, cualesquiera sean sus respectivas condiciones de vida. Este logro se ha alcanzado pese a muchas circunstancias adversas, ante las cuales el sector ha demostrado su resiliencia y adaptabilidad. Así como sucede con todos los sectores de la producción de alimentos, el de la acuicultura enfrenta hoy otro gran desafío: el impacto del cambio climático. Es probable que en vista de su resiliencia y adaptabilidad y de la gran variedad de las especies o grupos de especies cultivadas, la acuicultura pueda responder positivamente a las repercusiones climáticas. Para que esto sea posible, debe existir una política adecuada y deben tener lugar cambios socioeconómicos que es preciso respaldar y suplementar

<sup>12</sup> [www.intecmar.org/informacion/biotoxinas/EstadoZonas/Mapas.aspx?sm=a1](http://www.intecmar.org/informacion/biotoxinas/EstadoZonas/Mapas.aspx?sm=a1)

<sup>13</sup> [www.salmonchile.cl/frontend/index.asp](http://www.salmonchile.cl/frontend/index.asp)

con avances técnicos adecuados. De preferencia, debe adoptarse un enfoque holístico y un enfoque que proceda de abajo hacia arriba, y no al contrario. Esto último es crucial ya que el grueso de las actividades acuícolas son actividades en pequeña escala; las empresas son propiedad de los acuicultores y son ellos quienes las operan y gestionan, en especial en Asia, región que es el epicentro de la acuicultura mundial. Los cambios adaptativos solo se podrán llevar a cabo eficaz y oportunamente si se incorporan los conocimientos nativos y se obtiene la cooperación de las bases.

Se piensa que a lo largo de los milenios han tenido lugar en la Tierra muchos cambios climáticos que han acarreado importantes alteraciones en la flora y la fauna. Las razones de estos cambios no siempre resultan obvias ni se aceptan universalmente. Pero se sabe que las variaciones climáticas que hoy afectan a la Tierra se deben a las actividades antropogénicas, y que comenzaron con la última revolución industrial. Los agentes causales de los cambios –y por lo tanto las medidas de mitigación que es preciso adoptar– han sido bien entendidos y examinados con gran rigor científico (IPCC, 2007).

Las necesidades humanas de alimentos y la producción de alimentos han sufrido las repercusiones del clima, y estas modificaciones serán, durante las décadas próximas, motivo de grandes preocupaciones, especialmente en los países en desarrollo. Se predice que las repercusiones del cambio climático serán particularmente negativas y sus efectos muy perjudiciales para los países pobres en desarrollo considerando el crecimiento pronosticado de la población humana a lo largo de las décadas venideras, el hecho de que la producción de alimentos no se realiza homogéneamente a través del globo, y que la consecución de la seguridad alimentaria no es pareja en los distintos lugares del mundo (Kerr, 2006).

Otras víctimas serán las especies de flora y fauna menos dotadas de la capacidad de adaptarse a los cambios climáticos; se cree que incluso con un cambio climático modesto durante las próximas décadas la producción de los cultivos comenzará a disminuir en las zonas de baja latitud (Kerr, 2006) que son las zonas donde la acuicultura es la actividad predominante. Sin embargo es alentador notar que muchas innovaciones relacionadas con la acuicultura han derivado de iniciativas llevadas a cabo por las bases y que éstas no han tardado en jugar un papel de protagonistas adaptando a sus necesidades los avances técnicos críticos. En este sentido, se espera que los pequeños acuicultores en zonas rurales estén muy atentos a las repercusiones del cambio climático y tomarán las necesarias medidas de adaptación.

En el escenario general de los sectores productores de proteínas animales, la contribución del pescado está muy por detrás de las fuentes de proteínas animales terrestres. Por ejemplo, el consumo de carne per cápita en el mundo en desarrollo ha sido mucho mayor, y ha aumentado de 15 kg en 1982 a 28 kg en 2002, esperándose que llegue a 37 kg en 2030 (Gerber *et al.*, 2007), en comparación con el consumo de pescado que era de 16,6 kg en 2005 (FAO, 2007). En cuanto a predominancia en los países, los sectores de la producción de carne y de la producción de pescado han cambiado y se han redireccionado pasando de los en desarrollo a los desarrollados (Gerber *et al.*, 2007; Delgado *et al.*, 2003). Es sabido que el consumo diario de carne ha aumentado linealmente en relación con los ingresos per cápita (Houtman, 2007), aunque para el pescado este análisis no está disponible.

La mayor diferencia entre los dos sectores es que el suministro de peces comestibles proviene aún principalmente de la pesca de captura y no del cultivo, pero el aumento futuro de la demanda será satisfecho en su mayor parte por la acuicultura (véase las Secciones 2.1 y 2.2). En el mejor de los casos, la importancia de la pesca de captura se mantendrá en su nivel actual, y es muy probable que a causa del cambio climático tienda a disminuir. Por consiguiente, la acuicultura cubrirá las lagunas de suministro y satisfará las crecientes necesidades humanas de pescado.

Aunque es solo un sector productor de alimentos relativamente pequeño, la acuicultura contribuye significativamente a los aportes de proteínas animales de la

cesta alimentaria. El aporte de la acuicultura ha pasado de 0,7 kg per cápita en 1970 a 6,4 kg en 2002; y el número de personas activas en el sector de la producción es de aproximadamente 10 millones. Este incremento es significativamente mayor que el de la ganadería terrestre, que se expandió sólo a una tasa del 2,8 por ciento anual durante el mismo período (Bunting y Pretty, 2007), y refleja la emergencia tardía de la acuicultura como sector que contribuye significativamente a la alimentación humana. Es importante destacar que la acuicultura ha sido objeto de riguroso escrutinio en lo que respecta a sus repercusiones ambientales, probablemente porque el sector ha empezado a tener una función destacada solo durante las últimas tres décadas más o menos, período que ha coincidido con una toma de conciencia mundial acerca del desarrollo sostenible y la integridad medioambiental (PNUMA, 1987; CDB, 1994).

A diferencia de muchos otros sectores de la producción de carne animal, la acuicultura, que es sector que cultiva animales poiquilotermos, se distribuye irregularmente por las diversas regiones, concentrándose mayormente en las regiones subtropicales y tropicales de Asia, en las partes continentales y en las costas, y en menor grado en las costas templadas de Europa y América del Sur. Dada esta forma de distribución, es posible que las principales repercusiones del cambio climático deriven del recalentamiento mundial y del consiguiente aumento de la temperatura del agua. Se predice que estos cambios serán más significativos en las aguas frescas y que afectarán a la acuicultura de regiones templadas, donde se cultivan salmónidos y moluscos.

No se descarta que el calentamiento dé lugar a proliferaciones más frecuentes de algas tóxicas y a la emergencia de patógenos hasta la fecha durmientes, que representarían amenazas concretas para el cultivo de moluscos. Las medidas de adaptación para contrarrestar estos efectos negativos son muy pocas, aparte de la vigilancia que se ejerce mediante un seguimiento regular.

Para el cultivo de los salmónidos, una medida de adaptación consistiría en determinar si es posible desarrollar cepas tolerantes a temperaturas más altas comprendidas entre 19 y 20 °C.

Los aumentos pronosticados de la temperatura del agua corresponden a valores que a menudo calzan con el rango de temperaturas óptimas para la mayor parte de las especies cultivadas, en particular en los trópicos y sub-trópicos. Esto significa que el crecimiento de las poblaciones cultivadas en estas regiones se vería en realidad estimulado por el calentamiento y que la producción se incrementaría (véase el Tabla 13).

La subida del nivel del mar y los fenómenos asociados de infiltración de aguas saladas, agravados por el cambio en los patrones del clima monzónico, son motivo de preocupación en las regiones tropicales y subtropicales donde se realiza el grueso de las actividades acuícolas. Las repercusiones de estos acontecimientos serán probablemente más acusadas en las principales zonas deltaicas de los trópicos. Sin embargo, las medidas de adaptación son factibles: por ejemplo, cambiar una especie por otra o llevar a cabo las operaciones de acuicultura en zonas alejadas de la orilla. La intrusión de las aguas saladas imposibilitaría algunas de las prácticas agrícolas terrestres o las haría menos rentables. Gracias a la acuicultura se podría disponer de medios de vida alternativos; y el aporte que esta actividad supone para la alimentación humana podría quizá aumentar. Este proceso podría verse impulsado en parte por el hecho de que los beneficios financieros que arroja la producción acuícola tienden a ser significativamente superiores a los que derivan de la agricultura tradicional por unidad de superficie, y porque el consumo relativo de energía de la acuicultura es menor que el de la ganadería terrestre.

En los trópicos y sub-trópicos, la acuicultura continental es la actividad predominante y lo seguirá siendo en el futuro próximo. No obstante, cuando se considera que la presión sobre la disponibilidad y calidad de agua dulce aumentará potencialmente y que el cambio climático tendrá potenciales repercusiones en los recursos hídricos, resulta difícil predecir cuál será la posibilidad de expansión de la acuicultura de agua dulce a



TABLA 13

**Resumen de las repercusiones importantes en la acuicultura de diferentes elementos del cambio climático y potenciales medidas de adaptación**

Acuicultura/otras actividades	Impacto(s)		Medidas de adaptación
	+/-	Tipo/forma	
Todas: jaulas, estanques; peces	-	Aumento de la temperatura por encima del rango óptimo de tolerancia	Mejores piensos; cría selectiva para conseguir la tolerancia a temperaturas más altas
Agua dulce; todas	+	Aumento del crecimiento; mayor producción	Aumento del aporte de alimento
Agua dulce; jaulas	-	Eutrofización y surgencia; mortalidad de la población	Mejor planificación; emplazamiento de las instalaciones, ajuste al cambio climático, regulación del seguimiento
Marina/de agua dulce; moluscos	-	Aumento de la virulencia de patógenos durmientes	Ninguna; seguimiento para prevenir los riesgos sanitarios
Peces carnívoros/ camarones*	-	Limitación del suministro y precios de la harina y aceite de pescado	Reemplazo de la harina y aceite de pescado; nuevas formas de gestión de piensos; adopción de productos no carnívoros
Propagación artificial de especies para abastecer a restaurantes de lujo que ofrecen peces vivos.	(+)	Destrucción de los arrecifes de coral	Ninguna; pero la acuicultura hará una contribución positiva al reducir la influencia de factores externos que contribuyen a la destrucción de los corales y al ayudar a conservar la biodiversidad
<b>Aumento del nivel del mar y otros cambios en la circulación</b>			
Todas; principalmente en las regiones de delta	+/-	Infiltración de aguas saladas.	Desplazamiento aguas arriba de las especies estenohalinas: cambio costoso; nuevas especies eurihalinas en las instalaciones viejas
	+/-	Pérdida de tierras agrícolas.	Provisión de medios de vida alternativos por medio de la acuicultura; creación de capacidad e infraestructuras
Peces marinos carnívoros*	- /+	Reducción de las capturas provenientes de las pesquerías costeras artesanales; pérdida de ingresos para los pescadores	Reducción de los suministros de piensos; pero se fomenta el uso de piensos granulados: costos mayores/menor degradación ambiental
Mariscos	-	Aumento de la proliferación de algas nocivas	Mortalidad y aumento de los riesgos relacionados con la salud humana por el consumo de moluscos cultivados
Cambios y pérdidas de hábitat	-	Influencia indirecta en la acuicultura de estuario; poca disponibilidad de semilla	Ninguna
<b>Acidificación</b>			
Cultivo de moluscos/algas marinas	-	Repercusiones en el proceso de calcificación de la concha/deposición	Ninguna
<b>Estrés hídrico (+ condiciones de sequía, etc.)</b>			
Piscicultura en estanques	-	Limitaciones derivadas de la extracción	Mayor eficiencia en el uso del agua; sistemas de recirculación; fomento de uso no consuntivo del agua en la acuicultura, por ejemplo en las pesquerías basadas en el cultivo
Pesquerías basadas en el cultivo	-	Reducción del período de retención de agua	Utilización de especies de peces de crecimiento rápido; mayor eficiencia en la compartición del agua con los usuarios primarios, por ejemplo, irrigación de arrozales
Cultivo en jaulas en zonas ribereñas	-	Disponibilidad reducida de reserva de semillas silvestres/cambio del período de disponibilidad	Adopción de semillas propagadas artificialmente; costos extra
<b>Fenómenos meteorológicos extremos</b>			
Todas las formas; principalmente en las zonas costeras	-	Destrucción de instalaciones; pérdida de poblaciones; pérdidas de actividades comerciales; fugas masivas de ejemplares con repercusiones potenciales en la biodiversidad	Fomento de la contratación de seguros individuales o colectivos; mejora de los diseños de las instalaciones para minimizar las fugas masivas de ejemplares; fomento del uso de especies indígenas para minimizar las repercusiones en la biodiversidad

\* Caso en que la alteración se deberá a más de un elemento del cambio climático.

plazo medio. La acuicultura continental practicada en los cuerpos de agua existentes tales como lagos, embalses y ríos va en aumento, principalmente en lo que respecta al cultivo en jaulas. Los cambios climáticos esperados podrían ejercer una influencia profunda en los cuerpos de agua estáticos debido al aumento de la eutrofización y estratificación y

causar mortalidad de las poblaciones cultivadas a consecuencia de los fenómenos de afloramiento, agotamiento de oxígeno y otros eventos similares. Sin embargo existen numerosas medidas de adaptación para evitar estas calamidades, y la principal es el desarrollo de una acuicultura que se ajuste a la capacidad de carga potencial del cuerpo de agua y a la normativa que reglamenta tal capacidad, y el seguimiento continuo de las variables ambientales en relación con la carga interna y externa de nutrientes.

Es probable que el impacto del cambio climático en las poblaciones de peces silvestres ejerza efectos significativos en la acuicultura, en particular en cuanto a disponibilidad de materias primas para la producción de harina y aceite de pescado. El costo ecológico de los piensos para animales cultivados es muy alto (Bartley *et al.*, 2007), y la acuicultura de especies carnívoras, que en la actualidad representa solo una pequeña proporción de todos los productos cultivados, no es una excepción a este respecto. El pescado que procede de este sector es de alto valor; y por lo tanto, para solventar este problema conviene diseñar dietas apropiadas en las que las cantidades de harina y aceite de pescado puedan reducirse gradualmente. Este proceso fue iniciado hace 15 años con el desarrollo de dietas para salmónidos de alto contenido energético, pero desde entonces ha habido una interrupción en la utilización de este tipo de dietas.

También es importante restringir el uso de las dietas que contienen aceite de pescado que se administran durante la fase de crecimiento y adoptar «dietas de salida» antes de la cosecha (Jobling, 2003, 2004; Turchini, Francis y De Silva, 2007) para satisfacer la demanda de consumo y mantener la calidad del pescado (Menoyo *et al.*, 2004; Mourente, Good y Bell, 2005).

Por otra parte, la incertidumbre en cuanto a la continuidad de los suministros de harina y aceite de pescado y su proyectada reducción resultante del cambio climático no es privativa de la acuicultura. Los mismos ingredientes se usan en otros sectores de producción animal y en la industria de piensos para mascotas; en los últimos tiempos este último uso para producción de alimentos no destinados al consumo humano ha sido puesto de relieve (Naylor *et al.*, 2000; Aldhous, 2004). Es necesario instaurar un diálogo acerca del uso de un recurso biológico con limitaciones potenciales (De Silva y Turchini, 2008).

El presente análisis también señala la amplia gama de beneficios que derivan del uso de una unidad de harina y/o aceite de pescado en la producción general de los productos acuícolas. A diferencia de la producción animal terrestre, la acuicultura depende de una gran variedad de especies, cuyo número ronda en la actualidad las 300 (FAO, 2007). En un intento de hacer una comparación significativa entre los costos ambientales de la acuicultura y los de otros sectores de la producción de alimentos, se estimó que era prioritario presentar un cuadro equilibrado de los costos ambientales de todos los sectores de la producción de alimentos y de formular políticas ambientales que tomasen en cuenta los impactos ocasionados por todos los sectores (Bartley *et al.*, 2007). No obstante, es evidente que el sector de la acuicultura se encuentra en una situación autónoma, debido a que las diferencias entre los costos ecológicos que acarrea el cultivo de especies carnívoras tales como el salmón o un pez omnívoro/herbívoro tal como la carpa común difieren enormemente de los costos de la cría de pollos o de cualquiera de las especies antes mencionadas que se hace indispensable tratar los distintos productos cultivados como entidades separadas.

El descoloramiento de los corales, fenómeno que se ha agudizado con el cambio climático y sus efectos en la biodiversidad, es un asunto que despierta cada vez mayor preocupación. Es importante considerar este proceso en conjunción con el daño a los corales causado por los métodos de pesca destructivos practicados para satisfacer la demanda de pescado vivo del sector de la alta gastronomía, un comercio de lujo en expansión que se practica en unas pocas regiones de Asia tropical y subtropical. La creciente preocupación manifestada por el público ante este hecho ha conducido a que disminuya mucho la dependencia de los peces silvestres que se capturan para alimentar

este comercio (véase la Sección 5.4.4). Esto indica que gracias a la acuicultura parece ser posible contener la destrucción de los corales y fomentar la conservación de la biodiversidad.

Muchas veces se critica la acuicultura por estimársela una actividad ecológicamente costosa que degrada el ambiente. Estos juicios, que se basan casi siempre en una acuicultura que produce productos de alto valor como el camarón y especies de peces carnívoros como los salmónidos, han creado apreciaciones erróneas entre el público, los planificadores, los promotores y los inversores. El hecho es que el grueso de la acuicultura depende aún de peces y moluscos que se alimentan en los eslabones bajos de la cadena trófica y que funcionan principalmente como sumideros de carbono y ayudan a la absorción de carbono.

A raíz del cambio climático, la acuicultura ha llegado a desempeñar un papel de importancia creciente porque contribuye al aumento de la absorción de carbono y promueve la producción de algas marinas y de peces y moluscos que se alimentan en los niveles inferiores de la cadena trófica. La acuicultura es una actividad muy elástica y resiliente por su capacidad de adaptación al cambio; esto indica cuán mínima puede ser la contribución del sector a las alteraciones climáticas.

Por ejemplo, la adopción de técnicas sencillas destinadas a proporcionar fuentes alimentarias idóneas o mejoradas para las poblaciones cultivadas mediante métodos que aumentan el crecimiento perifítico podrían representar una importante medida de ahorro de energía (véase p. ej. Van Dam *et al.*, 2002).

En términos generales, se predice que las repercusiones del cambio climático en la acuicultura serán sumamente variables según la zona climática donde se desarrolla esta actividad. Será probablemente en las regiones templadas donde las repercusiones más adversas en las actividades acuícolas tengan lugar, a saber:

- por la incidencia en las tasas de crecimiento de especies cultivadas de aguas frías, debido a la superación de los valores óptimos de temperatura para el funcionamiento del organismo; y
- por el aumento de los riesgos potenciales de enfermedades, debido a que la temperatura ha podido superar el ámbito de quiescencia de los patógenos y éstos se han vuelto más virulentos.

En las regiones tropicales y subtropicales, donde predominan las actividades acuícolas, el aumento de la temperatura del agua podría provocar el fenómeno contrario, y traducirse en un aumento de la producción. Además, la subida del nivel del mar también podría tener repercusiones positivas al proporcionar medios de subsistencia alternativos a muchas personas que se dedican a la agricultura terrestre en las zonas de delta. Lo que es aún más importante es que se debe reconocer que la acuicultura representa una modalidad de producción de alimentos que supone un menor consumo de energía en comparación con todas las alternativas.

Los estudios de evaluación del ciclo biológico indican que ciertos productos acuáticos cultivados, en particular el camarón y los peces carnívoros cuya alimentación depende esencialmente de la harina y aceite de pescado, son costosos en términos energéticos. En los países desarrollados y en desarrollo debido a la mejora de las condiciones de vida y a los ingresos disponibles estos son productos muy apetecidos. Su producción se ve impulsada por las fuerzas de mercado, y como hay demanda, la producción de estos productos seguirá contribuyendo a las emisiones generales de carbono, en comparación con los demás productos de acuicultura que son esencialmente absorbentes de carbono.

Una solución posible consistiría en persuadir a los consumidores de que abandonasen el consumo de productos que contribuyen al incremento neto de las emisiones de carbono. Como un cambio de esta envergadura tendría inevitables consecuencias sociales y económicas en los países productores, sería preciso encontrar una fórmula de equilibrio. Así como ya se hace en el caso del eco-etiquetado, quizá la medida de

adaptación consistente en incluir el índice de emisiones potenciales de carbono en los protocolos relacionados con los productos alimenticios de alto valor resulte ser la más apropiada.

Por último, es preciso admitir que es necesario recopilar datos cuantitativos sólidos para afrontar las cuestiones relativas al rol de la acuicultura en el cambio climático. A nivel mundial, los esfuerzos están dirigidos a reducir las emisiones de carbono en todas sus formas, ya provengan éstas de los procesos de producción de alimentos o del transporte.

En lo que respecta a la producción de alimentos, cabe preguntarse si es suficiente realizar un análisis de impactos en términos de energía industrial. Por ejemplo, en la acuicultura de la carpa el uso de energía industrial es mínimo, pero este tipo de acuicultura incide en el ciclo del carbono al fijar CO<sub>2</sub> por intermedio del fitoplancton, parte del cual termina convertido en pescado por vía de la cadena trófica. Asimismo, ¿son los sistemas de acuicultura que se basan en la fertilización y en el fitoplancton más inocuos respecto al clima y al carbono que otras formas de acuicultura más intensivas que consumen considerables insumos energéticos externos?

Todas las interrogantes anteriores deben ser ponderadas en relación con las necesidades de alimentos y las necesidades de desarrollo; y para llegar a decisiones racionales se necesita una gran cantidad de datos y también una voluntad política global.

Este estudio no puede terminar abordando las influencias del cambio climático en la acuicultura en sí, porque, después de todo, la acuicultura no funciona en el vacío. Para evitar la exacerbación de las repercusiones del cambio climático mundial, se ha aceptado universalmente que es preciso realizar acciones unificadas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Una opción a este respecto es limitar la dependencia de los combustibles fósiles como fuente de energía y aumentar consecuentemente la dependencia en los biocombustibles.

La producción de biocombustibles de primera generación deriva de la conversión de almidones vegetales, azúcares, aceites y grasas animales en sustancias energéticas capaces de reemplazar los combustibles fósiles. Actualmente, el más popular entre los biocombustibles es el bioetanol elaborado por fermentación de productos alimentarios tales como el maíz, la yuca y la caña de azúcar (Worldwatch Institute, 2006). En relación a insumos energéticos, el bioetanol de caña de azúcar producido en Brasil es considerado como el combustible con más potencial de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Macedo, Verde y Azevedo, 2004).

Mientras el mundo evalúa los biocombustibles como alternativa de los combustibles fósiles, estos productos han tenido un efecto dominó en los cultivos alimentarios, sus precios, su disponibilidad y su acceso, y en la seguridad alimentaria y la pobreza, y han repercutido de manera general en el desarrollo sostenible (Naylor *et al.*, 2007). Para la fabricación de piensos, la acuicultura y la zootecnia dependen, de una u otra forma y en casi todas sus modalidades, de los mismos cultivos alimentarios usados en la producción de biocombustibles. Por ende, por cuanto respecta al cambio climático no es posible formular una ecuación unidireccional; sino que es preciso incorporar en esta ecuación compleja muchos otros factores con que generar medidas de adaptación evolutiva que es preciso elaborar con arreglo a una perspectiva ecosistémica y no sector por sector.

# Bibliografía

- Abery, N.W., Sukadi, F., Budhiman, A.A., Kartamihardja, E.S., Koeshendrajana, S., Buddhiman, A.A. & De Silva, S.S. 2005. Fisheries and cage culture of three reservoirs in west Java, Indonesia; a case study of ambitious developments and resulting interactions. *Fisheries Management and Ecology*, 12: 315–330.
- Aldhous, P. 2004. Fish farms still ravage the sea. Sustainable aquaculture takes one step forward, two steps back. *Nature online*, 17: February 2004; doi:10.1038/news040216–10.
- Allison, E.H., Adger, W.N., Badjeck, M.-C., Brown, K., Conway, D., Dulvy, N.K., Halls, A., Perry, A. & Reynold, J.D. 2005. Effects of climate change on sustainability of capture and enhancement fisheries important to the poor: analysis of the vulnerability and adaptability of fisher folk living in poverty. UK. Project No. R 4778J, Final Technical Report, DFID, 168 pp.
- Allsopp, M., Johnston, P. & Santillo, D. 2008. Challenging the aquaculture industry on sustainability. Amsterdam. Greenpeace. 22 pp.
- Anonymous. 2007. Escapes from aquaculture are a danger to ecosystems. *Eurofish Magazine*, 1/ 2007: pp. 90–93.
- Anonymous. 2008a. The new face of hunger. *The Economist*, 19th April 2008: 3–5.
- Anonymous. 2008b. The silent tsunami. *The Economist*, 19th April 2008: pp1.
- Araguas, R.M., Sanz, N., Pla, C. & Garcia-Martin, J.L. 2004. Breakdown of the brown trout evolutionary history due to hybridisation between native and cultivated fish. *Journal of Fish Biology*, 65 (Supplement A): 28–37.
- Atkinson, A., Slegel, V., Pakjomov, E. & Rothery, P. 2004. Long-term decline in krill stocks and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature*, 432: 100–103.
- Aye Khin Maung, Ko Lay Khin, Win Hla & De Silva, S.S. 2007. A new fresh water aquaculture practice that has successfully targeted a niche export market with major positive societal impacts: Myanmar. *Aquaculture Asia*, XII (4).
- Barrange, M. & Perry, I. 2009. Physical and ecological impacts of climate change relevant to marine and inland capture fisheries and aquaculture. In K. Cochrane, C. De Young and T. Bahri (eds). Climate change implications for fisheries and aquaculture. Overview of current scientific knowledge. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 530. Rome, FAO. pp. 212
- Bartley, D.M., Brugère, C., Soto, D., Gerber, P. & Harvey, B. 2007. Comparative assessment of the environment costs of aquaculture and other food production sectors: methods of meaningful comparisons. Rome. FAO Fisheries Proceedings, No 10, 240 pp. FAO.
- Bendiksen, E.A., Jobling, M. & Arnesen, A.M. 2002. Feed intake of Atlantic salmon parr *Salmo salar* L. in relation to temperature and feed composition. *Aquaculture Research*, 33: 525–532.
- Benetti, D.D., Orhun, M.R., Sardenberg, B., O’Hanlon, B., Welch, A., Hoenig, R., Zink, I., Rivera, J., Denlinger, B., Bacoat, D., Palmer, K. & Cavalin, F. 2008. Advances in hatchery and grow-out technology of Cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture Research* 39: 701–711.
- Bibby, R., Widdicombe, S., Parry, H., Spicer, J. & Pipe, R. 2008. Effect of ocean acidification on the immune response of the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Aquatic Biology*, 2: 67–74.
- Broad, K., Pfaff, A.S.P. & Glantz, M.H. 1999. Climate information and conflicting goals: El Niño 1997–98 and the Peruvian fishery. Public philosophy, environment and social justice, Thursday 21 1999 to Friday 22 October 1999. New York, USA, Carnegie Council of Ethics and International Affairs.

- Brook, E.J., Sowers, T. & Orchardo, J. 1996. Rapid variation in atmospheric methane concentration during past 110 000 years. *Science*, 273: 1087–1990.
- Brown, J.D., Swayne, D.E., Cooper, R.J., Burns, R.E. & Stallknecht, D.E. 2006. Persistence of H5 and H7 avian influenza viruses in water. *Avian Diseases*, 50: 236–242.
- Brugère, C. & Ridler, N. 2004. Global aquaculture outlook in the next decades: an analysis of national aquaculture production forecasts to 2030. FAO Fisheries Circular, No. C1001.
- Bunting, S. & Pretty, J. 2007. Aquaculture development and global carbon budgets: emissions, sequestrations and management options. UK, University of Essex, Centre for Environment and Society, Occasional Paper 2007-1, 39 pp.
- Catto, N.R. 2004. Impacts of climate variation and adaptation for Atlantic Canadian fisheries communities. Moncton, Canada, Canadian Association of Geographers, Annual Meeting, May 2004.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 1994. Text and annexes. Switzerland. Interim Secretariat for the Convention on Biological Diversity, 34 pp.
- Collares-Pereira, M.J. & Cowx, I.G. 2004. The role of catchment scale environmental management in fresh water fish conservation. *Fisheries Management and Ecology*, 11: 303–312.
- Crawford, M.A., Bloom, M., Broadhurst, C.L., Schmidt, W.F., Cunnane, S.C., Galli, C., Gehbremeskel, K., Linseisen, F., Lloyd-Smith, J. & Parkington, J. 1999. Evidence for the unique function of docosahexaenoic acid during the evolution of the modern hominid brain. *Lipids*, 34: S39–S47.
- Crump, M. 1998. *In Search of the Golden Frog*. Chicago, USA. University of Chicago Press.
- Dalton, M.G. 2001. El Niño expectations and fishing effort in Monterey Bay, California. *Environmental Economics and Management*, 42: 336–359.
- Daszak, P., Cunningham, A.A. & Hyatt, A.D. 2000. Emerging infectious diseases of wildlife threats to biodiversity and human health. *Science*, 287: 443–448.
- De Deckere, E.A.M., Korver, O., Verschuren, P.M. & Katan, M.B. 1998. Health aspects of fish and n-3 polyunsaturated fatty acids from plant and marine origin. *European Journal of Clinical Chemistry*, 52: 749–753.
- Delgado, C.L., Rosegrant, W.N., Meijer, S. & Ahmed, M. 2003. Fish to 2020. Supply and demand in changing global market. Washington, D.C. International Food Policy Research Institute, 226 pp.
- De Ionno, P., Wines, G., Jones, P. & Collins, R. 2006. A bioeconomic evaluation of a commercial scale recirculating finfish growout system - An Australian perspective. *Aquaculture*, 259: 315–327.
- De Silva, S.S. 2001. A global perspective of aquaculture in the new millennium. In R.P. Subasinghe, P. Bueno, M.J. Phillips, C. Hough, S.E. McGladdery & J.R. Arthur, (eds) *Aquaculture in the third millennium*, pp. 431–459. Bangkok, NACA.
- De Silva, S.S. 2003. Culture-based fisheries: an underutilized opportunity in aquaculture. *Aquaculture*, 221: 221–243.
- De Silva, S.S. 2007. Meeting the demands and challenges of globalization of trade in aquaculture. The role of a regional inter-governmental body. *Globalization and fisheries: Paris, OECD. Proceedings of an OECD-FAO Workshop*: 229–239.
- De Silva, S.S. & Hasan, M.R. 2007. Feeds and fertilizers: the key to the long term sustainability of Asian aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper, No. 497: 19–48.
- De Silva, S.S. & Phillips, M. 2007. A review of cage culture: Asia (excluding China). In M. Halwart, D. Soto & J.R. Arthur (eds). 2007. *Cage aquaculture: regional reviews and global overview*. FAO Fisheries Technical Paper, No. 498: 21–47.
- De Silva, S.S. & Turchini, G.M. 2008. Towards understanding the impacts of the pet food industry on world fish and seafood supplies. *Journal of Agriculture and Environmental Ethics*, 21: 459–467.

- De Silva, S.S., Amarasinghe, U.S. & Nguyen, T.T.T. 2006. Better-practice approaches for culture-based fisheries development in Asia. Canberra. ACIAR Monograph No. 120, 96 pp. Australian Centre for International Agricultural Research.
- De Silva, S.S., Sim, S.Y. & Turchini, G.M. 2008. Review on usage of fish, directly and indirectly, as feed ingredients and feeds in Asian-Pacific aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper (in press).
- De Silva, S.S., Nguyen, T.T.T., Abery, N.W. & Amarasinghe, U.S. 2006. An evaluation of the role and impacts of alien finfish in Asian inland aquaculture. *Aquaculture Research*, 37: 1–17.
- De Silva, S.S., Subasinghe, R.P., Bartley, D.M. & Lowther, A. 2004. Tilapias as alien aquatics in Asia and the Pacific: a review. FAO Fisheries Technical Paper No. 453: 65 pp.
- De Silva & F.B. Davy (eds). In press. Success stories in Asian aquaculture. Springer.
- Dowling, T.E. & Childs, M.R. 1992. Impact of hybridisation on a threatened trout of the south western United States. *Conservation Biology*, 6: 355–364.
- Edgerton, B.F., Henttonent, P., Jussila, J., Mannonent, A.R., Paasonens, P., Taugbøl, T., Edsman, L. & Souty-Grosset, C. 2004. Understanding the causes of disease in European fresh water crayfish. *Conservation Biology*, 18: 1466–1473.
- Edwards, M., Johns, D.G., Leterme, S.C., Svendsen, E. & Richardson, A.J. 2006. Regional climate change and harmful algal blooms in the northeast Atlantic. *Limnology and Oceanography*, 51: 820–829.
- Edwards, P., Le, A.T. & Allan, G.L. 2004. A survey of marine trash fish and fishmeal as aquaculture feed ingredients in Viet Nam. Canberra. ACIAR Working Paper No 57. Australian Centre for International Agricultural Research: 56 pp.
- Epstein, P.R. 2005. Climate change and human health. *New England Journal of Medicine*, 353: 1433–1436
- Epstein, P.R., Diaz, H.F., Elias, S., Grabherr, G. & Graham, N.E. 1998. Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito-borne diseases. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: 409–417.
- FAO. 2003. World agriculture: towards 2015/2030: a FAO perspective. Earthscan. Rome, FAO. 432 pp.
- FAO. 2004. FAO recommendations on the prevention, control and eradication of highly pathogenic avian influenza (HPA1) in Asia. FAO Position Paper, Rome. FAO, 49 pp.
- FAO. 2006. State of world aquaculture: 2006. FAO Fisheries Technical Paper. No. 500. Rome, FAO. 134 pp.  
(Also available at [www.fao.org/docrep/009/a0874e/a0874e00.htm](http://www.fao.org/docrep/009/a0874e/a0874e00.htm)).
- FAO. 2008a. Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service. Total fisheries production 1950 to 2006. FishStat Plus - Universal software for fishery statistical time series (online or CD-ROM). Rome, FAO.  
(Also available at [www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp](http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp)).
- FAO. 2008b. FAO Food Outlook 2008. Rome, FAO.
- FAO. 2009. The state of world fisheries and aquaculture 2008. Rome, FAO: 76 pp.
- Feare, C.J. 2006. Fish farming and the risk of spread of avian influenza. Cambridge, UK. WildWings Bird Management, BirdLife International. 11 pp.  
(Also available at [www.birdlife.org/action/science/species/avian.flu/index.html](http://www.birdlife.org/action/science/species/avian.flu/index.html)).
- Ficke, A.D., Myrick, C.A. & Hansen, L.J. 2007. Potential impacts of global climate change on fresh water fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17: 581–613.
- Fishery Information Technology Centre. 2006. Fishery Statistics of Thailand, 2004. Thailand. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives, No. 4/2006, 91 pp.
- Flannery, T. 2005. The weather makers. Melbourne, Australia, Text publishing.
- Friedlingstein, P. & Solomon, S. 2005. Contributions of past and present human generations to committed warming caused by carbon dioxide. *PNAS* August 2, 2005, Vol. 102, No 31: 10832–10836. (Also available at [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0504755102](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0504755102)).

- Gajardo, G. & Laikre, L. 2003. Chilean aquaculture boom is based on exotic salmon resources: a conservation paradox. *Conservation Biology*, 17: 1173–1174.
- Gerber, P., Wassenaar, T., Rosales, M., Castel, V. & Steinfield, H. 2007. Environmental impacts of a changing livestock production: overview and discussion for a comparative assessment with other food production sectors. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber & B. Harvey, (eds). Comparative assessment of the environment costs of aquaculture and other food production sectors: methods of meaningful comparisons. Rome. FAO Fisheries Proceedings No 10, 37–54. FAO.
- Gianni, A., Saravanan, R. & Chang, P. 2003. Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales. *Science*, 320: 1027–1030.
- Gienapp, P., Teplitsky, C., Alho, J.S., Mills, J.A. & Merila, J. 2008. Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses. *Molecular Ecology*, 17: 162–176.
- GPA. 2008. Physical alterations and destruction of habitats. Restoration of mangrove areas. Global Programme for Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities. (Also available at [www.padh.gpa.unep.org/page.cfm?region=1&theme=3&topic=12](http://www.padh.gpa.unep.org/page.cfm?region=1&theme=3&topic=12).)
- Goswami, B.N., Venugopal, V., Sengupta, D., Madhusoodanan, M.S. & Xavier, P.K. 2006. Increasing trend of extreme rain events in a warming environment. *Science*, 314: 1442–1445.
- Grøttum, J.A. & Beveridge, M., 2008. A review of cage aquaculture: northern Europe. In M. Halwart, D. Soto & J.R. Arthur, eds. Cage aquaculture. Regional reviews and global overviews. FAO Fisheries Technical Paper No. 498: 126–154. Rome, FAO.
- Halwart, M., Soto, D. & Arthur, J.R. 2007. Cage aquaculture. Regional reviews and global overviews. FAO. Rome. FAO Fisheries Technical Paper. No. 498. Rome, FAO. 240 pp.
- Handisyde, N.T., Ross, L.G., Badjeck, M-C. & Allison, E.H. (2006). The effects of climate change on world aquaculture: a global perspective. Final Technical Report, DFID Aquaculture and Fish Genetics Research Programme, Stirling Institute of Aquaculture, Stirling, U.K., 151 pp. Available at [www.aqua.stir.ac.uk/GISAP/pdfs/Climate\\_full.pdf](http://www.aqua.stir.ac.uk/GISAP/pdfs/Climate_full.pdf)
- Harvell, C.D., Kim, K., Burkholder, J.M., Colwell, R.R., Epstein, P.R., Grimes, J., Hofmann, E.E., Lipp, E., Osterhaus, A.D.M.E., Overstreet, R., Porter, J.W., Smith, G.W., & Vasta, G.R. 1999. Emerging marine diseases - climate links and anthropogenic factors. *Science*, 285: 1505–1510.
- Hasan, M.R., Hecht, T., De Silva, S.S. & Tacon, A.D.J. 2007. Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development. FAO Fisheries Technical Paper No. 497. Rome, FAO. 512 pp.
- Hernandez, C., Ulloa, P.J., Vergara O.J.A., Espejo, R. & Cabello, F. 2005. Infecciones por *Vibrio parahaemolyticus* e intoxicaciones por algas: problemas emergentes de salud pública en Chile. *Revista Médica Chile*, 133: 1081–1088.
- Hõ, Thu L. 2008. Adapting to global warming. Outlook, Viet Nam News Monthly Publication, 51 (March 2008): 8–11.
- Hofmann, E., Ford, S., Powell, E. & Klinck, J. 2001. Modelling studies of the effect of climate variability on MSX disease in eastern oyster (*Crassostrea virginica*) populations. *Hydrobiologia*, 460: 195–212.
- Houtman, R. 2007. Global food security in a changing environment. Paper presented at: A Forum on Innovation for Sustainable Rural Development, Second World Congress on Agricultural and Rural Finance, November 2007, Bangkok.
- Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C., Grosberg, R., Hoegh-Guldberg, O., Jackson, J.B.C., Kleypas, J., Lough, J.M., Marshall, P., Nyström, M., Palumbi, S.R., Pandolfi, J.M., Rosen, B. & Roughgarden, J. 2003. Climate change, human impacts and the resilience of coral reefs. *Science*, 301: 929–934.
- Huijbregts, M.A.J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hungerbühler, K. & Hendriks, A.J. 2007. Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. *Ecological Economics*, 64: 798–807.



- Hunter, B.J. & Roberts, D.C.K. 2000. Potential impacts of the fat composition of farmed fish on human health. *Nutrition Research*, 20: 1047–1058.
- IPCC. 2002. Climate change and biodiversity. In H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson, D.J. Dokken, eds. IPCC Technical Paper V, 76 pp. Inter-Governmental Panel on Climate Change, WMO and UNEP.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: synthesis report. Inter-Governmental Panel on Climate Change. (Also available at [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4-syr-topic/pdf/](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4-syr-topic/pdf/).)
- Jackson, A. 2006. The importance of fishmeal and fish oil in aquaculture. *International Aquafeed* November-December 2006: 16–19.
- Jaksic, F.M. 2001. Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America. *Ecography*, 24 (3): 241–250.
- Jallow, B.P., Barrow, M.K.A. & Leatherman, S.P. 1996. Vulnerability of the coastal zone of The Gambia to sea level rise and development of response strategies and adaptation options. *Climate Research*, 6: 165–177.
- Jobling, M. 1997. Temperature and growth: modulation of growth rate via temperature change. In C.M. Wood, & D.G. McDonald, eds. *Global warming: implications for fresh water and marine fish*, pp. 225–253. Cambridge, UK. Cambridge University Press.
- Jobling, M. 2003. Do changes in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fillet fatty acids following a dietary switch represent wash-out or dilution? Test of a dilution model and its application. *Aquaculture Research*, 34: 1215–1221.
- Jobling, M. 2004. “Finishing” feeds for carnivorous fish and the fatty acid dilution model. *Aquaculture Research*, 35: 706–709.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. 2006. Cultured Atlantic salmon in nature: a review of their ecology and interaction with wild fish. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1162–1181.
- Jørstad, K.E., van der Meeren, T., Paulsen, O.N., Thomsen, T., Thorsen, T. & Svåsand, T. 2008. “Escapes” of eggs from farmed cod spawning in net pens: recruitment to wild stocks. *Reviews in Fisheries Science*, 16: 2 pp.
- Kerr, R. 2006. Global warming is changing the world. *Science*, 316: 188–192.
- Kongkeo, H. (in press). The role of backyard hatcheries in shrimp farming in Thailand. In S.S. De Silva & F.B. Davy, eds. *Success stories in aquaculture: an Asian perspective*, NACA, Bangkok.
- Krkošek, M., Ford, J.S., Morton, A., Lele, S., Myers, R.A. & Lewis, M.A. 2008. Declining wild salmon populations in relation to parasites from farm salmon. *Science*, 318: 1772–1773.
- Kurien, J. 2005. Responsible fish trade and food security. Rome. FAO. FAO Fisheries Technical Paper No. 456: 102 pp.
- Laurenti, G. 2007. Fish and fishery products. World apparent consumption statistics based on food balance sheets. FAO Fisheries Circular. No. 821, Revision 8. Rome, FAO.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623–1627.
- Lean, G. 2006. Cow ‘emissions’ more damaging to planet than CO<sub>2</sub> from cars. UK. The Independent, Sunday 10 December: 1 pp.
- Leary, R.F., Allendorf, F.W. & Forbes, S.H. 1993. Conservation genetics of bull trout in the Columbia and Klamath River drainages. *Conservation Biology*, 7: 856–865.
- Lomborg, B. 2001. *The sceptical environmentalist: measuring the real state of the world*. Cambridge, UK. Cambridge University Press. 511 pp.
- Luam Kong, A. 2002. Impact of climate change on Caribbean fisheries resources: research needs. Caribbean food systems: Developing a research agenda, 19–20 September 2002, St. Augustine, Trinidad. Global Environmental Change and Food Systems (GECAFS).
- Macedo, I., Verde, M.L. & Azevedo, J. 2004. Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil. Government of the State of São Paulo and Secretariat of the Environment, Brazil.

- Mahon, R.** 2002. Adaptation of fisheries and fishing communities to the impacts of climate change in the CARICOM region: Issue paper-draft, mainstream adaptation to climate change (MACC) of the Caribbean Center for Climate Change (CCCC), Organization of American States, Washington. (Also available at [www.oas.org/macc/bibliography.htm](http://www.oas.org/macc/bibliography.htm))
- Marcogliese, D.J.** 2001. Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment. *Canadian Journal of Zoology*, 79: 1331–1352.
- McManus, J.W., Reyes, R.B.J. & Nanola, C.L.J.** 1997. Effects of some destructive fishing methods on coral cover and potential rates of recovery. *Environmental Management*, 21: 69–78.
- McMichael, A.J.** 2001. Impact of climatic and other environmental changes on food production and population health in the coming decades. *Proceedings of the Nutrition Society*, 60: 195–201.
- McMichael, A.J.** 2003. Climate change and human health risks. Geneva. World Health Organization. 322 pp.
- Menoyo, D., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Ginés, R., Lopez-Bote, C.J. & Bautista, J.M.** 2004. Adaptation of lipid metabolism, tissue composition and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) to the replacement of dietary fish oil by linseed and soyabean oils. *British Journal of Nutrition*, 92: 41–52.
- Miao, W.** (in press). Recent development of rice-fish culture in China – a holistic approach to livelihood improvement in rural areas. In S.S. De Silva & F.B. Davy, (eds) Success stories in aquaculture: an Asian perspective, NACA, Bangkok. In press.
- Miller, J.B.** 2008. Sources, sinks and seasons. *Nature*, 451: 26–27.
- Morales, V.V.Q. & Morales, R.R.** 2006. Regional review on aquaculture development 1. Latin America and the Caribbean - 2005. Rome. FAO Fisheries Circular, F1017/1. 177 pp. FAO.
- Mourente, G., Good, J.E. & Bell, J.G.** 2005. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E2 and F2, immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Aquaculture Nutrition*, 11: 25–40.
- Mous, P.J., Pet-Soede, L., Erdmann, M., Cesar, H.S.J., Sadovy, Y. & Pet, J.S.** 2000. Cyanide fishing on Indonesian coral reefs for the live food fish market - what is the problem? *SPC Live Reef Fish Information Bulletin*, 7: 20–27.
- Mungkung, R.** 2005. Shrimp aquaculture in Thailand: application of life cycle assessment to support sustainable development. Guilford, UK. Centre for Environmental Strategy (CES), School of Engineering, University of Surrey. 360 p. (Ph.D thesis.)
- Mungkung, R., Gheewala, S.H., Prasertsun, P., Poovaroodom, N. & Dampin, N.** 2007. Application of life cycle assessment for participatory environmental management along the supply chain of individual quick frozen Pacific white-leg shrimp (*Penaeus vannamei*). Technical report (in Thai) submitted to Thailand Research Fund.
- Mungkung, R. & Gheewala, S.H.** 2007. Use of life cycle assessment (LCA) to compare the environmental impacts of aquaculture and agri-food products. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber, B. Harvey, (eds) Comparative assessment of the environment costs of aquaculture and other food production sectors: methods of meaningful comparisons. Rome. FAO. FAO Fisheries Proceedings, No 10: 87–96.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Mooney H., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Kautsky, N., Lubchenco, J., Primavera, J. & Williams, M.** 1998. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science*, 282: 883–884.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J., Kautsky, N., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. & Troell, M.** 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405: 1097–1024.
- Naylor, R.L., Liska, A.J., Burke, M.B., Falcon, W.P., Gaskell, J.C. Rozelle, S.D. & Cassman, K.G.** 2006. The ripple effect. Biofuels, food security, and the environment. *Environment*, 49: 32–43.

- Nguyen, K.C. 2008. Surviving the flood. Outlook, Viet Nam News Monthly Publication, 51 (March 2008), 14–16.
- Nguyen, T.T.T. & De Silva, S.S. 2006. Fresh water finfish biodiversity and conservation: an Asian perspective. *Biodiversity and Conservation*, 15: 3543–3568.
- Nguyen, V. & Hoang. 2007. Viet Nam's catfish and marine shrimp production: an example of growth and sustainability issues. *Aquaculture Asia-Pacific*, 3 (4): 36–39.
- Nunn, A.D., Harvey, J.P., Britton, J.R., Frear, P.A. & Cowx, I.G. 2007. Fish, climate and Gulf Stream: the influence of abiotic factors on the recruitment success of cyprinid fishes in lowland rivers. *Fresh water Biology*, 52: 1576–1586.
- Olsen, R.E., Suontama, J., Langmyhr, E., Mundheim, H., Ringø, E., Melle, W., Malde, M.K. & Hemre, G.-I. 2006. The replacement of fishmeal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture Nutrition*, 12: 280–290.
- Paris-Mancilla, E. 2005. Intoxicación Por *Vibrio Parahaemolyticus*. *Cuad Méd Soc (Chile)*, 45: 43–47.
- Parry, M.L., Rosenweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. & Fischer, G. 2004. Effect of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14: 53–67.
- Patz, J.A. 2000. Climate change and health: new research and challenges. *Ecosystem Health*, 6: 52–58.
- Pawiro, S. 2005. Trends in major Asian markets for live grouper. INFOFISH International, 4/99: 20–24.
- Peperzak, L. 2003. Climate change and harmful algal blooms in the North Sea. *Acta Oecologica*, 24: S139–S144.
- Pradhan, B.R. 1987. Inland fisheries project, Indrasarobar Kulekhani, Nepal. Annual progress report (2003/04), Fisheries Development Division, Ministry of Agriculture, HMG Nepal.
- Pike, I.H. & Barlow, S.M. 2002. Impacts of fish farming on fish, Bordeaux Aquaculture and Environment Symposium. Bordeaux, France.  
(Available at [www.iffu.org.uk/tech/bordeau.htm](http://www.iffu.org.uk/tech/bordeau.htm).)
- Primavera, J.H. 1998. Tropical shrimp farming and its sustainability. In S.S. De Silva (ed.) *Tropical mariculture*, London. Academic press. pp. 257–289.
- Primavera, J.H. 2005. Mangroves, fishponds, and the quest for sustainability. *Science*, 310: 57–60.
- Rhymer, J.M. & Simberloff, D. 1996. Extinction by hybridisation and introgression. *Annual Review Ecological Systematics*, 27: 83–109.
- Roessig, J.M., Woodley, C.M., Cech, J.J. & Hansen, L.J. 2004. Effects of global climate change on marine and estuarine fish and fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14: 251–274.
- Rombough, P.T. 1997. The effects of temperature on embryonic and larval development. In C.M. Wood & D.G. McDonald, eds. *Global warming: implications for fresh water and marine fish*. pp. 177–223. Cambridge, UK. Cambridge University Press.
- Rosenberg, A.A. 2008. The price of lice. *Nature*, 451/3: 23–24.
- Rungruangsak-Torrissen, K. 2002. Wild salmon should not be threatened by healthy and non-genetically manipulated escapees. ICES CM 2002/ T:07. 16 pp.
- Scales, H., Balmford, A. & Manica, A. 2007. Monitoring the live reef food fish trade: lessons learned from local and global perspectives. *SPC Live Reef Fish Information Bulletin*, 17: 36–44.
- Schmittner, A. 2005. Decline of the marine ecosystem caused by a reduction in the Atlantic overturning circulation. *Nature*, 434: 628–633.
- Secretan, P.A.D., Bueno, P.B., van Anrooy, R., Siar, S.V. Olofsson, A., Bondad-Reantaso, M.G. & Funge-Smith, S. 2007. Guidelines to meet insurance and other risk management needs in developing aquaculture in Asia. Rome, FAO. FAO Fisheries Technical Paper, No. 496, 148 pp.

- Sen, A. 1981. Poverty and famines: an essay on entitlement and deprivation. Oxford, UK. Clarendon.
- Sharp, G.D. 2003. Future climatic change and regional fisheries: a collaborative analysis. Rome. FAO. FAO Fisheries Technical Paper, No. 452: 75 pp.
- Smayda, T.J. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence of a global epidemic. In E. Graneli, B. Sunderstroem, L. Edler, D.M. Anderson, (eds). Toxic Marine Phytoplankton, pp. 29–41. Holland, Elsevier.
- Snieszko, S.F. 1974. The effects of environmental stress on outbreaks of infectious diseases of fishes. *Journal of Fish Biology*, 6 (2): 197–208.
- Soto, D., Jara, F. & Moreno, C. 2001. Escaped salmon in the inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. *Ecological Applications*, 11 (6): 1750–1762.
- Soto, D., Arismendi, I., Gonzalez, J., Guzman, E., Sanzana, J., Jara, F., Jara, C. & Lara, A. 2006. Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79: 97–117.
- Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., Brugère, C., Angel, D., Bailey, C., Black, K., Edwards, P., Costa Pierce, B., Chopin, T., Deudero, S., Freeman, S., Hambrey, J., Hishamunda, N., Knowler, D., Silver, W., Marba, N., Mathe, S., Norambuena, R., Simard, F., Tett, P., Troell, M. & Wainberg, A. 2008. Applying an ecosystem-based approach to aquaculture: principles, scales and some management measures. In D. Soto, J. Aguilar-Manjarrez & N. Hishamunda, (eds). Building an ecosystem approach to aquaculture. FAO/Universitat de les Illes Balears Expert Workshop. 7–11 May 2007, Spain, Mallorca. FAO Fisheries Proceedings. No. 14. Rome, FAO. pp.15–35.
- Stansby, M.E. 1990. Nutritional properties of fish oil for human consumption - modern aspects. In M. E. Stansby, ed. Fish Oils in Nutrition, pp. 289–308. New York, NY, USA. Van Nostrand Reinhold.
- Sugiyama, S., Staples, D. & Funge-Smith, S. 2004. Status and potential of fisheries and aquaculture in Asia and the Pacific. RAP Publication 2004/25. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok. 53 pp.
- Suontama, J., Kiessling, A., Melle, W., Waagbø, R. & Olsen, R.E. 2007. Protein from Northern krill (*Thysanoessa inermis*), Antarctic krill (*Euphausia superba*) and the Arctic amphipod (*Themisto libellula*) can partially replace fishmeal in diets to Atlantic salmon (*Salmo salar*) without affecting product quality. *Aquaculture Nutrition*, 13: 50–58.
- Swing, T.G. 2003. What future for the oceans? New York, USA. Foreign Affairs September-October: pp.139–52.
- Tacon, A.D.J., Hasan, M.R. & Subasinghe, R.P. 2006. Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trends and policy implications. FAO Fisheries Circular. No. 1018. Rome, FAO. 99 pp.
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., Siqueira, M.F.D., Grainger, A. & Hannah, L. 2004. Extinction risks from climate. *Nature* 427: 145–48.
- Thorstad, E.B., Fleming, I.A., McGinnity, P., Soto, D., Wennevik, V. & Whoriskey, F. 2008. Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in nature. NINA Special Report 36. 110 pp.  
(Also available at <ftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/aquaculture/aj272e00.pdf>.)
- Troell, M., Tyedmers, P., Kautsky, N. & Rönnbäck, P. 2004. Aquaculture and energy use. In C. Cleaveland, ed. Encyclopaedia of Energy, pp. 97–108. Amsterdam, Elsevier.
- Turchini, G.M. & De Silva, S.S. 2008. Bio-economical and ethical impacts of alien finfish culture in European inland waters. Aquaculture International, available online DOI 10.1007/s10499-007-9141-y. 33 pp.
- Turchini, G.M., Francis, D.S. & De Silva, S.S. 2007. Finishing diets stimulate compensatory growth: results of a study on Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*. *Aquaculture Nutrition*, 13: 351–360.

- Tyedmers, P. & Pelletier, N.** 2007. Biophysical accounting in aquaculture: insights from current practice and the need for methodological development. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber & B. Harvey, (eds). Comparative assessment of the environment costs of aquaculture and other food production sectors: methods of meaningful comparisons. FAO. Rome. FAO Fisheries Proceedings No 10, 229-241.
- Ulbricht, T.L.V. & Southgate, D.A.T.** 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338: 985–992.
- UNEP. 1987. Our Common Future. The World Commission on Environment and Development, Commission for the Future. Geneva.
- Van Dam, A.A., Beveridge, M.C.M., Azim, M.C. & Verdegem, M.C.J.** 2002. The potential of fish production based on periphyton. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12: 1–31.
- Van der Kraak, G. & Pankhurst, N.W.** 1997. Temperature effects on the reproductive performance of fish. In C.M. Wood & D.G. McDonald, eds. Global warming: implications for fresh water and marine fish, pp. 159–176. Cambridge, UK. Cambridge University Press.
- Verdegem, M.C.J., Bosma, R.H. & Verreth, J.A.V.** 2006. Reducing water use for animal production through aquaculture. *Water Resources Development*, 22: 101–113.
- Vinh Hoan Corporation.** Undated. Ten developing years. Vinh Hoan Corporation, National Road 30, Ward 11, Cao Lanh City, Dong Tap Province, Viet Nam.
- Wagle, S.K., Gurung, T.B., Bista, J.D. & Rai, A.K.** 2007. Cage fish culture and fisheries for food security and livelihoods in mid hill lakes of Pokhara Valley, Nepal: post community based management adoption. *Aquaculture Asia*, XII (3): 21–27.
- Wahab, M.A., Azim, M.E., Ali, M.H., Beveridge, M.C.M. & Kahn, S.** 1999. The potential of periphyton based culture of the native major carp calbaush, *Labeo clabasu* (Hamilton). *Aquaculture Research*, 30: 409–419.
- Waples, R.S.** 1991. Genetic interactions between hatchery and wild salmonids: lessons from the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 124–133.
- 2WE Associate Consulting.** 2000. Aquaculture and climate change in Canada. A discussion paper. Canada, Victoria, BC. 11 pp.  
(Also available at [www.cisc.univ.ca/workshop/Aquaculture&climate-in-Cda.htm](http://www.cisc.univ.ca/workshop/Aquaculture&climate-in-Cda.htm))
- Wood, C.M. & McDonald, D.G.** 1997. *Global warming: implications for fresh water and marine fish*. Cambridge, UK. Cambridge University Press. 425 pp.
- WFC.** 2006. The threat to fisheries and aquaculture from climate change. Penang. WFC. World Fish Center Policy Brief: 8 pp.
- WFC.** 2007. Fisheries and aquaculture can provide solutions to cope with climate change. Penang. World Fish Center. WFC Brief, 1701: 4pp.
- Worldwatch Institute.** 2006. Biofuels for transportation: global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the twenty-first century. Washington, DC.
- Williams, M.** 2004. World fish supplies, outlook and food security. In A.G. Brown (ed.) Fish, aquaculture and food security. Sustaining fish as a food supply: pp. 3–12. Australia, Victoria. The ATSE Crawford Fund.
- Wyban, J.** 2007. Thailand's shrimp revolution. *Aquaculture Asia-Pacific Magazine*, May–June 2007: 15–18.
- Zimmer, D. & Renault, D.** 2003. Virtual water in food production and global trade. Review of methodological issues and preliminary results.  
(available at [www.NWW.hydroaid.it/FTP/Data\\_Research/D.%20Zimmer%20et%20al-virtual%20water.pdf](http://www.NWW.hydroaid.it/FTP/Data_Research/D.%20Zimmer%20et%20al-virtual%20water.pdf)).
- Zwiers, F.W. & Weaver, A.J.** 2000. The causes of the twentieth century warming. *Science*, 290: 2081–2083.