



Cambio Climático y Acuicultura



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



FUNDACIÓN
OESA

OBSERVATORIO ESPAÑOL DE ACUICULTURA

Ei OESA

Se agradece a la Fundación Biodiversidad por su ayuda y colaboración constante con la Fundación OESA y su interés por el desarrollo sostenible del sector acuícola español. Este trabajo también ha sido posible gracias a la participación del Grupo de Ingeniería Ambiental y Bioprocesos (BioGrup) del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) y a la empresa AlgaEnergy.

La recopilación, revisión, redacción y estructuración de los textos ha sido realizada por Cristina García Díez bajo la dirección de Javier Remiro Perlado, técnico y director de la Fundación OESA, respectivamente.

Cambio Climático y Acuicultura



Los puntos de vista que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente los de FOESA o el de los colaboradores consultados cuya relación no es vinculante con el proyecto.

Esta publicación ha sido posible gracias a la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



Publicado por: Fundación Observatorio Español de Acuicultura, Madrid.



Derechos reservados: © 2013 Fundación Observatorio Español de Acuicultura

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor con tal de que se mencione la fuente.

Citación: FOESA (2013). Cambio climático y acuicultura. FOESA, Madrid, España. 210 páginas.

Publicado por: Fundación Observatorio Español de Acuicultura Madrid, España

Diseño y Maquetación: Susana Folgado

Disponible en: Fundación Observatorio Español de Acuicultura

C/Velázquez, 144
28006 Madrid
Tel: 91 310 75 46
www.fundacionoesa.es

También existe a disposición un catálogo de las publicaciones de FOESA en:

www.fundacionoesa.es/publicaciones

TABLA DE CONTENIDOS

Prólogo	06
---------------	----

BLOQUE I

Resumen ejecutivo	10
-------------------------	----

1. El cambio climático 12

1.1 El cambio climático en datos	14
1.2 Respuesta global ante el cambio climático	18
1.2.1 Mitigación.....	19
1.2.2 Adaptación	20
1.2.3 Tecnologías	21
1.2.4 Financiación	22
1.3 Respuesta de España	24
1.3.1 Organismos involucrados	24
1.3.2 Acciones definidas	25

2. El sector de la acuicultura en España 27

2.1 Situación actual	27
2.2 Organización del sector	29

3. Impactos del cambio climático en España 31

3.1 Clima pasado, presente y futuro.....	31
3.1.1 Temperatura	31
3.1.2 Precipitación.....	33
3.2 Cambios sobre ecosistemas acuáticos	34
3.2.1 Ecosistemas acuáticos continentales	34
3.2.2 Ecosistemas acuáticos marinos	38
3.3 Cambios sobre otros sectores	41
3.3.1 Costas y medio marino	42
3.3.2 Cambios sobre el sector energético.....	44
3.3.3 Cambios sobre el sector turístico	45
3.3.4 Cambios sobre la salud humana	46

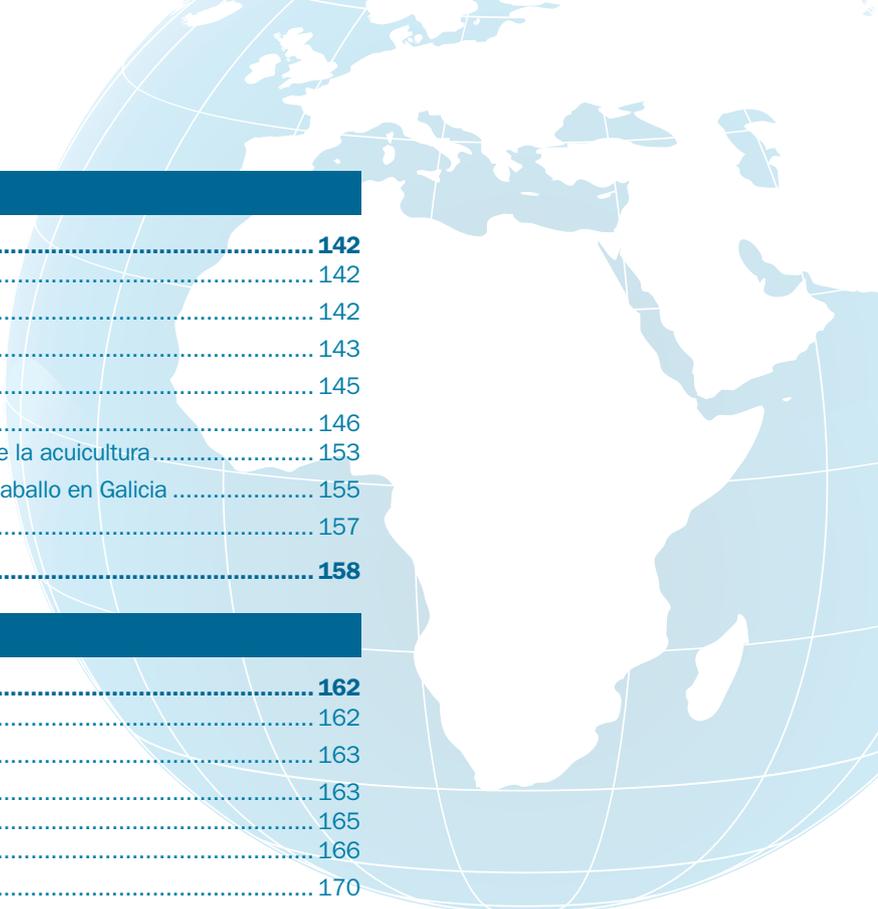
4. Efectos del cambio climático sobre la acuicultura..... 47

4.1 Repercusiones	50
4.1.1 Repercusiones sobre las harinas y aceites de pescado	52
4.1.2 Floraciones algales nocivas (FANs).....	54
4.1.3 Repercusiones en la biodiversidad	56

4.2 Acidificación	57
4.3 Sumidero	59
4.4 Vulnerabilidad de las especies cultivadas en España	64
4.5 Conclusiones	66
5. Indicadores ambientales para calcular las emisiones de GEI	69
5.1 Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono	70
5.1.1 PAS 2050	73
5.1.2 Algunos ejemplos	76
5.2 Tasa de Retorno Energético	81
6. Recomendaciones	84
Referencias	89

BLOQUE II

7. Cultivo de mejillón y Huella de Carbono.....	102
7.1 Equipo de trabajo	102
7.2 Resumen	102
7.3 Acuicultura extensiva del mejillón.....	104
7.3.1 Antecedentes históricos.....	106
7.3.2 Cultivo.....	106
7.3.3 Parques de bateas rías gallegas.....	109
7.3.4 Producción de mejillón en las rías gallegas	110
7.4 Análisis de Ciclo de Vida	111
7.5 Cuantificación de CO ₂ en concha: Sumidero	114
7.5.1 Caracterización de las muestras de mejillón.....	114
7.5.2 Determinación del carbono en la concha de mejillón	120
7.5.3 Procedimiento experimental	120
7.5.4 Determinación del CO ₂ en concha	127
7.6 Cuantificación de la Huella de Carbono del mejillón. Simulación de escenarios	127
7.6.1 Escenario de producción para un miticultor promedio	129
7.6.2 Escenario de producción Ría de Arousa	131
7.7 Tasa de Retorno Energético del mejillón	136
7.7.1 Escenario de producción para un miticultor promedio	136
7.7.2 Escenario de producción Ría de Arousa	136
7.8 Resumen resultados	137
7.9 Conclusiones	138
Referencias	139



BLOQUE III

8. Cultivo de rodaballo y Huella de Carbono	142
8.1 Equipo de trabajo	142
8.2 Resumen	142
8.3 Metodología	143
8.4 Acuicultura intensiva del rodaballo	145
8.5 Análisis de Ciclo de Vida	146
8.5.1 Análisis de Ciclo de Vida en el sector de la acuicultura	153
8.6 Cuantificación de la Huella de Carbono del rodaballo en Galicia	155
8.7 Tasa de Retorno Energético del rodaballo	157
Referencias	158

BLOQUE IV

9. Cultivo de microalgas y Huella de Carbono.....	162
9.1 Equipo de trabajo	162
9.2 Objetivos	163
9.3 Las microalgas.....	163
9.3.1 Biofijación de GEI.....	165
9.3.2 Usos y productos	166
9.4 Cultivo de microalgas	170
9.5 Cálculo de la huella de carbono	175
9.5.1 Metodología	175
9.5.2 Materiales y métodos	176
9.5.3 Mapa del ciclo de vida	181
9.5.4 Resultados	184
9.6 Conclusiones	186
9.7 Emplazamientos óptimos para el cultivo de microalgas.....	187
9.7.1 Factores internos	188
9.7.2 Factores externos	193
9.7.3 Particularidades del sector acuícola.....	197
9.7.4 Resultados	198
9.7.5 Conclusiones.....	199
Referencias	200

ANEXOS

Acrónimos	204
Glosario	205

PRÓLOGO

La acuicultura se ve amenazada, no sólo por el mejor o peor uso de los recursos acuáticos, sino también por factores externos al sector, tales como la contaminación del suelo, la transformación de usos de la tierra, otros usos de los recursos acuáticos y como no puede ser de otra forma por los cambios climáticos. Como habitantes claves de los ríos y de la costa (ya sea ribereña, lacustre o marina), los acuicultores son particularmente vulnerables a los impactos directos e indirectos del cambio climático, pudiendo predecir cambios en el medio natural y los ecosistemas, las poblaciones de peces, las operaciones de infraestructura y la pesca, así como de los medios de subsistencia.

Entre los servicios que proporcionan los océanos se encuentra la regulación climática mediante el transporte de calor entre zonas cálidas y frías de la tierra, fuente de agua para los ecosistemas terrestres mediante la evaporación y la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente el CO₂, en forma de bicarbonato. Se estima que el océano ha acumulado entre el 30 y el 40% de las emisiones antropogénicas de CO₂ a la atmósfera de forma temporal o permanente. La retención puede ser en forma de carbono inorgánico disuelto (bomba física) o en forma de organismos y sus restos (bomba biológica), también denominado carbono particulado biogénico: orgánico o inorgánico (materia orgánica particulada, conchas, esqueletos de corales, etc.).

España se enfrenta actualmente a un inmenso número de retos para dar respuesta a los efectos causados por el calentamiento global y el cambio climático: reducción de los recursos hídricos, aumento de los niveles de desertización, aumento de las temperaturas, aumento del riesgo de incendios y aumento de temperaturas extremas entre otros efectos directos. España y sus comunidades autónomas deben ajustarse a estas nuevas condiciones que van a afectar a sectores clave de la economía como la energía, el turismo y la agricultura, entre otros.

Del mismo modo, España tendrá que definir e implantar políticas y normativas destinadas a mitigar los efectos del cambio climático reduciendo las emisiones de GEI y minimizando su contribución al calentamiento global. Estos impactos indirectos del cambio climático dejarán su impronta en los mercados laborales y en el tejido empresarial.

Los impactos del cambio climático sobre las pesquerías afectarán a la acuicultura de, al menos, dos maneras diferentes: alterando la disponibilidad de peces para los pescadores (impacto directo) y variando el precio y la disponibilidad de productos de la pesca y



los insumos de la pesca (impacto indirecto). El cambio climático impactará a través de un amplio abanico de sectores y es probable que tenga efectos sinérgicos con un gran número de presiones socioeconómicas y ambientales. Adicionalmente, la interacción entre los distintos sistemas y el potencial de los procesos en un sistema debe ser considerado de forma directa o indirecta.

Las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático son de sobra conocidas por gestores y políticos encargados de la toma de decisiones, pero la voluntad política es, a menudo, insuficiente. Para aumentar la capacidad de recuperación ante los efectos del cambio climático y obtener beneficios sostenibles, los gerentes y empresarios de la pesca y la acuicultura deben adoptar las mejores prácticas tales como el Código de Conducta para la Acuicultura de la Federación Europea de Productores de Acuicultura. Estas prácticas deben integrarse más eficazmente con la gestión de ríos, cuencas hidrográficas y zonas costeras.

La acuicultura basada en especies herbívoras puede proporcionar alimentos nutritivos con una baja huella de carbono. La producción de moluscos, como ostras y mejillones no es sólo un buen negocio, sino que también ayuda a limpiar las aguas costeras, mientras que el cultivo de plantas acuáticas puede contribuir a eliminar los desechos de las aguas contaminadas.





BLOQUE I

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento es una recopilación no exhaustiva de referencias en publicaciones científicas y técnicas sobre los impactos del cambio climático a nivel general, el papel de los océanos en la lucha contra el cambio climático y sus repercusiones en el sector acuícola y las herramientas necesarias para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por parte de dicho sector y así poder establecer estrategias de mitigación y adaptación.

El presente estudio es pionero en España y pretende recoger en un solo documento las evidencias, encontradas hasta ahora, de los efectos del cambio climático en los organismos acuáticos cultivados. Abordar este tema requiere mantener la conciencia de que, por claras que las evidencias parezcan, siempre habrá factores de incertidumbre y dificultades para su atribución unívoca. Un problema del cambio climático y sus efectos consiste en que sus manifestaciones se encuentran integradas en un sistema climático complejo, definido y forzado por múltiples elementos y presiones, en un mundo sometido a múltiples factores de cambio de origen natural y antrópico que actúan de forma conjunta, simultánea y a menudo sinérgica. En general, por ello, se argumenta que resulta inapropiado atribuir eventos particulares al cambio climático antropogénico (Parmesan et al. 2011).

El capítulo uno recopila los antecedentes e inicios del cambio climático: origen y causas del aumento de los gases de efecto invernadero, foros, reuniones y protocolos iniciales, así como los datos más representativos de las previsiones según los escenarios establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). El IPCC examina las investigaciones realizadas en todo el mundo, publica informes periódicos de evaluación (hasta ahora han sido cuatro) y elabora informes especiales y documentos técnicos. Las observaciones del IPCC, por el hecho de reflejar un consenso científico mundial y ser de carácter apolítico, representan un contrapeso útil en el debate, con frecuencia muy politizado, sobre qué se debe hacer con respecto al cambio climático.

Dando continuidad a las proyecciones establecidas por el IPCC, en el capítulo dos se hace especial referencia a los estudios publicados por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC). La OECC ha realizado desde su inicio, estudios que evidencian los efectos del cambio climático sobre los distintos ecosistemas y sectores presentes en España, haciéndonos una idea de los estudios a nivel nacional que relacionan el cambio climático y el sector acuícola. El capítulo tres incluye una revisión bibliográfica de los estudios que evidencian cambios indirectos en los organismos cultivados debidos a cambios en la temperatura y precipitación global. Considerando el aumento de temperatura global, se predice que, estos cambios, serán más significativos en las aguas frías y que afectarán con más relevancia a la



acuicultura de las regiones templadas, donde se cultivan salmónidos y moluscos, los cuales a su vez contribuyen a la mitigación del cambio climático mediante la fijación de CO₂, en forma de bicarbonato cálcico, en sus conchas. Estos organismos son especialmente sensibles debido a las variaciones de los afloramientos de aguas profundas, ricas en nutrientes, además de otras consecuencias como la acidificación del agua de mar o la aparición de floraciones de algas nocivas. También se ve que es probable que el impacto del cambio climático en las poblaciones de peces salvajes 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, 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.

Existen herramientas e indicadores que establecen los pasos necesarios para mitigar el cambio climático a través de la reducción de los GEI. Las distintas metodologías y herramientas se definen en el capítulo cuarto “Indicadores para calcular las emisiones de GEI”. Mediante el análisis del ciclo de vida de un producto o una empresa se clasifican los impactos o fuentes principales de emisión de GEI, este análisis establece el punto de partida para la consecución de una estrategia de mitigación por parte de la empresa/organismo o producto emisor, a partir de ahí se puede calcular la huella de carbono de la empresa o producto con el fin de mejorar la eficiencia energética de la empresa así como de llegar al consumidor/usuario del producto.

En el último capítulo se concluye con algunas propuestas de mitigación y adaptación necesarias para preparar el sector de la acuicultura ante un inminente cambio climático. Las empresas disponen de herramientas para el cálculo de la energía consumida y los GEI liberados a la atmósfera, a través de las cuales pueden saber donde establecer sus medidas correctoras, pero es necesario y fundamental el apoyo institucional gubernamental de todos los países para reducir las evidencias del cambio climático global.

Con todo lo expuesto en el presente estudio y demás estudios elaborados en el marco del proyecto “Acuicultura y cambio climático” se puede pronosticar la necesidad inmediata y primordial de elaborar una evaluación del impacto del cambio climático proyectada en la acuicultura española. Esta evaluación se realizaría con el fin de identificar su vulnerabilidad explorando las opciones de adaptación que minimicen dichos impactos, contemplando distintos escenarios de cambio climático y horizontes temporales a lo largo del siglo XXI. Para ello se utilizarían trabajos previos como los escenarios climáticos por regiones realizados por la Agencia Española de Meteorología (AEMET) y los escenarios oceanográficos de Puertos del Estado.

I. EL CAMBIO CLIMÁTICO

La atmósfera terrestre cuenta con una capa natural de gases de efecto invernadero (GEI) que mantiene el planeta a la agradable temperatura de 15 °C. Los GEI causados por los seres humanos han hecho más densa esa capa, atrapando el calor y causando el calentamiento del planeta. Los combustibles fósiles son la mayor causa de esas emisiones antropogénicas de GEI. La prosperidad de nuestra civilización está alterando el clima que tanto beneficio nos ha proporcionado hasta el momento. El “manto” (o capa) de GEI que se deposita de manera natural en la troposfera, y representa menos del 1% de toda la atmósfera, desempeña la vital función de regular el clima del planeta. Cuando la energía solar, en la forma de luz visible choca con la Tierra, calienta la superficie. Por ser más fría que el Sol, la Tierra reemite esta energía al espacio en la forma de radiación infrarroja o térmica. Los GEI bloquean la salida directa al espacio de la radiación infrarroja. El “efecto natural de invernadero” resultante mantiene al planeta unos 30 °C más caliente de lo que de otra forma estaría, lo cual es esencial para la vida tal como la conocemos.

La atmósfera terrestre cuenta con una capa natural de gases de efecto invernadero (GEI) que mantiene el planeta a la agradable temperatura de 15°C. Los GEI causados por los seres humanos han hecho más densa esa capa, atrapando el calor y causando el calentamiento del planeta. Los combustibles fósiles son la mayor causa de esas emisiones antropogénicas de GEI. La prosperidad de nuestra civilización está alterando el clima que tanto beneficio nos ha proporcionado hasta el momento. El “manto” (o capa) de GEI que se deposita de manera natural en la troposfera, y representa menos del 1% de toda la atmósfera, desempeña la vital función de regular el clima del planeta. Cuando la energía solar, en la forma de luz visible choca con la Tierra, calienta la superficie. Por ser más fría que el Sol, la Tierra reemite esta energía al espacio en la forma de radiación infrarroja o térmica. Los GEI bloquean la salida directa al espacio de la radiación infrarroja. El “efecto natural de invernadero” resultante mantiene al planeta unos 30°C más caliente de lo que de otra forma estaría, lo cual es esencial para la vida tal como la conocemos.

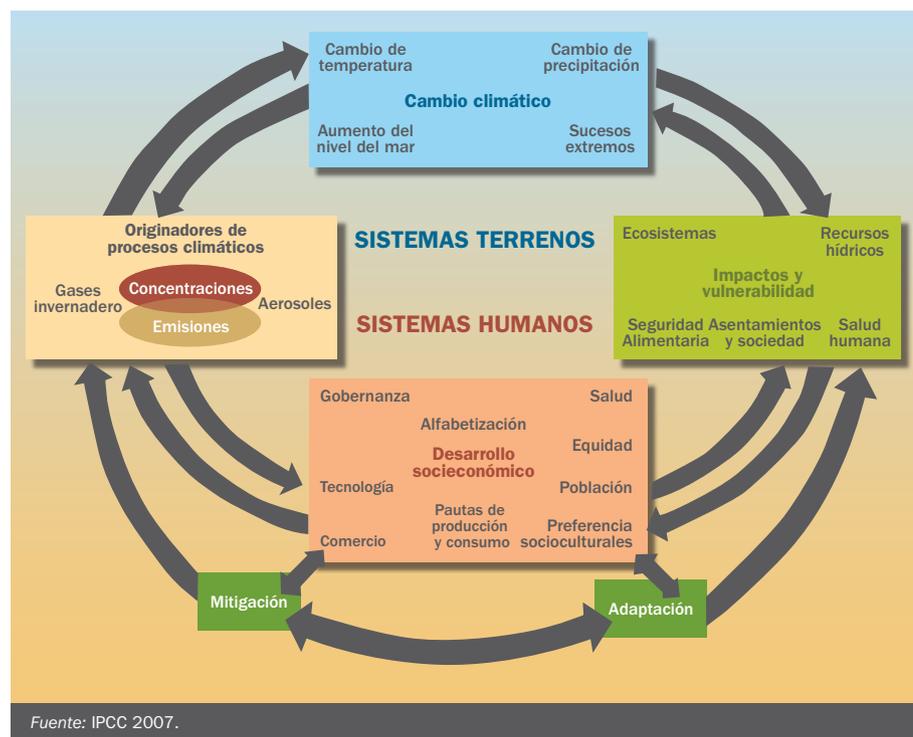
La temperatura media de la Tierra se ha mantenido estable durante los últimos 10.000 años, con una variación de menos de 1°C, lo que ha permitido a la civilización humana prosperar con una temperatura media de 15°C. El problema actual es que, desde que comenzó la revolución industrial, hace unos 250 años, nuestras emisiones de GEI se



han incrementado sustancialmente y han hecho más denso el manto a un ritmo sin precedentes. Esto ha causado el cambio más espectacular en la composición de la atmósfera desde hace, al menos, 650.000 años. La razón por la que estas emisiones “artificiales” son un problema de tal envergadura es que, a la larga, la Tierra tiene que liberar energía al mismo ritmo que la recibe del Sol. Dado que un manto de GEI más denso contribuye a reducir la pérdida de energía al espacio, el régimen climático debe ajustarse de alguna manera para restablecer el equilibrio entre la energía entrante y la saliente. El resultado se conoce como “efecto invernadero intensificado”.

El clima se ajusta a ese manto más denso de GEI en parte mediante un “calentamiento general” de toda la superficie de la Tierra y un descenso de la atmósfera. Este aumento de la temperatura va acompañado de otros cambios, por ejemplo,

FIGURA 1 Origen, impactos antropogénicos y respuestas al cambio climático



Fuente: IPCC 2007.

en la capa de nubes y el régimen de vientos. Algunos de estos cambios pueden aumentar más el calentamiento (reacciones positivas), mientras que otros pueden contrarrestarlos (reacciones negativas). Estas distintas interacciones complican los esfuerzos de los científicos para determinar con precisión cómo cambiará el clima en las próximas décadas.

La historia del descubrimiento científico del cambio climático comenzó a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el paleoclima y se identificó por primera vez el efecto invernadero natural. Sin embargo no fue hasta los años 70 del siglo XX cuando los científicos llamaron la atención internacional sobre las amenazas planteadas por el efecto invernadero.

Los combustibles fósiles son la fuente principal de las emisiones de GEI de la humanidad. La quema de carbón, petróleo y gases naturales libera miles de millones de toneladas de carbono todos los años que de otra manera habrían permanecido ocultas en las entrañas de la Tierra, así como grandes cantidades de metano y óxido nitroso. Cuando se talan árboles, y no se resiembra, se libera más dióxido de carbono.

Por otra parte, las manadas masivas de animales emiten metano, al igual que los arrozales y los vertederos de desechos. El uso de fertilizantes produce óxido nitroso. Los gases de larga duración, como los CFC, HFC y PFC, utilizados en equipos de climatización y refrigeración fabricados por la industria van a parar a la atmósfera. Muchas de estas actividades emisoras de GEI son ahora esenciales para la economía mundial y constituyen una parte fundamental de la vida moderna.

1.1 El cambio climático en datos

En el siglo XX, la superficie de la Tierra se calentó aproximadamente 0,74°C, según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). La ciencia ha logrado determinar las posibles causas de ese cambio. En el Cuarto Informe de evaluación del IPCC de 2007 se plantea que el calentamiento atmosférico es “inequívoco” y que gran parte del aumento de las temperaturas medias mundiales que se observa desde mediados del siglo XX “con toda probabilidad” se deba al aumento de los GEI provocado por la actividad humana.

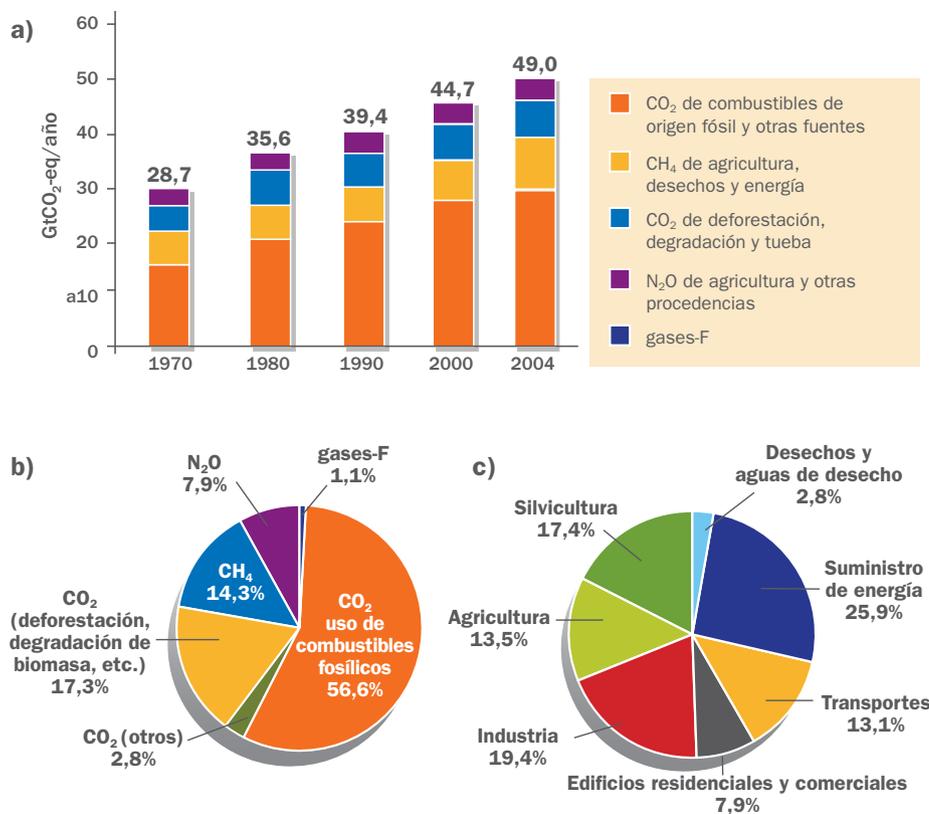
En este mismo informe de evaluación del IPCC, se observa que entre 1970 y 2004, las emisiones de GEI aumentaron en 70% y las de dióxido de carbono (CO₂), la fuente más importante con el 77% del total de emisiones, aumentaron en cerca del 80%. El IPCC llegó a la conclusión de que las concentraciones de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso



(N₂O) en la atmósfera habrían aumentado significativamente desde 1750 debido a la actividad humana y hoy día rebasan muy por encima los valores que se registraban antes del desarrollo industrial.

Las proyecciones indican que, si se permite que las emisiones aumenten a su ritmo actual y dupliquen los niveles anteriores al desarrollo industrial, para 2100 probablemente el mundo tendría que enfrentarse a un aumento de las temperaturas de entre 2°C y 4,5°C, probablemente la media sería de 3°C.

FIGURA 2 Emisiones mundiales de GEI antropogénicos



Fuente: IPCC 2007.

Algunos ejemplos de los efectos del cambio climático¹:

➤ *Para 2020, entre 75 y 250 millones de personas en África sufrirán un aumento de la escasez de agua. El rendimiento de la agricultura de secano (método predominante) podría reducirse hasta un 50% en algunos países de África.*

➤ *Si la temperatura media mundial aumenta entre 1,5°C y 2,5°C, es probable que aumente el peligro de extinción de las especies vegetales y animales en un 20 a un 30%.*

➤ *El derretimiento generalizado de los glaciares y las superficies nevadas supondrá riesgos de inundaciones repentinas y, con el tiempo, se reducirá el agua de deshielo anual que baja de las grandes cadenas montañosas (Hindu-Kush, Himalayas, Andes), donde viven más de mil millones de personas.*

➤ *Siete de cada diez desastres que ocurren tienen que ver con el clima.*

➤ *Solo en 2008 más de 20 millones de personas quedaron desplazadas por desastres súbitos relacionados con el clima. Se calcula que unos 200 millones podrían desplazarse como resultado de los efectos del clima en 2050.*

A efectos prácticos todo el mundo acepta que es imposible evitar el cambio climático en su totalidad y que la capacidad de adaptación tiene que aumentar en todas partes, incluso en los países de altos ingresos. La alteración del sistema climático se manifiesta en todo el mundo en la forma de inundaciones, sequías y olas de calor más frecuentes, cuya severidad solo irá en aumento. Se dispone de muy diversas opciones de adaptación, en particular medidas de reducción del riesgo de desastres, seguros y otros mecanismos de transferencia del riesgo. Hace falta que estas medidas se apliquen en todas partes para reducir la vulnerabilidad de las comunidades de alto riesgo a los efectos inevitables del clima.

A continuación (**Fig.3**) se pueden ver de forma esquemática algunas de las evidencias y pronósticos futuros del cambio climático:

1. IPCC, Naciones Unidas, Stern Review 2006



FIGURA 3 Evidencias presentes y pronósticos futuros del cambio climático

Aumento del calentamiento:	Desde 1850, once de los últimos doce años han registrado las temperaturas más altas en la superficie del planeta. El índice de calentamiento registrado en los últimos 50 años prácticamente duplicó el de los últimos 100 años. La temperatura media mundial aumentó en cerca de 0,74°C durante el siglo XX y ese calentamiento ha afectado más a las áreas terrestres que a las oceánicas.
La atmósfera contiene más dióxido de carbono:	El dióxido de carbono es el GEI que ha causado el cambio climático y las concentraciones aumentaron desde 278 partes –por millón (ppm) antes del período industrial a 379 en 2005.
Más agua, pero no en todas partes:	Se ha observado un aumento de las precipitaciones en las partes orientales de América del Norte y del Sur, Europa septentrional y Asia central en las últimas décadas. Pero el Sahel, el Mediterráneo, África meridional y partes de Asia meridional han sufrido sequías. Desde los años 70 se han observado en muchas regiones sequías más intensas y prolongadas.
Menos nieve:	La cubierta de nieve disminuye en la mayoría de las regiones, en particular en la primavera. La extensión máxima de la tierra congelada en invierno/primavera ha disminuido en un 7% en el hemisferio Norte desde 1900, y en promedio los ríos se congelan unos 5,8 días más tarde que hace un siglo y el hielo se rompe 6,5 días antes.
El nivel del mar aumenta:	Existe un índice de aumento del nivel del mar observado entre los siglos XIX y XX, y se calcula que el aumento total en el siglo XX haya sido de 0,17 metros. Las observaciones geológicas indican que el aumento del nivel del mar en los últimos 2000 años fue mucho menor. La temperatura media del océano mundial aumentó en profundidades de hasta 3.000 m.
Los glaciares se derriten:	Los glaciares de montaña y la capa de nieve han disminuido en ambos hemisferios, lo que ha contribuido a un aumento del nivel del mar de 0,77 mm por año entre 1993 y 2003. La regresión de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida contribuyó a un aumento del nivel del mar de 0,41 mm anuales entre 1993 y 2003.
El Ártico se está calentando:	Las temperaturas medias del Ártico prácticamente se duplicaron en los últimos 100 años.
Las nuevas proyecciones indican un calentamiento más rápido:	Si las emisiones de GEI continúan al ritmo actual o superior causarán más calentamiento e inducirán muchos cambios en el sistema climático mundial durante el siglo XXI, que, muy probablemente, serán más importantes que los observados en el siglo XX.
El grado de calentamiento depende de la cantidad de emisiones:	Si las concentraciones de dióxido de carbono se estabilizaran en 550 ppm (el doble de los niveles preindustriales), el calentamiento promedio previsto probablemente fluctuará entre 2-4,5°C.
Dióxido de carbono y Gases de Efecto Invernadero:	Existen otros GEI que contribuyen al calentamiento y si estos resultan en un nivel de dióxido de carbono de 650 ppm, el clima mundial “probablemente” se calentaría en 3,6°C, mientras que a 750 ppm se produciría un calentamiento de 4,3°C. Las proyecciones dependen de factores como el crecimiento económico, la población, las nuevas tecnologías y otros.
Cambios en las estaciones y la biodiversidad:	Cuando las temperaturas son más cálidas, los fenómenos característicos de la primavera ocurren mucho antes, como el aumento de las escorrentías y la descarga máxima en muchos ríos alimentados por glaciares y nieve, la vegetación “verdea” antes y los pájaros migran y ponen sus huevos antes de lo habitual. Asimismo, se ha observado que un mayor número de especies animales y vegetales han migrado ya hacia latitudes más altas.
Más precipitaciones en las altas latitudes:	Probablemente se registren aumentos en el régimen de lluvias de las latitudes más altas y disminuciones de las mismas en regiones de tierras más subtropicales.

Fuente: IPCC 2007.

1.2 Respuesta global ante el cambio climático

En 1988 se creó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo.

Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En comparación con lo que suele ocurrir con los acuerdos internacionales la negociación, en este caso, fue rápida. La Convención estaba lista para ser firmada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que se celebró en 1992 en Río de Janeiro, conocida como Cumbre para la Tierra. A día de hoy la Convención cuenta con un número de miembros que la hace casi universal, las denominadas “Partes en la Convención” son los 195 países que la han ratificado.

Hoy en día el IPCC tiene una función claramente establecida. En vez de realizar sus propias investigaciones científicas, examina las investigaciones realizadas en todo el mundo, publica informes periódicos de evaluación (hasta ahora han sido cuatro) y elabora informes especiales y documentos técnicos.

Las observaciones del IPCC, por el hecho de reflejar un consenso científico mundial y ser de carácter apolítico, representan un contrapeso útil en el debate, con frecuencia muy politizado, sobre qué se debe hacer con respecto al cambio climático. Los informes del IPCC se utilizan con frecuencia como base para las decisiones adoptadas en el contexto de la CMNUCC, y desempeñaron un papel importante en las negociaciones que culminaron con la aprobación del Protocolo de Kyoto en Japón en 1997.

El Protocolo de Kyoto establece la obligación legal de los países desarrollados signatarios de cumplir metas de reducción de las emisiones. El Protocolo de Kyoto entró en vigor el 18 de noviembre de 2004, después de su ratificación por 55 Partes en la Convención, entre ellas un número suficiente de países industrializados que representaban el 55% de las emisiones de dióxido de carbono en 1990. Estas Partes acordaron cumplir metas obligatorias en relación con las emisiones en el período 2008-2012. Para ayudar a los países industrializados a cumplir sus metas obligatorias y promover el desarrollo sostenible en los países en desarrollo, el Protocolo de Kyoto estableció tres mecanismos innovadores: el mecanismo para un desarrollo limpio (MDL), la aplicación conjunta y el comercio de los derechos de emisión.



En el marco del Plan de Acción de Bali (2007) 187 países acordaron proseguir las negociaciones con el objetivo de fortalecer las actividades internacionales destinadas a abordar el problema del calentamiento del planeta incidiendo en los cuatro pilares fundamentales de la respuesta mundial ante el cambio climático: mitigación, adaptación, tecnologías y financiación.

La Conferencia de las Partes 16 (CP16) celebrada en Cancún en 2010 llegó a un consenso sobre los cuatro pilares antes mencionados, constituyendo un paso significativo hacia un acuerdo internacional jurídicamente vinculante. Los países trabajan en hacer operativos lo que se conoce colectivamente como Acuerdos de Cancún, que incluyen la decisión de entablar negociaciones en torno al segundo período de compromiso del Protocolo de Kyoto, que comenzó en 2013. Los principales objetivos de los Acuerdos son la mitigación, transparencia de las medidas, tecnología, financiación, adaptación, bosques y fomento de la capacidad. Estos Acuerdos fueron celebrados como un logro de la comunidad internacional, suponiendo la base para el mayor esfuerzo colectivo que los países del mundo han hecho nunca por reducir las emisiones.

La Conferencia de Doha en 2012 consiguió consolidar los logros de los anteriores tres años de negociaciones. Entre las muchas decisiones que se tomaron se destacan las siguientes tres: simplificar las negociaciones con el fin de concentrarse en las nuevas tareas para llegar a un acuerdo en 2015, enfatizar la necesidad de aumentar las ambiciones a la hora de reducir los GEI y ayudar a los países vulnerables a adaptarse y, continuar avanzando hacia el establecimiento financiero y tecnológico y las nuevas instituciones que hacen falta para que se invierta en energías limpias y crecimiento sostenible en países en desarrollo.

1.2.1 Mitigación

Para que la hipótesis de un posible aumento del 25 al 90% en las emisiones de los seis principales GEI para 2030 frente al registrado en 2000 no se cumpla, tanto los países desarrollados como los países en desarrollo tienen que adoptar medidas de mitigación “medibles, comunicables y verificables”.

Durante la Conferencia sobre el cambio climático de Cancún, en 2010, los gobiernos allí presentes acordaron, entre otras cosas, que las emisiones tenían que reducirse para que el aumento de las temperaturas a nivel mundial quedase limitado a menos de 2°C. Hasta la fecha, la mayoría de los países desarrollados han anunciado reducciones relativas a los objetivos de mitad de período para 2020, pero muchos de esos objetivos quedan muy por debajo del umbral establecido por el IPCC para 2020 de

situarse entre el 25 y el 40% por debajo de los niveles de 1990, necesario para limitar el aumento de la temperatura a 2°C. Las emisiones mundiales tienen que llegar en 2015 a un máximo e ir disminuyéndose posteriormente hasta alcanzar una reducción del 50% para 2050 a fin de evitar los peores efectos del cambio climático.

Existen básicamente dos criterios para abordar el cambio climático:

- 1)** reducir las emisiones de los gases que están causando el problema y,
- 2)** adoptar medidas que permitan a las personas y a las comunidades hacer frente a los efectos del cambio climático.

La mitigación guarda relación con las políticas y medidas destinadas a reducir las emisiones de GEI. Las medidas pueden incluir la reducción de la demanda de bienes y servicios que provocan grandes emisiones, el impulso al aumento de la eficiencia y un mayor uso de tecnologías de bajas emisiones de carbono y de energías renovables. Con políticas correctas, el aumento del nivel de GEI en la atmósfera puede ralentizarse y con el tiempo estabilizarse.

Otra manera de mitigar los efectos del cambio climático es mejorar los “sumideros²”. Dejar los actuales bosques intactos y plantar nuevos árboles son dos ejemplos de cómo esto se puede lograr. El Programa de colaboración de las Naciones Unidas para reducir las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal, lanzado en septiembre de 2008, se centra en estos aspectos de la mitigación.

1.2.2 Adaptación

Así como la mitigación se ocupa de las causas del cambio climático, la adaptación se centra en sus efectos, y en la adopción de políticas y prácticas efectivas que doten a la sociedad de las condiciones y requisitos necesarios para hacer frente a los efectos del cambio climático, admitiendo los evidentes cambios.

La adaptación es un proceso mediante el cual las sociedades crean mejores condiciones para hacer frente a un futuro incierto. Las opciones de adaptación son muchas y van desde opciones tecnológicas como el aumento de la protección contra las marejadas o la construcción de viviendas sobre pilotes contra las inundaciones hasta un cambio en el comportamiento a nivel individual, como el ahorro de agua en tiempos de sequía.

2. Depósitos que absorben CO₂, e.j. los bosques o las turberas. Véase capítulo 4.3.



Otras estrategias de adaptación son los sistemas de alerta temprana en relación con fenómenos extremos, el perfeccionamiento de la gestión de los riesgos, las opciones de seguros y la conservación de la diversidad biológica para reducir los impactos del cambio climático en las personas.

Existen distintas opciones de adaptación según sectores:

- **Agua:** aumento de la recogida de agua de lluvia, almacenamiento de agua, conservación,
- **Agricultura:** ajuste de las fechas de siembra y de la variedad de los cultivos, reubicación de los cultivos,
- **Infraestructura (incluidas las zonas costeras):** creación de marismas como buffer contra el aumento del nivel del mar y las inundaciones,
- **Energía:** utilización de fuentes renovables, rendimiento energético.

Los seres humanos han estado adaptándose al cambio en las condiciones climáticas durante siglos. Sin embargo, el cambio climático que el mundo está experimentando tiene lugar con mucha más rapidez que en ningún otro momento en la Tierra en los últimos 10.000 años. Países, comunidades y ecosistemas vulnerables ya están sintiendo los efectos del cambio climático. Los riesgos relacionados con los cambios climáticos son reales y están ocurriendo en muchos sistemas y sectores esenciales para los medios de subsistencia humana, entre ellos los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y la salud. Los países en desarrollo y los países menos adelantados son los más vulnerables a los impactos del cambio climático, sin embargo son los que más capacidad, servicios energéticos, infraestructura y tecnologías agrícolas necesitan para adaptarse a él. Los pequeños Estados insulares en desarrollo son los que hacen frente a mayores riesgos de aumento del nivel del mar, erosión de las playas y graves fenómenos climatológicos, que repercutirán en sectores económicamente importantes como el turismo y la pesca.

Las demoras en la aplicación de las medidas de adaptación, incluso en la financiación y el apoyo a la adaptación de los países en desarrollo, a la larga equivalen a un aumento de los costos y a más peligros para más personas en el futuro.

1.2.3 Tecnologías

La investigación, el desarrollo tecnológico, la innovación y en último término la transferencia de tecnologías ambientalmente racionales orientadas a la mitigación y adaptación son esenciales para reforzar los esfuerzos mundiales de lucha contra el cambio climático. Las tecnologías de bajas emisiones pueden utilizarse en todos los sectores de la economía y en el día a día de cada uno para mitigar el cambio climático.

La Convención Marco detalla las responsabilidades específicas de los países industrializados de promover, financiar y transferir tecnologías a los países en desarrollo. En un claro reconocimiento de la importancia del acceso de estos países a la energía para un desarrollo económico sostenible, contribuyendo al logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, concretamente a los dos últimos objetivos: garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar una alianza mundial para el desarrollo.

En el Plan de Acción de Bali se pidió “la intensificación de la labor relativa al desarrollo y la transferencia de tecnología en apoyo de las medidas de mitigación y adaptación”, lo que incluía:

- Acelerar el despliegue, la difusión y la transferencia de esas tecnologías,
- Cooperar en la investigación y el desarrollo de tecnologías existentes, nuevas e innovadoras,
- Examinar la eficacia de los mecanismos e instrumentos para la cooperación tecnológica.

En este contexto, las conversaciones sobre el cambio climático ponen de relieve la importancia de incorporar perspectivas regionales en las transferencias de tecnología y el cambio de las modalidades de desarrollo macroeconómico a otras que sean más sostenibles.

1.2.4 Financiación

La financiación del clima es uno de los aspectos más importantes de los esfuerzos que realiza el mundo para buscar soluciones al problema del cambio climático.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en Copenhague en 2009, los países industrializados acordaron el objetivo de movilizar 100 mil millones de dólares anuales hasta 2020 a fin de apoyar las actividades de mitigación y adaptación en los países en desarrollo.

Los gobiernos que son miembros de la CMNUCC han establecido algunas oportunidades de financiación para proyectos de adaptación, entre otros, mediante el Fondo Fiduciario del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y los tres fondos especiales: el Fondo para los Países Menos Adelantados, el Fondo Especial sobre el Cambio Climático y el Fondo de Adaptación, establecidos en virtud del Protocolo Kyoto.

El FMAM proporciona subsidios a los países en desarrollo para proyectos en seis áreas: biodiversidad, cambio climático, aguas internacionales, degradación del suelo, la capa de



ozono y los contaminantes orgánicos persistentes. El Fondo ayuda a los países a cumplir las obligaciones contraídas como signatarios, desembolsando unos 250 millones de dólares anuales en subvenciones para actividades relacionadas con la energía limpia.

Los compromisos firmes con la mitigación interna y la introducción de nuevos instrumentos públicos basados en el establecimiento de precios al carbono son importantes para movilizar la financiación del clima, tanto pública como privada. Los instrumentos basados en la fijación de precios al carbono son especialmente atractivos porque ambos recaudan ingresos y proporcionan incentivos para aplicar medidas de mitigación.

En el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), los países industrializados pueden invertir en proyectos de reducción de las emisiones en los países en desarrollo en lugar de reducir más las emisiones en su propio territorio, lo cual resultaría más costoso. De esa manera, se logran reducciones de las emisiones de GEI a bajo costo en todo el mundo.

Se espera que los proyectos de los países en desarrollo, con arreglo al MDL, produzcan unos 1.900 millones de unidades certificadas de reducción de las emisiones, equivalente cada una a una tonelada de CO₂, al finalizar el primer período de compromiso del Protocolo de Kyoto en 2012.

Un precio del carbono que refleje el costo real de las emisiones de GEI daría indicios a las distintas empresas y hogares de que reduzcan las emisiones y estimularía la investigación y el desarrollo de tecnologías que emitan poco carbono.

La característica central del Protocolo de Kyoto es su requisito de que los países acepten compromisos de reducir las emisiones, obligatorios según el derecho internacional en una palabra, topes. Y la adopción o imposición de topes crea una mercancía, las unidades de emisión, que se pueden negociar o vender. La posibilidad de negociar unidades de emisión da a los países o empresas cierta flexibilidad en el cumplimiento de sus requisitos de reducción de las emisiones, lo que reduce los costos económicos y proporciona un incentivo financiero basado en el mercado para la reducción de las emisiones.

Sobre la base del principio de que una reducción de las emisiones lograda en un lugar tiene los mismos efectos benéficos que la lograda en otro lugar, el Protocolo de Kyoto prevé tres mecanismos flexibles: comercio de los derechos de emisión, MDL y aplicación conjunta. Estos mecanismos se han concebido para estimular las inversiones en países no industrializados o economías en transición y tienen por finalidad facilitar la reducción de las emisiones de manera eficaz desde el punto de vista económico.

Los países que tienen compromisos firmes de reducir sus emisiones en virtud del Protocolo de Kyoto pueden adquirir unidades de emisión de otros países que tengan compromisos análogos y utilizarlas para cumplir sus metas de emisión. Esto permite a los países aprovechar oportunidades de más bajo costo para reducir las emisiones. Un componente importante del comercio de los derechos de emisión previsto en el Protocolo de Kyoto es el registro internacional de transacciones, instrumento basado en un programa informático para la transferencia de unidades de reducción de las emisiones entre países en condiciones de seguridad. El registro de transacciones se ha puesto a prueba y se espera que esté en pleno funcionamiento a tiempo para el inicio del primer período de compromiso previsto en el Protocolo en 2008.

1.3 Respuesta de España

1.3.1 Organismos involucrados

Para afrontar un fenómeno tan diverso y complejo como el del cambio climático, es indispensable un esfuerzo continuado y un enfoque global orientados a identificar estrategias, políticas e instrumentos que permitan desarrollar medidas efectivas de actuación contra el cambio climático. Entre otros organismos que, en el ámbito nacional, desempeñan diferentes funciones en la lucha contra el cambio climático podemos mencionar los siguientes: Oficina Española de Cambio Climático, el Consejo Nacional del Clima, la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático y la Comisión Interministerial para el Cambio Climático.

La Oficina Española de Cambio Climático (OECC), creada en 2001 (Real Decreto 376/2001) como órgano colegiado dependiente de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente para desarrollar las políticas relacionadas con cambio climático, tiene como principal objetivo contribuir a la mejora de la sensibilización y concienciación de los ciudadanos sobre las causas y efectos derivados del cambio climático. La OECC dirige y coordina la ejecución de las competencias que corresponden a este departamento en relación con la formulación de las políticas de calidad ambiental y la prevención de la contaminación y el cambio climático, la evaluación ambiental, fomento del uso de tecnologías limpias y hábitos de consumo menos contaminantes y más sostenibles.

La necesidad de promover la investigación sobre el cambio climático, el análisis de las implicaciones sociales y económicas y la creciente sensibilidad social ante el reto ambiental, estuvieron en el origen de la creación, en el año 1992, de la Comisión Nacional del Clima con los objetivos de colaborar en la elaboración del Programa Nacional del Clima, asesorar al Gobierno sobre la política referente al cambio climático y



sobre las estrategias de respuesta. El paulatino incremento de la carga de trabajo en la lucha contra el cambio climático exigía una respuesta institucional adecuada. A la OECC le corresponde ejercer las funciones técnicas y de gestión del secretariado de este órgano colegiado de acuerdo con el artículo 3.1.b del Real Decreto 401/2012, de 17 de febrero, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

La Ley 1/2005, de 9 de marzo, crea la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático (CCPCC) como órgano de coordinación y colaboración entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas para la aplicación del régimen de comercio de derechos de emisión y el cumplimiento de las obligaciones internacionales y comunitarias de información inherentes a éste.

Por último, en 2011 (Real Decreto 1886/2011), se establecen las Comisiones Delegadas del Gobierno, y se regula, en el punto tres de la Disposición adicional segunda, la composición y funcionamiento de la Comisión Interministerial para el Cambio Climático: Se crea, adscrita al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, la Comisión Interministerial para el Cambio Climático, como órgano colegiado interministerial de los previstos en el artículo 40 de la Ley 6/1997, de 14 de abril, de Organización y Funcionamiento de la Administración General del Estado, a la que corresponden las funciones de seguimiento y propuesta de las diferentes políticas relacionadas con el Cambio Climático.

1.3.2 Acciones definidas

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), a través de la OECC, lucha contra el cambio climático a través de las siguientes acciones paralelas:

- Mitigación a través de limitación de emisiones mediante acuerdos internacionales, ya que se trata de un problema que necesariamente ha de tratarse de forma global. La solución a un problema global viene de acuerdos que coordinen y complementen las acciones aplicadas en el ámbito nacional. Dichas limitaciones se aplican a través de determinadas tecnologías que permitan limitar y amortiguar las causas del cambio climático a corto, medio y largo plazo. Para esto se define el potencial técnico, económico, de mercado y socioambiental de distintos sectores de actividad como el de suministro de energía, industrial, transporte, residencial, institucional y comercial, agrario, gestión de residuos y forestal.
- Fondo de Carbono, es un instrumento de financiación para reorientar la actividad económica hacia modelos bajos de emisiones de carbono, contribuyendo, así, al

compromiso de España en materia de reducción de emisiones de GEI. El Fondo adquirirá créditos en forma de reducciones verificadas de emisiones de proyectos desarrollados en España, y de forma adicional podrá adquirir créditos internacionales generados al amparo del Protocolo de Kyoto, así como cualquier otro tipo de crédito que pueda ser objeto de negociación en los mercados de carbono.

- Mecanismos de flexibilidad y sumideros. El Protocolo de Kyoto establece tres Mecanismos de flexibilidad para facilitar a los países la consecución de sus objetivos de reducción y limitación de emisiones de GEI, estos son: el Comercio de Emisiones, el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el Mecanismo de Aplicación Conjunta. Los dos últimos se basan en proyectos debido a que las unidades de reducción de las emisiones resultan de la inversión en proyectos, adicionales ambientalmente, encaminados a reducir las emisiones antropogénicas por las fuentes, o a incrementar la absorción antropogénica por los sumideros de los GEI. España cuenta con instrumentos financieros complementarios al Fondo de Carbono en materia de asistencia técnica como las líneas de Estudios de Viabilidad (FEV) bilaterales, en relación a la financiación adicional a través de Créditos de Fondo de Ayuda al Desarrollo (FAD), líneas ICO, COFIDES, etc.
- Comercio de derechos de emisión, regulado por la Ley 1/2005 fomenta la reducción de emisiones en el sector industrial y de generación eléctrica. Este régimen afecta a 1.100 instalaciones y un 45% de las emisiones totales nacionales de GEI. Esta ley aprueba Planes Nacionales de asignación de derechos de emisiones asignados a España.
- Impactos, vulnerabilidad y adaptación. La respuesta española frente a estos factores es el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) que establece el marco de referencia y coordinación nacional para las iniciativas y actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.
- Educación, formación, sensibilización del público. La OECC, de acuerdo a lo establecido en el artículo 6 de la CMNUCC y el Programa de Trabajo de Doha que lo desarrolla, trabaja para facilitar, intercambiar y difundir información que contribuya a la sensibilización de los ciudadanos en este tema y desarrolla las actividades de información, formación y sensibilización en colaboración con el Centro Nacional de Educación Ambiental (CENEAM).

II. EL SECTOR DE LA ACUICULTURA EN ESPAÑA

La acuicultura en España aún es un sector joven, ya que aunque lleva en funcionamiento desde hace más de 100 años, fue principalmente la década de los 90 donde dio el gran salto en cuanto a su producción. Posteriormente, ha seguido creciendo pasando por períodos de estancamiento como el más reciente debido a la crisis económica mundial de 2007.

A la hora de analizar los distintos impactos bioclimáticos en España se hace necesario realizar una descripción previa del sector acuícola en nuestro país. Para ello es preciso contextualizar en función del marco geográfico y sectorial, considerando los distintos tipos de sistemas y especies cultivadas.

2.1 Situación actual

Los principales grupos de especies que se crían en España son moluscos y peces, mayoritariamente mejillón (*Mytilus galloprovincialis*), dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*), y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y trucha común (*Salmo trutta*), pero si tenemos en consideración el conjunto del sector podríamos hablar de más de una veintena de especies con producciones diversas. Si atendemos a los sistemas productivos, el más característico es la batea, en las rías gallegas, y, más recientemente, los viveros flotantes en la vertiente mediterránea y atlántica (Canarias).

Según los últimos datos facilitados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), correspondientes al año 2011, la actividad acuícola en España se sustenta sobre unos 5.120 establecimientos con producción, de las cuales, la gran mayoría (71%) pertenecen a cultivos verticales, principalmente, bateas. El 96% de las instalaciones se ubican en zonas marinas y el resto en aguas continentales.

La producción española de acuicultura: continental y marina, alcanzó en el año 2011 las 274.252 toneladas, lo que representa un aumento en torno al 8% respecto a las 253.842 toneladas que se produjeron en el año 2010.

La **Figura 4** muestra la producción según tipo y origen del agua, de aquí se desprende que la acuicultura marina, a su vez, está representada por los moluscos en un 82% y un 17% a los peces. En términos económicos y como se muestra en la **Figura 5** la acuicultura tuvo un valor de 446.356 € en 2011.

BLOQUE I

II. EL SECTOR DE LA ACUICULTURA EN ESPAÑA

FIGURA 4 Producción en función del tipo y origen del agua

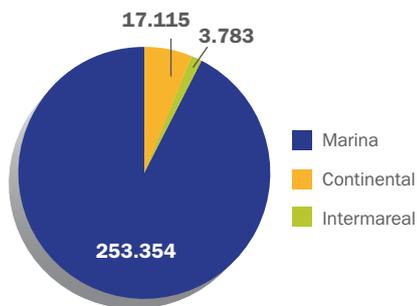
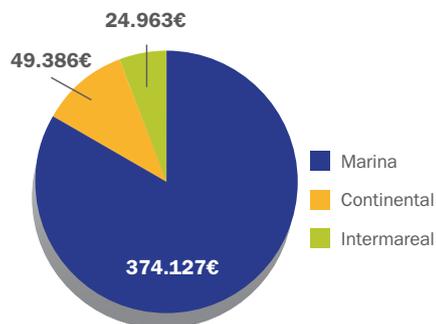


FIGURA 5 Valor económico de la producción en función del tipo y origen del agua



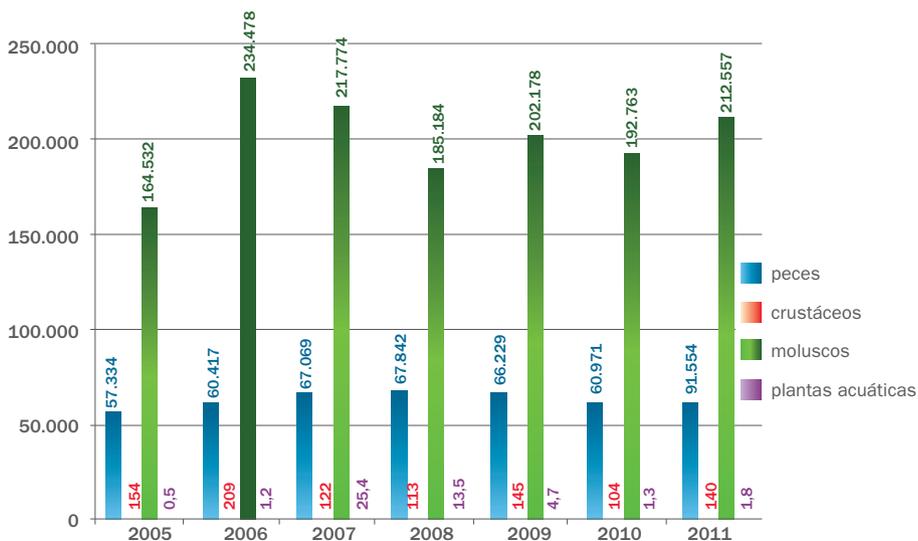
Fuente: MAGRAMA 2011.

En la **Figura 6** se observa la evolución acuícola desde 2005 hasta 2011 según grupos de especies en toneladas, apreciándose un ligero aumento en la producción de moluscos.

Este aumento es todavía más ralentizado para el caso de los peces que, como se puede apreciar en la siguiente (**Fig.7**), es debido fundamentalmente a los peces de agua marina, es decir, dorada, lubina, rodaballo y corvina. En cuanto a la acuicultura continental, prácticamente de trucha, se observa una disminución continuada en el tiempo.

La acuicultura española tiene la intención de crecer durante los próximos años persiguiendo el objetivo marcado en la “Estrategia de Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Española” (FOESA, 2013) de duplicar su producción para el año 2030 alcanzando las 520.000 toneladas, con un valor económico de 1.100 M€ y proporcionar trabajo a 37.000 personas. Este documento, sirve de base a otros como el Plan Plurianual de la Acuicultura Española, que se presenta ante la Comisión Europea en 2014, el cual pretende definir las líneas estratégicas a desarrollar de aquí al horizonte 2020 para que este sector alcance los objetivos de aumentar su producción.

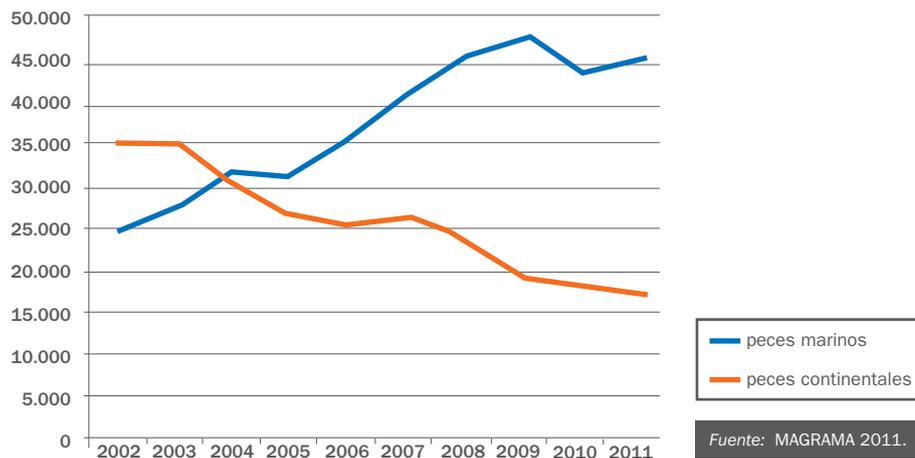
FIGURA 6 Producción por grupo de especies



Fuente: MAGRAMA 2011.



FIGURA 7 Evolución producción peces



2.2 Organización del sector

En términos generales se puede decir que el sector acuícola en España está muy atomizado y la organización sectorial se subdivide por especies y origen del agua. Para hacernos una idea de la situación basta con mirar al sector del mejillón en Galicia, de los 5.120 establecimientos que se registraron en España en 2011, unos 3.600 son cultivos verticales correspondientes a bateas, y los empresarios y propietarios de las mismas aunque sí es cierto que están asociados y agrupados no conforman una sola asociación o federación que aglutine al 100% del sector mejillonero. No obstante, este sector es el que mayor asociatividad presenta, dado el volumen de producción y la importancia socioeconómica de la actividad, principalmente en Galicia. Así, a nivel nacional podemos encontrar más de 30 asociaciones, casi todas en Galicia, aunque son tres, las principales, asociaciones que representan al 97% de los productores: Organización de Productores de Mejillón de Galicia (OPMEGA), integrada en la Asociación Europea de Organizaciones de Productores; la Asociación Gallega de Mejilloneros (AGAME) y la Federación de Asociaciones de Mejilloneros de Arosa y Norte (FARN). Cataluña también tiene una larga tradición en el cultivo de moluscos, como el mejillón, en zonas como el Delta del Ebro. En esta CCAA, los productores de mejillón se agrupan en cuatro asociaciones: Asociación de Productores Bahía de Alfacs, Asociación de Productores Bahía del Fangar, Asociación de Productores

de Moluscos Golfo de Sant Jordi y Unión de Productores de Moluscos del Delta del Ebro. Por otra parte, cabe mencionar la existencia de otra asociación que engloba a los productores de la Comunidad Valenciana, con una representación menor en el conjunto de la producción nacional, se trata de la Unión Mejillonera del Puerto de Valencia.

Respecto a la estructura organizativa del sector ostrícola, esta está formada por dos organizaciones de productores de ámbito nacional: la Organización de Productores Ostrícolas de Galicia (OPOGA), que aglutina al 70% de los productores gallegos y en torno al 50% de la producción nacional; y la Organización Nacional de Productores de Ostra y Almeja (ONPROA).

El sector de la acuicultura continental está representado en tres grandes organizaciones de productores, que engloban a la mayor parte de las empresas del sector según su actividad y territorialidad: la Organización de Productores Piscicultores, la Organización de Productores de Acuicultura Continental (OPAC) y la Organización Interprofesional de la Acuicultura Continental Española (AQUAPISCIS). Por otro lado y a nivel de la CCAA de Galicia, existe ATRUGAL, que engloba la Organización de Productores de Trucha, la Agrupación de Defensa Sanitaria-Ganadera de la Trucha y la Asociación Gallega de Piscifactorías de Trucha. Recientemente han sido constituidas dos nuevas asociaciones nacionales de acuicultura continental: Asociación Nacional de Acuicultura Continental (ESACUA) y la Asociación de Ciprinicultores y de Acuicultura Continental de Aguas Templadas (AECAC). Por otra parte, existen más de 10 asociaciones de productores de carácter local, situadas en las distintas CCAA con producción de trucha, tenca, etc., y relacionadas tanto con producción comercial como pesca deportiva.

La estructura organizativa del sector de la acuicultura marina está constituida por una única asociación de ámbito nacional, la Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos (APROMAR), también perteneciente a la Federación de Productores Acuicultores de Europa (FEAP). En APROMAR se integran, además de empresarios individuales las principales asociaciones regionales como la Asociación de Empresas de Acuicultura Marina de Andalucía (ASEMA), la Asociación Canaria de Empresas de Acuicultura (ACEAC), la Asociación de Productores de Rodaballo de Galicia (AROGA), las empresas productoras de piensos: Skretting, Dibaq y Biomar y otras empresas proveedores de productos y servicios vinculados a la acuicultura. En España existe también una Asociación Nacional de Acuicultura del Atún Rojo (ANATÚN).

Es importante destacar que a nivel de Asociaciones de Defensa Sanitaria (ADS) es, en este subsector, donde se dan más entidades ya constituidas en ADS.

III. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA

El presente capítulo ha sido elaborado a partir de diversos documentos publicados por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) tales como: “Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático” y los derivados del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático como “Evidencias del cambio climático y sus efectos en España” o “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España” de la AEMET, entre otros.

3.1 Clima pasado, presente y futuro

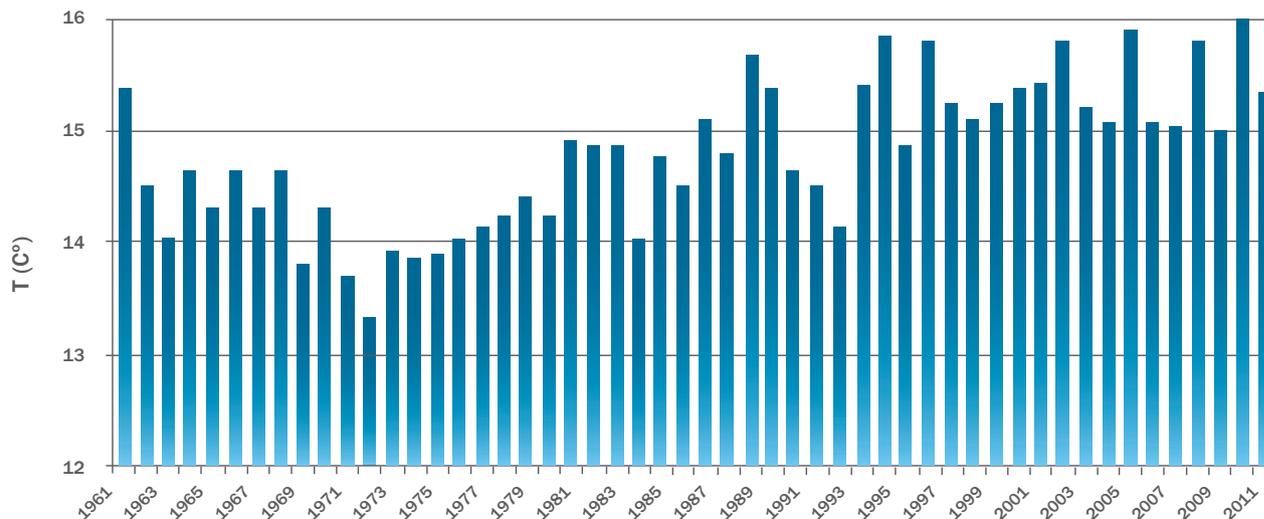
El clima en España, sin duda, se caracteriza por su situación geográfica abarcando zonas muy diversas y extremas, desde los Pirineos al norte a las zonas más áridas del sureste como Almería pasando por el clima subtropical de las Islas Canarias. Su complejidad orográfica ocasiona la existencia de ecosistemas y hábitats tan diversos que hacen de España un país con una notable variedad climática, sin olvidarse de la influencia del océano Atlántico y del mar Mediterráneo que bañan gran parte de nuestros límites. Todo esto hace que la Península e islas sean muy vulnerables frente a los cambios climáticos acentuándose aún más los efectos. El fenómeno de variabilidad climática del hemisferio norte más influyente en la Península Ibérica es la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), la cual presenta una estrecha vinculación con la temperatura y con la variación interanual y decenal de la precipitación. Las proyecciones de clima para el siglo XXI muestran una tendencia positiva de dicha oscilación, lo que se traduce en una disminución de la precipitación peninsular, sobre todo en la mitad sur, y un incremento general de temperatura en la Península Ibérica. La influencia de El Niño en la Península Ibérica, sin embargo, es menos clara pero significativa en las temperaturas y precipitaciones de otoño y primavera.

La posición de España, en latitudes medias, provoca la existencia de estaciones climáticas claramente diferenciadas permitiendo realizar estudios detallados a partir de datos observados. Así, según Rodríguez et al. (2012) parece que para finales del siglo XXI las estaciones a lo largo del año sufrirán alteraciones respecto al clima presente, motivado en gran parte por la desaparición del invierno, el resto de estaciones se alargan, adelantándose la primavera y el verano y atrasándose el otoño.

3.1.1 Temperatura

Las temperaturas del aire muestran un calentamiento generalizado al alza en todo el territorio español, con incrementos entre 1-2°C en el periodo comprendido entre 1850 y 2005

FIGURA 8 Serie de temperaturas medias anuales sobre España



Fuente: AEMET 2012.

(VAA 2011). Durante el siglo XX, y particularmente a partir de 1973, las temperaturas en España han aumentado de forma general (Castro et al. 2005). Los registros instrumentales del siglo XX y XXI en la Península Ibérica muestran un aumento progresivo de la temperatura (**Fig.8**) que ha sido especialmente acusado en las tres últimas décadas, en que se registra una tasa media de calentamiento aproximada de 0,5°C/década (un 50% superior a la media continental en el hemisferio norte y casi el triple de la media global). La subida de temperatura ha afectado a todas las estaciones del año por igual, pero en los últimos 30 años el calentamiento ha sido mucho más pronunciado en primavera y en verano.

Las regiones españolas más afectadas por el calentamiento son las situadas en la mitad oriental peninsular, desde Girona hasta Málaga. La temperatura media ha aumentado en 36 de los 38 observatorios analizados de forma estadísticamente significativa al 95%. Como ejemplo, en Madrid, el aumento de temperatura en el último siglo y medio, descontando el efecto de isla térmica, ha sido superior en un 50% a la media del hemisferio norte.

Los siete años más calidos registrados han sido por este orden: 2011, 2006, 1995, 2009, 1997, 2003 y 1989 (Brunet et al. 2008, AEMET 2012). El año 2011 fue extre-



madamente cálido, con una temperatura media estimada de 16°C, que superó en 1,4°C al valor medio normal (período de referencia 1971-2000). Se trató del año más cálido de la serie histórica, con una temperatura media algo superior a la del año 2006 que con 15,9°C había sido el más cálido hasta el presente (AEMET 2012).

Según el informe “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España” (AEMET 2009) podemos adelantar que en base a los escenarios A2 y B2 previstos por el IPCC, basados en escenarios con emisiones medias-altas y medias-bajas, respectivamente, España verá su temperatura máxima aumentar en 1-2°C para el período 2011-2040, de 3-5°C durante el período 2041-2070 y de 5-8°C el último tercio del siglo XXI, es decir, 2071-2100. Atendiendo al escenario B2 las temperaturas máximas, sin embargo, serán 2°C más bajas durante el último tercio del siglo XXI. En lo que respecta a las temperaturas mínimas, estas aumentarán entre 4-6°C durante el último tercio del siglo XXI. Esto se verá reflejado en mayores oscilaciones térmicas diurnas debido al mayor incremento de la temperatura máxima y disminución de la temperatura mínima.

3.1.2 Precipitación

La variable de la precipitación no muestra un comportamiento tan definido como la temperatura. Las series pluviométricas más largas de la Península Ibérica, desde el siglo XIX, no muestran una señal clara o una tendencia general significativa. Una investigación sobre las 53 series pluviométricas anuales más largas en España disponibles hasta 1990 dio como resultado un mapa sin una tendencia definida en la zona central, pero con un cierto apunte al alza en el norte y noroeste peninsular y una tendencia decreciente en el sur y el sureste peninsular. Otro análisis sobre 40 observatorios peninsulares y de Baleares, durante el período 1880-1992, muestra un comportamiento diferenciado entre la franja norteña ibérica, con tendencia al alza, y el interior y la fachada mediterránea, a la baja (Castro et al. 2005).

En la segunda mitad del siglo XX, varios estudios realizados, con datos de 1949 a 2005, revelan una tendencia claramente negativa de las lluvias en buena parte del territorio español, en particular en el Cantábrico (disminuciones de 4,8 mm/año en Santander y 3,3 mm/año en Bilbao) y en el sureste peninsular (VVAA 2007).

Cuando el análisis se refiere al último tercio del siglo XX se aprecia una reducción significativa de la cantidad de precipitación en algunas comarcas y rejillas que cubren la España peninsular y Baleares, tales como las partes oriental y pirenaica de la cuenca del Ebro, el sur de la España peninsular, la Comunidad Valenciana y otros recogidos en Castro et al. (2005). La precipitación anual en las tres décadas más recientes ha disminuido de forma significativa en la Península Ibérica en relación a las décadas de los 60 y 70. La década

2000-2010 registra los valores más bajos de precipitación anual desde el año 1950. Sin embargo, la señal de cambios en la precipitación por efecto del cambio climático es débil en comparación con la de temperatura (Bladé et al. 2010).

Si se estudia esta variable bajo los escenarios regionalizados de cambio climático de España los resultados obtenidos son parecidos a los obtenidos hasta ahora al no mostrar una tendencia tan clara como en el caso de la temperatura, aunque sí parece haber una ligera reducción de la precipitación en la mitad occidental de la Península Ibérica y un ligero aumento en la mitad oriental, esto provocaría una disminución en la garantía de los sistemas de abastecimiento, aumentando el caudal pico y con ello el área inundable, promoviendo un aumento de pérdidas por inundación, favoreciendo deslizamientos y coladas de tierra. En relación con la precipitación se prevén cambios en los volúmenes de agua en cuencas hidrográficas. Según el informe de la AEMET (2009) parece que para el último tercio del presente siglo se nota un gradiente norte-sur con mayor cambio de volumen de agua cuanto más hacia el sur, además de otro gradiente este-oeste con un mayor cambio de volumen en las cuencas mediterráneas del sureste.

Además, existen otras variables que pueden afectar a la producción acuícola en España como la reducción generalizada de la humedad relativa debido al aumento de temperatura, eutrofización, reducción en la nubosidad excepto en el noroeste peninsular y solo en los meses de invierno, cambios en la evapotranspiración sobre todo en los meses de verano y, la velocidad del viento que parece mostrar un comportamiento bastante irregular tanto espacialmente como en la distribución anual.

3.2 Cambios sobre ecosistemas acuáticos

La acuicultura, como su nombre indica, se refiere a las especies y grupos de especies que se cultivan en el medio acuático, ya sea marino, salobre o dulce, por esta razón los cambios que previsiblemente sufrirán los sistemas acuáticos son de especial importancia en este estudio y para este sector. Así, se ha subdividido el capítulo en sistemas de agua dulce y agua marina, haciendo hincapié en los posibles cambios y efectos que sufrirán los organismos que en estos ecosistemas se cultivan.

3.2.1 Ecosistemas acuáticos continentales

Las precipitaciones anuales, e incluso estacionales, son de suma importancia para la perdurabilidad de los ambientes acuáticos españoles, los cuales son extremadamente sensibles al clima, esto sucede debido a que la inmensa mayoría tiene un tiempo de residencia del agua reducido y, por tanto, depende de dicha precipitación. Tal como se ha visto anteriormente en relación a la evolución y tendencia de la precipitación cabe



esperar que estos ecosistemas se vean seriamente perjudicados, ya que los niveles y caudales de la mayoría de ríos, lagos, embalses y humedales se vinculan a la precipitación a corto plazo de modo muy directo. Además de la precipitación, la temperatura del agua de estos ecosistemas está directamente relacionada con el aumento de la temperatura global del aire causado por el efecto del aumento de GEI en la atmósfera.

España es el país del mundo con mayor número de embalses por habitante, según WWF existen alrededor de 1.300, además tenemos 2.500 lagos alpinos mayores de 0,2 ha en las grandes cadenas montañosas (Pirineos, Sierra Nevada, Sistema Central, Sistema Ibérico, Cordillera Cantábrica), 50 lagos cársticos en Ciudad Real, Cuenca, Girona, Huesca y Lleida, 11 grandes cuencas hidrográficas con numerosos cursos fluviales temporales y permanentes, más de 500 lagos generados por actividades mineras y alrededor de 800 humedales de extensión superior a 0,2 ha, incluyendo lagos someros y albuferas (Álvarez Cobelas et al. 2005).

Por todo esto se considera que España posee uno de los ecosistemas acuáticos continentales más diversos del Mundo, aunque, eso sí, de pequeño tamaño en general. Estos ecosistemas, además, están incluidos en cuencas hidrográficas muy grandes que, a menudo dependen de las aguas subterráneas y experimentan intensas fluctuaciones en su volumen, relacionadas con el balance hídrico local (principalmente por los usos para agricultura), que afectan a su funcionamiento ecológico. Su importancia internacional deriva de que: 1º) las características climáticas, geológicas, fisiográficas, hidrológicas y paisajísticas de la Península Ibérica hacen que España posea la mayor diversidad de sistemas acuáticos continentales de Europa; 2º) hay 68 Sitios Ramsar con una superficie aproximada de 285.185 ha; 3º) en su mayoría son ambientes distintos de los europeos templados fríos, con multitud de lugares endorreicos y ecosistemas temporales muy fluctuantes, los cuales tienen una flora y fauna muy singulares; 4º) muchos humedales tienen una fauna relictiva de la Era Terciaria; 5º) los lagos alpinos de Sierra Nevada son los lagos glaciares más meridionales de Europa; 6º) nuestros ecosistemas acuáticos continentales son objetivo preferente de la nueva Directiva-Marco Europea del Agua (Directiva 2000/60/CE), la cual los incluye en la Región Ibérico-Macaronésica distinguiendo los Pirineos como una región particular.

Atendiendo a los datos anteriormente expuestos, tanto a nivel internacional (IPCC) como nacional, de temperatura y precipitación y, considerando la fragilidad de los ecosistemas acuáticos continentales españoles todo apunta que existe una alta certeza de que el cambio climático hará que parte de estos ecosistemas pasen de ser permanentes a estacionales y algunos desaparecerán. Se prevé que estos ecosistemas experimentarán reducciones de la diversidad de su flora y fauna, afectando a sus ciclos biogeoquímicos, asimismo sufrirán cambios el sector turístico, la protección civil, el abastecimiento de

aguas y la pesca continental. Aunque la magnitud de estos cambios aún no puede precisarse, sí se puede prever que los ecosistemas más afectados serán: ambientes endorreicos, lagos, lagunas, ríos y arroyos de alta montaña (1600-2500 metros), humedales costeros y ambientes dependientes de las aguas subterráneas.

Un descenso de la precipitación favorecerá el incremento de la temperatura fluvial, hecho que puede ser relevante para las zonas salmonícolas. La disminución de los caudales generará un descenso en la concentración del oxígeno disuelto, especialmente importante si, además, hay contaminación orgánica y aumento de la temperatura. Los aumentos de temperatura harán ascender la nitrificación de los suelos y, por escorrentía, el nitrato en los ríos (Jenkins et al. 1993). Y lo mismo sucederá con el nitrógeno orgánico en cuencas predominantemente agrícolas (Bernal et al. 2003). Este efecto será más patente como resultado de las inundaciones intensas que tengan lugar tras las sequías, reduciendo el hábitat de los salmónidos.

En 2003 Friedland et al. relacionaron la disminución de las capturas de salmones en los ríos de la cornisa cantábrica con aumentos en la temperatura del agua de mar, producto del cambio climático. La fauna de los tramos medios puede invadir progresivamente los tramos altos si aumenta la temperatura del agua, sustituyendo a la fauna más estenoterma fría de las zonas de montaña. Como consecuencia de esto, las poblaciones de truchas autóctonas se irán fraccionando al reducirse su hábitat, hecho que favorecería procesos de deriva genética y, eventualmente, de especiación. En este proceso, las actuaciones de reintroducción y gestión de especies de interés piscícola pueden ser determinantes en el devenir de poblaciones locales. Basándonos en la temperatura del agua de los ríos también se pronostica que otras especies de peces de ambientes mediterráneos (como los de la mayoría de la Península Ibérica), que aumenten su distribución en Francia porque la proporción de especies de aguas cálidas en aguas francesas ha aumentado en los últimos 15-25 años (Daufresne y Boët 2007). Por otro lado, los cambios en los regímenes hidrológicos debidos a la fundición de las masas de nieve en alta montaña por los efectos del incremento en las temperaturas podrían favorecer la proliferación de especies como la trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*). Fausch et al. (2001) observaron que en las zonas ocupadas con éxito por esta especie las condiciones hidrológicas coincidían con la de su zona de origen donde hay inundaciones invernales y corrientes lentas en verano. La alteración de los regímenes de flujo resultantes del cambio climático puede influir en la frecuencia de los escapes desde instalaciones de acuicultura así como en la tasa de transmisión secundaria de especies no nativas a través de redes fluviales (Rahel y Olden 2008).

Recientemente, el Observatorio de Seguimiento del Cambio Global de Sierra Nevada ha publicado los resultados preliminares de un estudio en 7 ríos de Sierra Nevada más los del



Programa de Recuperación de las poblaciones de trucha común en Andalucía, en funcionamiento desde 2003. Dichos resultados indican una posible relación entre la densidad de trucha común en el Espacio Natural de Sierra Nevada y las precipitaciones acumuladas. Se ha visto que cuando las precipitaciones acumuladas son bajas, se producen descensos en la densidad de las poblaciones de trucha estudiadas, pero no de manera inmediata, sino trascurrido un tiempo desde el inicio del periodo de sequía. Por otro lado, la densidad de trucha común también se ve afectada después de un periodo de altas precipitaciones acumuladas, como las acaecidas en otoño de 2009 y principios de 2010. En ambos periodos, debido a la repentina modificación del hábitat que producen, hay una relación directa sobre las poblaciones de trucha común en el año en que ocurren, disminuyendo su densidad. La relación detectada entre el régimen pluviométrico anual y las variaciones en densidad de las poblaciones de trucha común parece indicar que esta especie es muy sensible a las variaciones ambientales, tal como demuestran la influencia de las sequías y lluvias torrenciales en el número de ejemplares detectados en los muestreos.

Otra de las afecciones del cambio climático en los ecosistemas acuáticos continentales serán las invasiones biológicas. En el caso de la ictiofauna, una de las consecuencias del aumento de la temperatura del agua es la generación de nuevos óptimos de tolerancia fisiológica que podrían permitir a especies de aguas cálidas expandirse, adaptarse y establecer poblaciones autosostenibles, así como favorecer el establecimiento de especies exóticas introducidas. Por otro lado, y como ya se ha visto, las nuevas condiciones podrían provocar un desplazamiento de las especies adaptadas a aguas más frías que dejarían así un nicho vacío potencialmente ocupable por especies exóticas. No está claro qué ocurrirá con los Ciprínidos autóctonos (barbos, boga). Pueden verse sustituidos por especies más termófilas y, en general, introducidas (black-bass, siluro, etc.). Las condiciones de bajos caudales favorecen la dominancia de especies exóticas introducidas como la perca sol (*Lepomis gibbosus*) y el black bass (*Micropterus salmoides*) sobre la comunidad íctica. Asimismo, el efecto de las especies exóticas introducidas podría amplificarse desplazando a las especies autóctonas en zonas donde pueden volverse una presa fácil por parte de especies piscívoras alóctonas (Matthews y Marsh-Matthews 2003). Además de la ictiofauna se ha observado la presencia del alga de agua dulce *Tetrasporidium javanicum* desde 2005, descubierta en los trópicos (Java, Asia), y especie indicadora de aguas turbias y de altas temperaturas. Este alga se ha visto en varias localidades de la península: Mérida (Badajoz), río Algar (Alicante), tramos bajos del río Ebro, ríos del macizo central gallego y en el norte de Portugal (VVAA 2011).

De igual manera, no hemos de olvidarnos de las charcas extremeñas, situadas en las dehesas ganaderas de Extremadura. En estas charcas crece de forma espontánea la tenca, especie muy apreciada en la cocina tradicional extremeña. Esta especie, aunque presenta

una resistencia a las condiciones adversas superior a la de la carpa y soporta mejor que la mayoría de los peces bajos niveles de oxígeno en el agua, no es inmune a los períodos de sequías causados por el cambio climático. Actualmente, esta especie sufre mucho las altas temperaturas estivales que evaporan grandes superficies de agua favoreciendo los procesos de eutrofización y, temiéndose, en un futuro, la desaparición de parte de estas charcas.

Los piscicultores continentales llevan muchos años ya luchando por un sector que experimentó un rápido crecimiento a lo largo de la década de los 90 alcanzando su máxima producción en 2001 con 35.384 toneladas, a partir de entonces la producción no ha dejado de bajar año tras año. Muchas empresas han tenido que cerrar por diversas razones, entre las que se encuentran los altos cánones de saneamiento del agua que deben pagar a sus CCAAs, la disminución de precio del la trucha en los mercados, la competencia de otros productos producidos en países en desarrollo o la competencia por los usos del agua, que se destina casi en su totalidad a la agricultura. Debido a esto, este sector ya parte con desventaja frente a las posibles medidas de adaptación. Aún así, harían falta políticas de ahorro de agua, mejora de su calidad e intensificación de las medidas de conservación de los hábitats terrestres que los rodean. Teniendo en cuenta los ya existentes conflictos por el agua que, previsiblemente, se agravarán por los efectos del cambio climático, hay una certeza razonable de que la conservación de dichos ecosistemas pueda ser la menor de las prioridades y la más fácil de ignorar.

3.2.2 Ecosistemas acuáticos marinos

España es un país con una longitud de costa de casi 8.000 Km. incluyendo los archipiélagos. Está bañada tanto por el Océano Atlántico por occidente como por el Mar Mediterráneo por oriente, lo que permite y favorece una gran diversidad de ambientes, tal como sucede con su biodiversidad terrestre. Debido a estas dos grandes influencias marinas en España se pueden encontrar ambientes con condiciones bóreo-atlánticas en la costa gallega, mediterráneas en toda la franja levantina e incluso ambientes subtropicales y macaronésicos en las costas e islas canarias.

El gran Giro Subtropical en el Océano Atlántico afecta a la costa atlántica ibérica, localizada en una zona de baja intensidad de circulación entre la Corriente del Atlántico Norte y la Corriente de Azores, ocasionando un cambio en la dirección de las corrientes. En otoño e invierno predomina la dirección al interior del Golfo de Vizcaya. En verano, a lo largo de toda la costa y coincidiendo con vientos dominantes del norte y nordeste, se producen episodios de afloramiento, algunas veces de gran intensidad, provocando las condiciones bóreo-atlánticas asociadas a la menor temperatura del agua y a un mayor contenido de nutrientes. En la costa occidental de Cádiz se produce un giro anticiclónico asociado al agua atlántica que entra al Mediterráneo por el Estrecho ocasionando afloramiento de



cierta intensidad en el Mar de Alborán. Las costas canarias orientales están influenciadas por los afloramientos en la costa sahariana disminuyendo su influencia hacia el oeste, aunque se han descrito plumas de afloramientos hasta Tenerife.

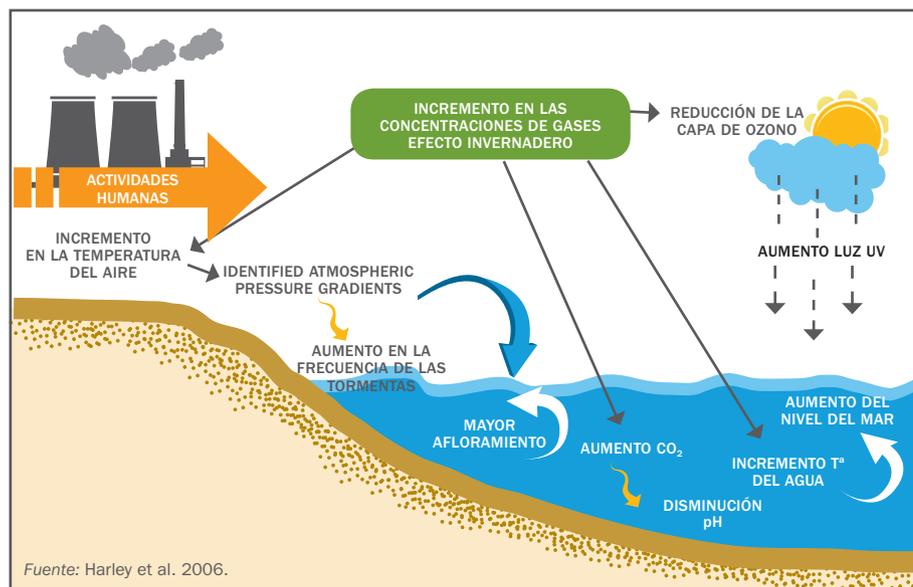
Todos estos procesos alrededor de las costas españolas explican la gran biodiversidad marina y potencialidad en los recursos. Dentro de los ecosistemas marinos con un gran valor como reservorio de biodiversidad y protegidas por la ley, en algunas regiones españolas, destacan los estuarios y marismas y las praderas de angiospermas marinas: *Posidonia oceanica* en el Mediterráneo; *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii* y *Halophila decipiens* en las aguas de Canarias; *Zostera marina* y *Z. noltii* en el Atlántico Ibérico, y los campos de algas en las zonas intermareales y submareales de las costas rocosas del Atlántico y del Mediterráneo.

Las interacciones entre la atmósfera y el océano son las causantes del clima, por tanto si las características físico-químicas del océano cambian el clima también se verá modificado. El incremento de la temperatura junto a las emisiones de CO₂ y de otros GEI desencadenan una amplia serie de cambios físicos y químicos en el medio marino (**Fig.9**)

➔.... "tanto el cambio en el régimen de lluvias como unos inviernos más cálidos están teniendo un impacto en el negocio de la recogida de la cría del mejillón y del percebe"....

.....Josefa Fernández
(mariscadora gallega),
Testigo del clima, WWF 2010

FIGURA 9 Cambios abióticos asociados al cambio climático



➤ "Hoy en día y en la misma época del año, tan sólo uno de cada cien centollos se puede pescar ya que tardan más tiempo en alcanzar su tamaño óptimo de pesca"....

"Las temperaturas del agua más elevadas parecen ser también responsables de la presencia ya habitual de especies típicas de aguas más cálidas, como la corvina, que ahora está muy extendida en la zona"....

Evaristo Fernández
(Patrón Mayor,
Cofradía de Pescadores),
Testigo del clima, WWF 2010

alterando el régimen de vientos, la temperatura, la precipitación, los afloramientos o los aportes continentales y la evaporación.

Debido a estos efectos se prevé una reducción de la productividad primaria de las aguas españolas, dadas sus características de mares subtropicales o templados cálidos. Esta disminución está relacionada con la concentración de las microalgas marinas (fitoplancton) que varían su crecimiento con los cambios en el océano asociados al incremento de la temperatura modificando la disponibilidad de nutrientes e incremento de la estratificación en aguas del talud continental u oceánicas. (Castro et al. 2009) El cambio en la productividad marina afectaría directamente a la disponibilidad de alimento para los organismos filtradores e indirectamente a toda la red trófica marina. Algunos cultivos extensivos de organismos filtradores, mejillón, almeja, podrían encontrarse entre los afectados, y también se verían afectados otros organismos de gran interés económico como el percebe. Si se produjera, como resultado del cambio climático, un cambio en la intensidad y frecuencia del oleaje se podrían ver afectadas las poblaciones de la zona intermareal, algunas de las cuales puede tener interés comercial (Borja et al. 2004). Varela et al. (2009) observaron una tendencia decreciente en la concentración de clorofila y en la abundancia de las diatomeas en las aguas costeras de Galicia.

La dispersión geográfica en la distribución de las especies vendría asociada por cambios en las propiedades termohalinas en el océano, esperando cambios en las distribuciones de muchas especies, tanto pelágicas como bentónicas. Este desplazamiento afectará a la mayoría de los grupos de organismos, tanto vegetales como animales, generando la aparición de especies de origen meridional, o la desaparición de especies de origen septentrional. Como consecuencia de estos efectos, se espera encontrar interacciones entre las nuevas y las antiguas especies, relaciones biológicas, que generen efectos indirectos no dependientes directamente del cambio ambiental. Entre las especies que pueden verse afectadas se encuentran especies anadromas (reproducción en el río y crecimiento en el mar), salmón y esturión o catadromas (reproducción en el mar y crecimiento en el río), como la anguila. Previsiblemente, también se producirán cambios en la distribución geográfica de especies costeras explotadas, o incluso modificaciones en la abundancia de sus poblaciones. Esto ocasionará la aparición de especies de peces y otros grupos taxonómicos con afinidades subtropicales expandiéndose hacia más frías del norte.

Estos cambios en composición de las comunidades se han relacionado con el reclutamiento de las poblaciones de peces amenazados por los cambios en la circulación atmosférica que repercuten en las corrientes marinas y que, a su vez, pueden modificar el transporte y supervivencia de los estadios larvarios y juveniles. Estos cambios podrían tener trascendencia económica importante en el futuro cercano. Indirectamente,



se pueden ver alterados los patrones de migración y distribución espacial de ciertos peces pelágicos oceánicos (atún rojo, atún blanco entre otros muchos) mediante cambios inducidos en la distribución y abundancia de presas.

El aumento de parásitos en cultivos de almeja y ostra puede ser otra consecuencia importante del cambio climático sobre los cultivos marinos. La reciente detección del parásito de almejas y ostras *Perkinsus* en las costas gallegas, posiblemente introducido por el cultivo de almeja y ostra japonesas, se ve favorecida por temperaturas superiores a los 20°C. Incrementos térmicos estivales podrían facilitar su expansión así como los daños provocados por estos parásitos.

En cuanto a las especies exóticas, Bañón et al. (2002) contribuyeron con cuatro citas nuevas de peces registradas en los últimos años en aguas de Galicia (noroeste de España): *Physiculus dalwigkii*, *Neoscopelus microchir*, *Pisodonophis semicinctus* y *Gaidropsarus granti*. El hecho de que especies atlánticas como *P. semicinctus* y *G. granti* se observaran anteriormente en el Mar Mediterráneo, donde no se conocían, y ahora se encuentran en aguas gallegas, representa un nuevo límite norte de su distribución en el Atlántico nororiental, y parece indicar un desplazamiento gradual de estas especies hacia el norte, usando el Estrecho de Gibraltar como válvula de escape en este movimiento norteño. Igualmente, en el Mediterráneo, así como en aguas atlánticas europeas, este fenómeno ha aumentado rápidamente en los últimos diez años. Otro ejemplo es la llegada de *Seriola rivoliana* (un pez tropical) a las aguas europeas del Atlántico; su aparición también está relacionada con el aumento de la temperatura del agua (Quéro et al. 1998).

Por todo lo anterior se prevén impactos en los cultivos marinos de especies cuyos aportes alimenticios procedan del medio natural, es decir, moluscos como el mejillón de las Rías Gallegas. Los cultivos de especies alimentados con piensos deberán verse menos afectadas. Otra cuestión es si el cambio ambiental supera los límites fisiológicos de las especies (oxígeno disuelto, temperatura, salinidad), en cuyo caso pueden producirse severos daños. Sin embargo, estos impactos también pueden generar oportunidades sobre el potencial interés comercial de algunas especies nuevas de peces subtropicales, e incluso produciendo una adaptación en el desarrollo fisiológico de moluscos bivalvos.

3.3 Cambios sobre otros sectores

De manera más indirecta existen otros ecosistemas o sectores que también se verán afectados por el cambio climático y que, consecuentemente, afectarán, de una u otra manera, al sector acuícola, objeto de este estudio. En este sentido, a continuación, se

hace una breve descripción de las repercusiones que sufrirán las especies cultivadas causadas por cambios en las costas y el medio marino, el sector energético, el turismo y los efectos sobre la salud humana.

3.3.1 Costas y medio marino

El efecto esperado más visible en las costas es el aumento del nivel del mar, esto es una consecuencia inmediata del aumento en la temperatura del mar, pues al aumentar la temperatura disminuye la densidad del agua, con lo que la misma masa ocupa un mayor volumen. Éste es el fenómeno de expansión térmica, responsable del 50% de aumento del nivel del mar durante el siglo XX. Este aumento del nivel del mar también está muy influenciado por el retroceso de los glaciares y las capas de hielo de los casquetes. Durante el siglo XX el nivel del mar creció de media globalmente 1,7 mm/año (IPCC 2007).

En España, los mareógrafos de las costas Atlánticas han registrado aumentos sostenidos del orden de 1,4 mm/año, si se considera todo el siglo XX, y de más de 2 mm/año si se considera sólo la segunda mitad del siglo XX. Por el contrario, en las costas Mediterráneas, las tendencias observadas durante la última mitad de siglo son menores e incluso negativas. La presión atmosférica, más alta de lo normal en la zona entre los años 60 y 90, y el incremento continuado de salinidad han contrarrestado, en parte, el aumento de nivel del mar observado a nivel global. Con todo, los registros del Mediterráneo Occidental que abarcan todo el siglo XX muestran tendencias positivas de 1,2 mm/año.

Este aumento del nivel del mar probablemente inducirá a un retroceso en la línea de costa y tendrá especial impacto en regiones insulares y litorales y no tanto en los ecosistemas marinos propiamente. Esto afectará a buena parte de las zonas bajas litorales que se inundarán ocasionando la desaparición de ecosistemas costeros como los deltas del Ebro y Llobregat, Doñana o La Manga del Mar Menor. La regresión de las playas estará también influenciada por la erosión, aumentarán los períodos de inundaciones afectando a las zonas urbanas cercanas a la línea de playa y la cuña salina de los estuarios ascenderá modificando los parámetros físico-químicos. Adicionalmente, el litoral también se verá afectado por los aportes de sedimentos de los ríos y las obras costeras, ambos muy influyentes en la estabilidad del litoral a corto plazo. Las zonas de hipoxia aumentarán debido a que cuando la temperatura del mar aumenta la solubilidad de los gases disminuye y con ello la concentración de oxígeno, provocando un aumento de los impactos para la vida marina.

Se ha observado una intensificación de las tormentas provocando una tendencia a una mayor duración de los temporales que ha provocado, durante los últimos 50 años, un



aumento importante de la altura de ola en el litoral cantábrico y gallego; además, se han registrado cambios en la dirección del oleaje en los archipiélagos y de forma muy marcada en el norte de Cataluña; por el contrario, en el Golfo de Cádiz se observa una tendencia clara hacia un clima marítimo más benigno, así como una disminución de la marea meteorológica en toda la costa española (Losada 2007). Según Peña (2011) las playas de España se encuentran, en su conjunto, en regresión debido a múltiples factores, argumentando que la dinámica observada en algunas no puede ser explicada solo por factores antrópicos o diferentes a las tendencias de cambio en las dinámicas marinas asociadas al cambio climático.

Anadón et al. (2009) observaron como especies bóreo-atlánticas del litoral cantábrico están sufriendo una mediterraneización, al verse sus poblaciones reducidas y desplazándose su distribución hacia el interior del Golfo de Vizcaya, siendo reemplazadas por otras de aguas más cálidas. Estos cambios son coherentes con la respuesta más probable al cambio climático de estas comunidades, y los datos disponibles parecen apoyar las predicciones realizadas a partir de los escenarios del IPCC.

Como ya se ha visto anteriormente se espera una redistribución de las especies de peces y otros grupos taxonómicos hacia el norte (Bañón 2009). En Canarias, por ejemplo, se ha visto un aumento de especies litorales de peces óseos de procedencia tropical en las últimas décadas, algunas de las cuales han creado poblaciones estables, destacando el gallo aplomado (*Canthidermis sufflamen*) y el caboso tropical (*Gnatholepis thomsoni*) (Brito 2008). Por otro lado estaría, por ejemplo, la estrella *Marthasterias glacialis*, una especie de origen templado que se ha enrarecido notablemente en las islas, especialmente en las occidentales. También se ha detectado una tendencia a la degradación y muerte de las colonias de corales negros (*Antipathella wollastoni*) en fondos someros en las islas más occidentales.

El calentamiento global también se relaciona con la expansión de microorganismos tóxicos a áreas donde no se conocían. En este sentido, se ha detectado en las costas del Mediterráneo y de Canarias la presencia de especies de dinoflagelados bentónicos tóxicos tropicales, como el género *Gambierdiscus toxicus*, citado en Canarias en 2005 por primera vez, que causa la enfermedad tropical cigüatera al introducirse en la cadena trófica por peces herbívoros. La ingesta de peces contaminados puede tener consecuencias fatales para los humanos, de lo cual hay testimonios en El Hierro desde 2004 (Martín Esquivel 2011).

Por último, cabe mencionar los blooms de medusas que se suceden desde la década de los 90, con máximos poblacionales en la época estival, observadas en diversos mares del Mundo. Aunque son un fenómeno natural y los incrementos masivos de individuos

parecen tener un comportamiento cíclico, la frecuencia de estas proliferaciones ha sido atribuida por especialistas a causas climáticas (Gili 2011). El descenso de precipitaciones atribuible al cambio climático y el incremento de la temperatura del agua, son fenómenos que se barajan como factores clave que agudizan el problema: el aumento de la temperatura del agua (0,6°C desde el siglo XIX), ha hecho que estos animales encuentren cada vez más zonas aptas (más cálidas y salinas) para reproducirse.

3.3.2 Cambios sobre el sector energético

Las actividades relacionadas con la energía (procesado, transformación, consumo...) representan el 80% de las emisiones de CO₂ a escala mundial y la energía es clave en el cambio climático. El objetivo último de la CMNUCC es la estabilización de las concentraciones de los GEI a un nivel que no implique una interferencia peligrosa con el sistema climático, y que permita un desarrollo sostenible.

Hasta la actualidad existe una dependencia de los consumos de gas natural (en invierno) y de electricidad (todo el año) respecto de la temperatura del aire; así, inviernos más cálidos provocarían menores consumos de ambos mientras que veranos más calurosos provocarían incrementos en la demanda de electricidad. La previsible disminución de precipitaciones afectará a la estructura de la oferta de hidroelectricidad, así como a determinadas centrales térmicas y nucleares refrigeradas en circuito abierto.

Las ciudades generan más del 50% de las emisiones mundiales de GEI, además en las ciudades viven más de la mitad de la población mundial, alcanzando este porcentaje el 80% en el caso europeo. Si bien las ciudades apenas ocupan el 2,8% de la superficie terrestre, éstas demandan el 75% de los recursos naturales. Es necesaria la aplicación de políticas integrales en los sistemas urbanos y metropolitanos de forma coordinada, para obtener una adecuada calidad ambiental.

Todo esto nos está llevando hacia una evolución más sostenible del modelo energético, menos dependiente de combustibles fósiles, basado en el ahorro y la eficiencia energética, en la utilización creciente de energías renovables y el desarrollo de la investigación e innovación. La cogeneración, la energía eólica y los ciclos combinados que utilizan gas natural (fuente energética menos contaminante) representan una cierta alternativa.

España, a pesar de tener, históricamente, uno de los niveles más reducidos de intensidad energética primaria con relación a Europa, y poseer un menor consumo energético per cápita, tiene una enorme dependencia energética internacional de petróleo y sus derivados, y de gas natural, aunque no tanto en hidroelectricidad y otras energías renovables. En los últimos años, los mayores incrementos de demanda de energía eléctrica se han



producido en las zonas Sur, Levante y Centro, y se prevé que esta tendencia continúe en los próximos años.

En los últimos años se están impulsando, cada vez con más determinación, distintas políticas y estrategias en materia de eficiencia energética tanto a nivel europeo, como estatal, autonómico y local, en distintos sectores claves: edificación, transportes, industria, iluminación, equipamientos, servicios, regadíos, etc. Se está fomentando tanto el uso de las energías renovables como el incremento de la eficiencia energética, a través del Plan de Fomento de las Energía Renovables, y la Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética, asimismo, se detectan actuaciones de los mercados financieros para paliar los efectos que las oscilaciones climáticas pueden provocar en los distintos sectores económicos.

3.3.3 Cambios sobre el sector turístico

Muchos sectores económicos, como el turismo, son fuertemente dependientes de las condiciones climáticas y van a sentir directamente las consecuencias del mismo. En España esto es especialmente grave, ya que sus buenas condiciones climatológicas, sobre todo en el litoral mediterráneo, suponen un factor de influencia decisivo sobre las zonas de veraneo, los calendarios de actividad, las infraestructuras turísticas y su funcionamiento y las condiciones de disfrute y bienestar de los turistas, además de ser uno de los principales elementos de reclamo y atractivo de nuestro país.

Los impactos en el sector del turismo pueden ser especialmente relevantes, si se tiene en cuenta que el turismo es una importante fuente de ingresos en la economía española. El cambio climático producirá efectos tanto en la estacionalidad del turismo como en las zonas de destino y de origen de los turistas. Por un lado, el cambio climático afectará en la elección de los destinos: la elevación del nivel del mar amenazará tanto al recurso físico (playas) como a algunas infraestructuras; la naturaleza de los entornos turísticos cambiará; el aumento de las temperaturas modificará las condiciones de confort, siendo éstas decisivas para las preferencias turísticas. Estos cambios en el índice

de confort pueden conducir a que los turistas prefieran otros destinos o épocas del año más favorables, aumentando los viajes fuera de la época estival. Incluso puede que la estancia media en cada destino disminuya, retrasando el momento de la decisión del viaje y cambiando la dirección de sus visitas hacia otros lugares.

Estos cambios o disminuciones en el turismo afectarán principalmente a los alojamientos y agencias de viajes receptoras de los destinos más afectados, con importantes consecuencias económicas, principalmente en aquellas que más dependen de fuertes inversiones en infraestructuras. La repercusión más importante para el conjunto de la economía sería una disminución de los ingresos por turismo y para las zonas más vulnerables, que ya sufren fuertes desequilibrios, una previsible transformación de sus condiciones económicas a medio y largo plazo y, en el peor de los escenarios, un progresivo cierre de establecimientos turísticos y no turísticos, incremento del desempleo y estrangulamiento económico de los destinos.

3.3.4 Cambios sobre la salud humana

Los impactos en la salud, producidos por el cambio climático son múltiples y complejos:

- Mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos como olas de calor que se prevé sean más frecuentes en intensidad y duración de los próximos años. Como ejemplo, la ola de calor sufrida en Europa en 2003 causó un incremento de la mortandad, principalmente entre los grupos más vulnerables.
- Aumento de los casos de alergias debido a una polinización más salvaje. Un estudio reciente sobre gramíneas en Andalucía muestra que, en el período 1982-2008, se ha adelantado el inicio de la estación polínica, ha aumentado el índice anual de polen y la severidad de la estación (nº de días en que se supera un umbral crítico de concentración polínica) (García-Mozo et al. 2010).
- Contaminación atmosférica y aumento de sus efectos sobre la salud, dado el previsible aumento de las partículas finas y del ozono en la atmosfera.
- Enfermedades transmitidas por vectores infecciosos, como puede ser la expansión del mosquito tigre en Europa y en España, donde ya está teniendo consecuencias en la salud humana. Este insecto puede transmitir la fiebre amarilla o el dengue, del que en 2010 se han registrado en Europa (Sur de Francia, Alemania) los primeros casos autóctonos en 100 años. Otro vector, como el mosquito de la fiebre amarilla, que hasta ahora encontraba barreras climáticas para establecerse en España, podría asentarse, puesto que la llegada de la especie ha sido evidenciada.

IV. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA ACUICULTURA

El presente capítulo se centra en las predicciones realizadas hasta ahora y sus repercusiones en la acuicultura, para ello se ha realizado un levantamiento no exhaustivo de publicaciones, entre las que destaca el documento técnico de FAO “Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura” (Cochrane et al. 2009). Este estudio bibliográfico servirá para poner en situación al sector acuícola español en cuanto a posibles medidas de mitigación y adaptación se refiere.

El presente capítulo se centra en las predicciones realizadas hasta ahora y sus repercusiones en la acuicultura, para ello se ha realizado un levantamiento no exhaustivo de publicaciones, entre las que destaca el documento técnico de FAO “Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura” (Cochrane et al. 2009). Este estudio bibliográfico servirá para poner en situación al sector acuícola español en cuanto a posibles medidas de mitigación y adaptación se refiere.

Como ya se ha evidenciado, los océanos se están calentando (IPCC 2007), sin embargo este calentamiento no es homogéneo geográficamente. Se espera que, debido al efecto combinado de los cambios de temperatura y de salinidad resultantes del calentamiento climático, se reduzca la densidad de la superficie del océano, aumente la estratificación vertical y se registren modificaciones en la mezcla de la capa superficial. Es probable que como consecuencia del incremento de la estratificación vertical y de la estabilidad de la columna de agua en los océanos y lagos se reduzca la disponibilidad de nutrientes en la zona eufótica y que, por lo tanto la producción primaria y secundaria disminuya. Sin embargo, en latitudes altas el tiempo de residencia de las partículas en la zona eufótica aumentará, prolongando la temporada de crecimiento y por ende el incremento de la producción primaria. Además, es posible que el grupo de fitoplancton dominante experimente cambios.

En términos generales, hay que destacar que la cubierta de hielo de los lagos de altura situados en zonas de latitud elevada se reducirá, las aguas serán más cálidas, la temporada de crecimiento se prolongará y la abundancia de algas y la productividad serán mayores. Se pronostica que la intensificación de los ciclos hidrológicos influya mucho en los procesos limnológicos acentuando la escorrentía, y que las tasas de descarga, las superficies inundadas y las estaciones secas impulsen la producción en todos los

niveles (desde el plancton hasta los peces). Se prevé que debido al cambio climático la mayor parte de las especies terrestres y marinas se desplazarán hacia los polos, ampliando el rango de distribución de las especies de aguas templadas y reduciendo el de las especies de aguas más frías. Los cambios más rápidos afectarán a las comunidades de especies ícticas pelágicas las cuales intensificarán los movimientos verticales para contrarrestar el calentamiento superficial.

Se ha demostrado que el cambio climático puede afectar a la estacionalidad de los afloramientos. El nivel de los mares ha aumentado en todo el mundo a un ritmo creciente, siendo las zonas de mayor riesgo las costas del Atlántico y el Golfo de México, el Mediterráneo, el Báltico, las pequeñas regiones insulares, los megadeltas asiáticos y otras áreas costeras urbanas.

A causa de la acidificación de los océanos, el pH de las aguas marinas ha disminuido en 0,1 unidades a lo largo de los últimos 200 años; y de acuerdo con los modelos predictivos se anticipan reducciones de 0,3 a 0,5 unidades durante los próximos 100 años. Las repercusiones de la acidificación de los océanos serán particularmente graves para los organismos conchíferos (véase sección de acidificación), los arrecifes de coral tropicales y los corales de aguas frías.

Los efectos del cambio climático en los ecosistemas continentales se suman a los cambios en el uso de la tierra, y se evidenciarán en especial en la carga de sedimentos, los flujos hídricos y otros fenómenos físico-químicos consecuenciales (hipoxia, estratificación, cambios en la salinidad). Los resultados de estos procesos son complejos y se harán sentir en la composición de las comunidades y en la producción y estacionalidad del plancton y las poblaciones de peces. En particular en los países en desarrollo, estas alteraciones presionarán más intensamente los sistemas de producción de alimentos pesqueros continentales y de fuentes terrestres que son grandes consumidores de agua.

De Silva & Soto (2009) ponen 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, los fenómenos climáticos extremos y el estrés hídrico (Tabla 1). 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.



Los cambios físicos y ecológicos inducidos por el cambio climático global en las lagunas costeras obligará tanto al medio natural como a las comunidades locales a adaptarse. El medio natural puede responder de distintas formas: cambios en la composición y la diversidad del medio, la susceptibilidad a la eutrofización y posibles enfermedades, y la pérdida localizada de algunas especies nativas. Sin embargo, la capacidad de los recursos naturales a adaptarse con éxito a las cambiantes condiciones se verá influenciada por las acciones humanas. Por ejemplo, la protección proactiva de suelo no urbanizable que rodea las lagunas costeras ofrece una oportunidad de supervivencia a las comunidades naturales a través de la migración de hábitats, mientras que si la costa continua su expansión y desarrollo se impide la adaptación del ecosistema limitando la migración en las marismas (Anthony et al. 2009).

Aparte de algunos estudios específicos, se ha otorgado escasa atención a la acuicultura en los principales análisis sobre los impactos del cambio climático en la producción pesquera. Esto es especialmente evidente al compararla 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).

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 harinas y aceites de pescado en la acuicultura. Todos estos factores son recogidos en el documento técnico de Cochrane et al. (2009).

No todos los cambios climáticos repercutirían por igual, directa o indirectamente, en la acuicultura y no resulta sencillo discernir los efectos causales, de las repercusiones de los diferentes elementos del cambio climático en la acuicultura (**Fig.10**). 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.

FIGURA 10

Representación esquemática de los mayores impactos potenciales del cambio climático sobre la acuicultura y las posibles formas de manifestarse



Fuente: FAO/NACA 2012.

4.1 Repercusiones

Las repercusiones más evidentes y directas del cambio climático son el aumento de la temperatura y de las precipitaciones, como ya se ha visto hasta ahora. Las fluctuaciones repercutidas en ambos factores por el exceso de CO₂ y otros GEI en la atmósfera provocan, a su vez, otros cambios en campos muy diversos viéndose todos ellos relacionados y por tanto afectados de manera secuencial. Como un castillo de naipes cuando se cae uno de ellos el resto de naipes también se ven afectados.

La siguiente tabla recoge las potenciales repercusiones del cambio climático en los sistemas de acuicultura:



TABLA I Repercusiones potenciales del cambio climático en los sistemas de acuicultura

Generador del cambio	Repercusiones en la acuicultura	Repercusiones operativas
Cambios en la temperatura de la superficie del mar	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de la proliferación de algas perjudiciales ✓ Disminución del O₂ disuelto ✓ Aumento de las enfermedades y parásitos ✓ Prolongación de las temporadas de crecimiento ✓ Cambios en la ubicación y ámbito de distribución de las especies adecuadas ✓ Reducción de la mortalidad natural en invierno ✓ Aumento del índice de crecimiento y de transformación alimentaria ✓ Competencia, parasitismo y depredación producidos por la alteración de los ecosistemas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambios en la infraestructura y en los costos operacionales ✓ Aumento del número de organismos obstrutores, plagas, especies nocivas y depredadores ✓ Expansión del área de distribución geográfica de las especies ✓ Cambios en los niveles de producción
Cambios en otras variables oceanográficas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminución de los índices de flujo y de la disponibilidad de alimento para crustáceos ✓ Cambios en la abundancia de las especies usadas para la producción de alimentos y harinas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Acumulación de desechos bajo las redes ✓ Aumento de los costos operativos
Subida del nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pérdida de áreas dedicadas a la acuicultura ✓ Pérdida de áreas dedicadas que proporcionan refugio ✓ Aumento del riesgo de inundaciones ✓ Infiltraciones de sal en las capas freáticas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Daños a las infraestructuras ✓ Cambios en la determinación de zonas adaptadas a las actividades acuícolas ✓ Aumento en los costes de los seguros ✓ Reducción de la disponibilidad de agua dulce
Intensificación de las tormentas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento del tamaño de las olas ✓ Marejadas ciclónicas más altas ✓ Inundaciones causadas por las precipitaciones ✓ Cambios en la salinidad ✓ Daños estructurales 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Escapes ✓ Daños a las instalaciones ✓ Aumento en los costes por diseño de nuevas instalaciones ✓ Aumento en los costes de los seguros
Estrés hídrico y por sequía	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambios en la salinidad ✓ Empeoramiento de la calidad del agua ✓ Aumento de las enfermedades ✓ Inseguridad en el abastecimiento hídrico 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pérdida de capital ✓ Daños a las instalaciones ✓ Conflictos con los usuarios exteriores de aguas ✓ Reducción de la capacidad productiva ✓ Modificaciones en las especies cultivadas

Fuente: De Silva & Soto (2009)



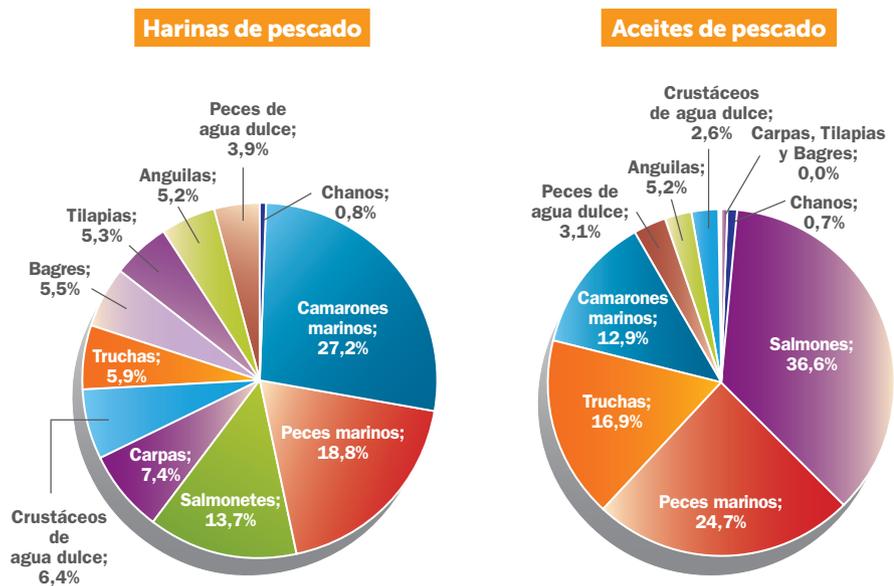
Las repercusiones indirectas del cambio climático en un fenómeno o en un sector productivo, como es el de la acuicultura, pueden ser sutiles, complejas y difíciles de desentrañar, pero los desafíos que plantean las medidas de adaptación que es necesario diseñar para combatirlos o superarlos pueden ser formidables (De Silva & Soto 2009). 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 de 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.

4.1.1 Repercusiones sobre las harinas y aceites de pescado

Asociado a los cambios en la temperatura y la precipitación encontramos los impactos que estos cambios están teniendo sobre los suministros de harina y aceite de pescado y su uso simultáneo en la acuicultura. En 2008, la acuicultura utilizaba el 60,8% de la producción mundial de harina de pescado y el 73,8% de la producción de aceite de pescado. Actualmente, numerosos son los trabajos y líneas de investigación de muchos grupos sobre posibles fuentes sustitutivas de las harinas y aceites de pescado (FAO 2012). La cantidad de harina y aceite de pescado utilizada en piensos acuícolas ha aumentado hasta 3,73 millones de toneladas y 780.000 toneladas, respectivamente. Su uso en piensos acuícolas está más generalizado en el cultivo de peces de escama y crustáceos de nivel trófico más elevado (con niveles de inclusión de harina de pescado entre el 17 y el 65% y de aceite de pescado entre el 3 y el 25%). Sin embargo, para las dietas de especies/grupos de especies de peces de escama de nivel trófico bajo (carpas, tilapias, bagres, chanos, etc.) también se utilizan harina y aceite de pescado en diversas cantidades. El uso de harina de pescado en estas dietas oscila entre el 2 y el 10%, con la excepción de las dietas de las tilapias y los bagres, que en algunos países tienen un contenido de harina de pescado de hasta el 25%. El uso de la harina y el aceite de pescado entre las especies o los grupos de especies más importantes es muy variado y el mayor uso conjunto de harina y aceite de pescado corresponde a los camarones, los peces marinos y los salmones (**Fig.11 y 12**).



FIGURAS 11-12 Harinas y aceites de pescado usados en piensos acuícolas compuestos



Fuente: FAO 2012.

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 sardinas. Se ha predicho que la productividad biológica en el Atlántico septentrional disminuirá en el 50% y que, a nivel mundial, la productividad del océano bajará un 20% (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 (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 & Barlow 2002). Análogamente, los cambios que ocurran en el índice invernal de la oscilación atlántica (Schmittner 2005), 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.

Por todo esto y según parece, el camino a seguir debería consistir en aumentar la acuicultura de peces omnívoros y filtradores, este asunto se ha convertido en un debate ético ya que desde este punto de vista los recursos primarios usados en la industria de transformación deberían ser canalizados hacia los pobres como fuente de alimentación directa (Allsopp, Johnston & Santillo 2008).

Cabe mencionar que tratándose de cambio climático no hay que olvidar tener en cuenta el origen de los ingredientes de los piensos, las harinas y aceites vegetales de soja, colza, maíz proviene de zonas, muchas veces, devastadas y quemadas para cultivar intensivamente estos productos. La transformación sufrida por el cambio de uso en el suelo, los productos químicos utilizados y el transporte contribuyen positivamente al cambio climático, no solo emitiendo más CO₂ a la atmósfera sino también reduciendo masa forestal terrestre, como la del Amazonas.

4.1.2 Floraciones algales nocivas (FANs)

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. Se ha señalado que el ritmo de eutrofización y de proliferación de algas nocivas 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 (Edwards et al. 2006), por ejemplo a lo largo de la costa noruega y en otros lugares, pero no de forma homogénea. 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.

Los sistemas de afloramiento costero a menudo conllevan la aparición de floraciones de algas nocivas (FAN), que representan una amenaza grave para las personas, provocan importantes perturbaciones ecológicas, y causan grandes pérdidas económicas en la pesca y la acuicultura (GEOHAB 2005). El noroeste de la Península Ibérica es el límite



norte del Gran Ecosistema Marino Oriental que se extienden a lo largo de las costas atlánticas de África y Europa. En nuestras latitudes, los vientos costeros son favorables a la surgencia del agua fría y rica en nutrientes del este del Atlántico Norte Central durante la primavera y el verano y favorable al hundimiento de las aguas superficiales costeras durante el otoño y el invierno. Las Rías Baixas se comportan como una extensión de la plataforma durante la temporada de afloramiento, con vientos del norte que intensifican el patrón positivo de circulación residual. Por el contrario, durante la época de hundimiento, la parte exterior de la Ría circula como un estuario negativo forzada por los vientos del sur dominantes, mientras que la parte interior se comporta como un estuario positivo forzado por la escorrentía continental. Esta combinación única de los patrones del viento y la morfología costera hace que las Rías Baixas sea un lugar excepcional para el cultivo extensivo del mejillón *Mytilus galloprovincialis* en bateas (cuerdas colgantes).

Un estudio de Álvarez Salgado et al. (2008) demuestra la influencia del cambio climático en el cultivo del mejillón de las rías gallegas relacionando el número de días que los parques de cultivo cerraron a la extracción de mejillón con la dirección e intensidad del viento - el periodo de vientos de componente norte ha disminuido un 45% su intensidad y un 30% su duración en los últimos 40 años. Esto ha causado que el tiempo de renovación del agua en las rías se duplique, lo que explicaría el aumento del número de días que las microalgas nocivas están presentes en las rías, impidiendo la extracción del mejillón por resultar tóxico. De acuerdo a esto, el tiempo de renovación de las Rías Baixas, donde se cultiva el 15% del mejillón en el mundo, ha aumentado en un 240%. Los incrementos en las floraciones de algas tóxicas influyen en el crecimiento de los bivalvos, y en su comercialización (Bode et al. 2009). Los cambios observados en la intensidad del afloramiento estival tienen que ver con la calidad del mejillón de cultivo en Galicia. Debido a la reducción de los afloramientos y la producción primaria en un momento decisivo del crecimiento, se ha detectado un menor crecimiento de mejillones de batea. Este hallazgo se considera una evidencia del impacto del cambio climático sobre el cultivo de este molusco.

Las condiciones tróficas de los ecosistemas costeros favorecen las tasas de aclaramiento (indicador de la cantidad de alimento retenido por el mejillón). Como consecuencia, los mejillones cultivados en estas rías tienen la tasa de crecimiento más alta del mundo, con una producción total de alrededor de 250.000 toneladas de mejillones al año. Las condiciones hidrográficas y dinámicas también causan las proliferaciones de microalgas nocivas (causantes de la toxina diarreica, paralizante y amnésica), vulgarmente conocidas como mareas rojas, que provocan el cierre de las zonas de cultivo a la extracción del mejillón en las rías, con las consiguientes repercusiones económicas sobre el sector, que se cifraron en unas pérdidas de 56 a 225 millones de euros por

año entre 1989 y 1998 (ECOHARM 2003). Este estudio demuestra que el aumento del tiempo de renovación de agua de surgencia observados en las Rías Baixas en la última década es la razón del creciente número de días que el mejillón no se puede extraer de la batea a causa de la presencia de microalgas nocivas.

4.1.3 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.

Los episodios de fuga de individuos contenidos en las instalaciones acuícolas hacia el medio salvaje pueden aumentar debido a los fenómenos meteorológicos extremos tales como ciclones tropicales o marejadas ciclónicas. Existen numerosos trabajos acerca de las repercusiones causadas por las especies exóticas en la biodiversidad local, pero no hay tantos sobre las repercusiones de la producción acuícola en las especies nativas. Las alteraciones de la estructura genética de las poblaciones podrían repercutir potencialmente en el patrimonio genético de las contrapartes silvestres de las especies cultivadas a través de interacciones genéticas entre individuos que han escapado e individuos salvajes. 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 (ej, Jonsson & 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). Thorsstad et al. (2008) han analizado tanto los efectos causados por los individuos fugados nativos de salmón del Atlántico, en Noruega, como los del salmón exótico, 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.

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 (Rosenberg 2008).



Por otra parte, Arechavala et al. (2013) estudiaron la importancia de la posible transmisión de patógenos entre peces de cultivo, peces escapados y peces agregados a los viveros flotantes dependiendo de las decisiones en la gestión. Existe un riesgo potencial de transmisión de patógenos a través de los movimientos de los peces escapados y salvajes en las zonas de cultivo de peces del Mediterráneo, sin embargo esta transmisión se ha documentado sólo en unos pocos casos. Los peces de cultivo infectados que se escapan de los viveros por fallos técnicos u operacionales pueden, en teoría, propagar agentes patógenos a otros viveros/instalaciones acuícolas, así como a los peces salvajes (Arechavala-López et al. 2011, 2012). Los brotes de enfermedades en los peces de cultivo podrían facilitar la transmisión de patógenos de peces estabulados en altas densidades en los viveros flotantes, a través de las corrientes de agua, peces escapados, equipos infectados, barcos, etc. hasta encontrar un anfitrión adecuado. Arechavala et al. (2013) concluyen que, como la tendencia de estos cultivos en el Mediterráneo es a aumentar, se establezcan medidas para reducir el riesgo de enfermedades así como su propagación. Los accidentes en los viveros se pueden reducir mediante mejoras tecnológicas de estos sistemas y otras prácticas operacionales. Debido a la escasa y heterogénea regulación de la acuicultura en el Mediterráneo (Chapela-Perez & Ballesteros 2011) se deben aplicar medidas de gestión obligatorias apoyadas por la legislación local, regional e internacional.

Por otra parte, se ha visto que el aumento de la temperatura del agua del mar también puede producir cambios en la determinación del sexo de los peces, incluso cambios pequeños de 1 o 2°C pueden alterar significativamente la proporción de sexos machos-hembras de 1:1 hasta 3:1 (Ospina-Álvarez & Piferrer 2008).

4.2 Acidificación

Los océanos han disuelto hasta un 37% del CO₂ antropogénico liberado a la atmósfera por la quema de los combustibles fósiles entre 1980 y 2005 (Bindoff et al. 2007), contribuyendo a la mitigación parcial del calentamiento global. Esta disolución ha alterado dramáticamente la química del carbono inorgánico del agua de mar mediante la reducción de la saturación de CO₃²⁻ y el pH (Feely et al. 2004). La disminución de la concentración de CO₃²⁻ tiene efectos perjudiciales sobre los organismos calcificadores (Miller et al. 2009), mientras que los cambios en la presión parcial del CO₂ (pCO₂) y el pH se espera que afecten a la fisiología de los organismos marinos (Melzner et al. 2009). Los procesos oceánicos (ej, afloramientos) y continentales (ej, descargas a los ríos) pueden crear una zona costera con aguas poco oxigenadas sobresaturadas de CO₂ y con baja concentración de CO₃²⁻ y pH (Koch & Gobler 2009). Por otra parte, la alcalinidad de las aguas continentales puede contribuir mayoritariamente a la concen-

tración de CO_3^{2-} en la zona costera. Naturalmente una elevada alcalinidad puede prevenir o retrasar el CaCO_3 bajo saturación en las aguas costeras en función de futuros escenarios de acidificación de los océanos (Fernández-Reiriz et al. 2011).

Los bivalvos dominan la macrofauna de muchos estuarios y bahías costeras. La comprensión de su comportamiento fisiológico es crucial para determinar su productividad y flujos de energía. Los cambios en las variables ambientales pueden afectar los procesos fisiológicos en los bivalvos, modificando su relación con su ecosistema. Estos efectos deben ser evaluados de forma integrada, teniendo en cuenta el importante papel que desempeñan estos organismos en términos de estructura ecológica y su valor como recurso económico de la pesca y la acuicultura en muchas zonas costeras. El potencial de importantes consecuencias ecológicas y económicas derivadas de los efectos de la acidificación del océano sobre los bivalvos y la necesidad de más investigación sobre especies de importancia comercial ha sido explícitamente reconocida (Cooley & Doney 2009).

La investigación científica sobre los efectos de la acidificación del agua de mar en los bivalvos ha aumentado rápidamente en los últimos años. Fernández-Reiriz et al. (2011) estudiaron la energía fisiológica de almejas juveniles (*Ruditapes decussates*) en altas condiciones de pCO_2 y observaron una reducida ingestión combinada con un aumento en la excreción, lo que, generalmente, se asocia con una entrada de energía reducida y probablemente contribuya a un crecimiento más lento de las almejas en los futuros escenarios de acidificación.

Sin embargo, no hay estudios previos sobre el alcance en el crecimiento (SFG, scope for growth) de bivalvos bajo condiciones de incremento de la pCO_2 . Anestis et al. (2010) estudiaron la respuesta de los parámetros fisiológicos de *Mytilus galloprovincialis* al aumento de la temperatura del agua de mar, de acuerdo a los escenarios actuales del cambio climático. Encontraron que los valores de SFG fueron negativos a temperaturas superiores a 24 °C, probablemente asociado a una reducción significativa en la tasa de aclaramiento. Otros estudios recientes han demostrado que los aumentos actuales y futuros en pCO_2 pueden agotar o alterar la composición de las poblaciones de moluscos en los ecosistemas costeros (Talmage & Gobler 2009).

Fernández-Reiriz et al. (2012) estudiaron el mejillón que se cultiva en las rías gallegas, concretamente los estudios se realizaron sobre los juveniles que representan una etapa importante para la vida de estas poblaciones, ya que disminuciones en el crecimiento y la supervivencia de las semillas pueden causar la disminución de las poblaciones de adultos (Arnold 2008). Hicieron distintos muestreos en cuanto a las



concentraciones de $p\text{CO}_2$, según lo predicho por los actuales escenarios de cambio climático. Se probaron tres niveles de pH: un nivel natural (control) y dos niveles de pH reducido (-0,3 y -0,6 unidades por debajo del pH del agua de mar control). El estudio mostró que los niveles acidificación probados no tuvieron ningún efecto sobre la alimentación (aclaramiento y tasas de ingestión) ni sobre los índices metabólicos (V_{O_2}) de los juveniles de *M. galloprovincialis*. Por otro lado, las reducciones de pH probadas aumentaron la eficiencia de absorción, la excreción de amonio ($V_{\text{NH}_4\text{-N}}$) y el peso del tejido orgánico. Este patrón puede estar relacionado con la optimización de determinadas enzimas digestivas (amilasa, glucosidasa y peptidasa) bajo condiciones de pH reducido (Areekijserree et al. 2004), lo que podría facilitar la absorción de nutrientes. Las respuestas de los bivalvos a la acidificación son complejas y sugieren un alto grado de variabilidad en su sensibilidad a este tipo de perturbación. Talmage & Gobler (2009) demostraron que niveles de CO_2 atmosféricos similares a los previstos para el siglo XXI pueden afectar a algunas especies de bivalvos (ej., *Mercenaria mercenaria*) más que a otras (ej., *Crassostrea virginica*).

En general, estos resultados sugieren que *M. galloprovincialis* podría ser una especie ecofisiotipo tolerante a la acidificación por CO_2 , al menos en las aguas costeras altamente alcalinas. Sin embargo, los mitílidos también son capaces de dominar hábitats con alcalinidad baja y alto $p\text{CO}_2$ (Thomsen et al. 2010).

En consecuencia, dada la amplia presencia de *M. galloprovincialis* en muchos sistemas en todas las costas del mundo, su comportamiento fisiológico puede pre-adaptarse para hacer frente a futuros escenarios de acidificación de los océanos.

4.3 Sumidero

El balance de la fijación de carbono por fotosíntesis y la liberación por procesos de oxidación es la base del ciclo del carbono (C) en el mundo. Los principios de este ciclo se conocen desde hace mucho tiempo, sin embargo, los múltiples factores que regulan este equilibrio y su dinámica todavía no se comprenden perfectamente (Falkowski et al. 2000). En un contexto de cambio global, la comprensión de los parámetros que regulan el secuestro y el balance neto del C en los ecosistemas es fundamental (Grace & Rayment 2000).

El sumidero es un depósito de carbón de volumen creciente, todo lo contrario a una mina de carbón. Los sumideros más importantes son los océanos y la vegetación. Los océanos son un sumidero natural de CO_2 con la ventaja de que al aumentar el porcentaje de CO_2 en la atmósfera el nivel de CO_2 en los océanos también aumenta, pero el agua

se vuelve ácida, lo cual puede resultar perjudicial. La cantidad de CO_2 disuelto en el océano depende de la temperatura y la presión. El fitoplancton en el océano usa la fotosíntesis como los árboles: obtiene carbono base de CO_2 . El fitoplancton es el comienzo de la cadena alimentaria marina. El plancton y otros organismos marinos extraen CO_2 del agua marina para construir sus esqueletos y conchas de carbonato cálcico. Este proceso retira CO_2 del agua, y permite que el océano absorba más CO_2 de la atmósfera. Los esqueletos y conchas de carbonato cálcico caen al fondo del océano, en donde los organismos mueren. De hecho, el zooplancton y el krill antártico fomentan la formación de fondo marino de carbono. Es un proceso llamado "bomba biológica", y según algunas teorías, explica la acumulación de carbono orgánico en los fondos marinos y los yacimientos de combustibles fósiles.

Para escalas de tiempo inferiores a 1.000 años el océano es el principal depósito del dióxido de carbono. El CO_2 atmosférico de origen natural y el producido por la quema de combustibles fósiles son una pequeña fracción del que se encuentra en el mar y los sedimentos. Aproximadamente el 37% de las emisiones antropogénicas de CO_2 en los últimos 30 años ha sido absorbido por el mar. Ajustes relativamente pequeños en la circulación oceánica podrían afectar significativamente la cantidad de CO_2 en la atmósfera, incluso si se llegaran a estabilizar las emisiones de origen antropogénico. Si se incrementa la estratificación en los océanos, no habría convección de aguas y se reduciría la mezcla profunda. El CO_2 no sería transferido a las capas profundas del océano limitando su capacidad de almacenamiento. Otro factor negativo sería el cambio en el pH provocado por la disolución del propio CO_2 ; puede desplazar el equilibrio CO_2 /bicarbonato limitando la capacidad de almacenamiento de CO_2 en el océano (Feely et al. 2004). Efectos asociados a la reducción del pH del agua serían: 1) la reducción de la calcificación en organismos con esqueletos carbonatados, que limitaría la retirada a largo término (sumidero) del carbono disuelto, y 2) la potencial elevación de la lisoclina (profundidad límite a la que se disuelven los carbonatos), lo que podría favorecer la disolución de carbonatos acumulados en el sedimento; en caso extremo, pero no deseable, se encontraría la elevación de la lisoclina a la superficie, lo que provocaría una emisión rápida e importante de CO_2 en la atmósfera, y el incremento del efecto invernadero. Aunque no están cuantificados en la actualidad, cambios positivos en el almacenamiento biogénico del carbón aumentarían la absorción de CO_2 y disminuiría el efecto invernadero.

Con todo lo anteriormente expuesto, la acuicultura puede contribuir a la mitigación del cambio climático en los océanos a través de ciertas formas de cultivo y especies fijadoras de CO_2 como los sistemas extensivos de moluscos (mejillón, ostras y almejas), la producción de algas y la acuicultura multitrofica integrada (AMTI).

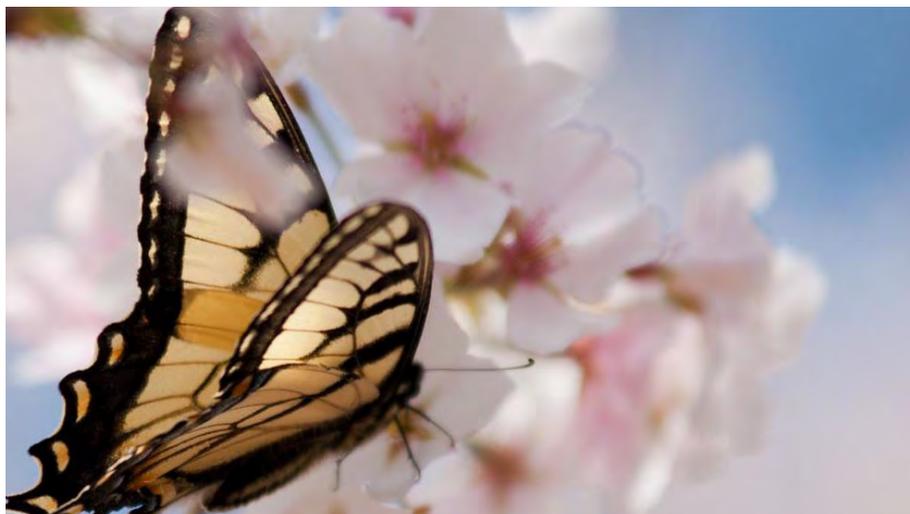


Sistemas extensivos de moluscos

La producción de mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) en España en 2011 fue de 208.000 toneladas y supone la principal especie acuícola en España, ocupando uno de los primeros puestos en el mundo. El mejillón se produce de forma extensiva en bateas con cuerdas colgantes donde la semilla queda fijada hasta que alcanza el tamaño adecuado. No se realiza ningún aporte alimenticio más allá del que son capaces de filtrar del medio natural.

El efecto del ciclo de carbono en los ecosistemas terrestres sobre bosques y vegetación se produce a corto plazo ya que más tarde volverá a ser liberado a la atmósfera mediante la descomposición. Sin embargo, el efecto del ciclo del carbono en la producción acuícola marina es a más largo plazo. Por ejemplo, el carbono fijado en las conchas de los moluscos tarda mucho más tiempo en volver a la atmósfera. De todo el carbono verde (el capturado a través de la fotosíntesis vegetal) absorbido en el mundo algo más de la mitad (55%) es capturado por los organismos marinos (Nellemann et al. 2009).

El cultivo de estos y demás moluscos bivalvos supone un consumo de energía mínimo, siendo, además, 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



➤... "La acuicultura basada en las algas marinas es enormemente sensible a determinados cambios en el agua que se pueden producir por el calentamiento global"...

Antonio Muiños
(productor algas),
Testigo del clima, WWF 2010

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.

La acuicultura de moluscos y algas contribuye significativamente a la absorción de carbono (2.500 toneladas cada 3 meses de cosecha de algas) excediendo el índice de absorción potencial de carbono obtenible mediante otras actividades agrícolas para una superficie comparable de 1 hectárea (De Silva & Soto 2009).

Gracias al proceso de calcificación de los organismos filtradores una cantidad significativa de carbono es fijada en las conchas de los bivalvos en forma de carbonato cálcico (CaCO_3). Se sabe que los moluscos utilizan el carbono de dos formas:

- 1)** Para generar conchas de CaCO_3 a través del HCO_3^- del agua de mar (Chavaud et al. 2003, Tang et al. 2011). La formación de 1 mol CaCO_3 captura 1 mol de CO_2 del agua de mar.
- 2)** Para alimentarse. Los moluscos poseen un sistema de alimentación por filtración muy efectivo combinado con una tasa alta de filtración, retirando fitoplancton y materia orgánica particulada de bahías enteras.

Estudios recientes indican que los moluscos transforman partículas pequeñas en heces más grandes y materia pseudofecal a través de la filtración. Cai et al. (2003) vieron que la tasa de asimilación de las vieiras chinas fue del 76% y aproximadamente 1/4 del carbono filtrado fue depositado en forma de heces.

Algas marinas

Las algas, junto a las ostras y almejas constituyen la mayor proporción de la acuicultura marina mundial. La producción mundial de plantas acuáticas está dominada por macroalgas o algas marinas, que se cultivan tanto en aguas marinas como salobres. En 2010 se cultivaron 19 millones de toneladas, correspondiendo el 98,9% a las laminarias del Japón (*Saccharina/Laminaria japonica*) (sobre todo en las aguas costeras de China), las algas marinas *Euclima* (una mezcla de *Kappaphycus alvarezii*, anteriormente conocida como *Euclima cottonii* y *Euclima* spp.), *Gracilaria* spp., algas luche o laver (*Porphyra* spp.), wakame (*Undaria pinnatifida*) y especies de macroalgas marinas no identificadas (3,1 millones de toneladas, principalmente de China).

Tang et al. (2011) estudiaron como la producción de moluscos y algas puede, directa e indirectamente, absorber un volumen significativo del carbono oceánico costero. De esta forma, el cultivo de estos grupos juega un papel importante en la fijación de carbono, y por lo tanto contribuyen a aumentar la capacidad de absorción de CO_2 atmosférico en los ecosistemas costeros. Las algas pueden transformar carbono inorgánico disuelto (DIC)



en carbono orgánico a través de la fotosíntesis reduciendo la presión parcial del CO₂ (pCO₂) del agua de mar. Durante la fotosíntesis también se absorben otros nutrientes disueltos como nitratos y fosfatos aumentando la alcalinidad del agua en superficie, lo que contribuye a reducir el pCO₂ del agua de mar y, por lo tanto, a mejorar la tasa a la que el CO₂ atmosférico se disuelve en el agua marina. Finalmente Tang et al. (2011) obtuvieron datos de $0,67 \pm 0,061$ Mt C por año fijados en las conchas, mientras que los resultados para la fijación en algas marinas fueron menores (de $0,34 \pm 0,029$ Mt C por año).

Otros estudios demostraron que la fotosíntesis de las macroalgas tienen a incrementar el pH de la superficie oceánica (Menendez et al. 2001) contrarrestando la tendencia del pH a disminuir a medida que el bicarbonato se convierte en carbonato a través del proceso de calcificación.

Acuicultura multitrófica integrada (AMTI)

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 ganadería. Se trata de formas de explotación tradicional en pequeña escala, a menudo realizadas por una sola unidad familiar (De Silva & Soto, 2009). 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. Sería de esperar que estas formas de cultivos integrados, entendidas como medida de adaptación que favorece la absorción de carbono se popularicen y fomenten. En occidente las especies utilizadas en acuicultura marina integrada son peces en viveros flotantes junto a macroalgas y organismos filtradores (moluscos), así, se alimenta sólo a una especie produciendo tres que, además, son fijadoras de CO₂. También hay otros estudios con sistemas de recirculación utilizando tilapia/camarón y lechuga (Sreejariya et al. 2012).

De esta manera la AMTI (Sreejariya et al. 2011):

- reduce el suministro de harinas y aceites de pescado,
- evita posteriores mineralizaciones y altas temperaturas gracias a la filtración particulada por parte de los moluscos,
- actúa como sumidero de CO₂ y otras fuentes inorgánicas del cambio climático gracias a las algas, aumentando la producción de O₂ a través de la fotosíntesis,
- evita el incremento de turbidez eliminando las partículas en suspensión gracias a los organismos filtradores,
- atrapa el C emitido por los peces en su respiración ya que las algas actúan como trampa de C, que de otra manera sería liberado a la atmosfera.

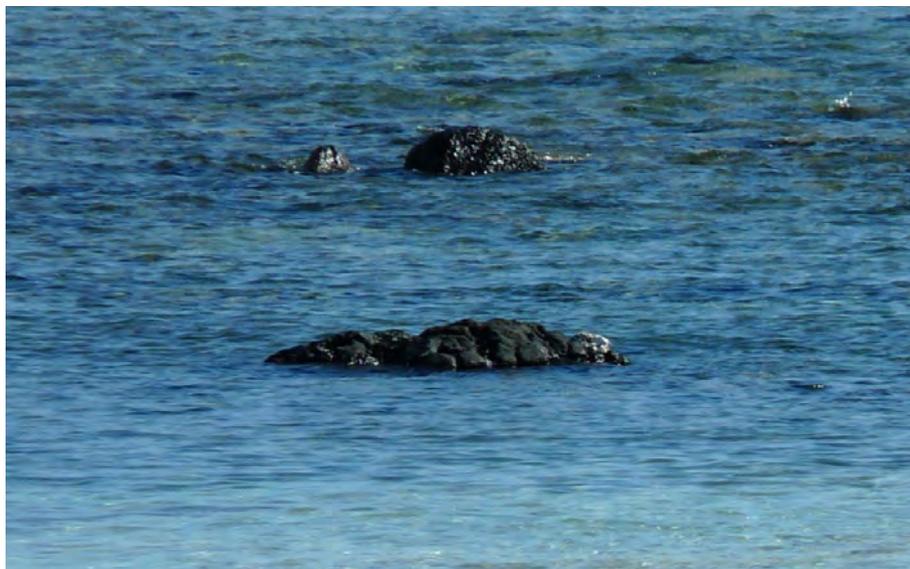
En España, de momento, no hay ninguna producción industrial de AMTI, sin embargo, sí que se están realizando estudios experimentales en Canarias, Andalucía y Murcia, entre otras Comunidades Autónomas.

4.4 Vulnerabilidad de las especies cultivadas en España

En 2011 la producción de acuicultura marina supuso un 93,76%, ocupando los moluscos el 82,66% y el 17,28% los peces marinos. El resto, un 6,24%, representa la acuicultura continental. Esta distribución permite hacerse una idea de la importancia de los moluscos, especialmente del mejillón del que se producen unas 200.000 toneladas al año.

El mejillón es un molusco filtrador que obtiene su alimento del fitoplancton existente en el agua marina, la disponibilidad del fitoplancton está relacionada con el régimen de vientos, la temperatura del agua y los afloramientos costeros, como ya hemos visto anteriormente. Estas variables se están viendo alteradas por los cambios en la acidificación del océano causados por la enorme capacidad de los océanos de absorber el CO₂ antropogénico liberado a la atmósfera. En Galicia ya se han vivido períodos de cierre de la extracción de mejillón, berberechos y demás moluscos debido a la proliferación de algas nocivas tóxicas para la salud humana y provocadas por el aumento de la temperatura e inmovilización de las capas de agua, entre otras cosas. Por esta y otras razones, como las que se han descrito en este capítulo, y por la representatividad del mejillón en cuanto a su producción, se considera que el mejillón es la especie más vulnerable a los efectos del cambio climático en nuestro país.

Los peces marinos y demás especies que son alimentadas con piensos, a priori, no serán tan vulnerables como las especies cuyo alimento depende de las condiciones oceanográficas idóneas para su producción (caso de los moluscos). Aunque, en cierta manera estos piensos, cuyo ingrediente fundamental son las harinas y aceites de pescado, verán su precio aumentar, entre otras cosas, por las variaciones, que ya hemos venido observando (fenómenos conocidos como El Niño y La Niña) en las descargas de la pesquería productora de estos aceites y harinas (anchoveta peruana). Asimismo, los peces como la dorada, lubina y corvina criadas en viveros flotantes en el mar se verán más afectados por otras repercusiones indirectas como la intensificación de las tormentas en el mar que repercutirán en problemas operacionales y estructurales de los propios viveros. En principio, si se cultivan las especies locales no debería haber mayores problemas por cambios en la temperatura del agua, pero si se cultivan especies como la lubina, que requiere de aguas más frías que la dorada, en aguas donde la temperatura media es ya suficientemente alta, dichas especies encontrarán más dificultades en reproducirse y/o en crecer hasta los tamaños comerciales, disminuyendo su rentabilidad.



En cuanto a la producción en aguas continentales, la trucha siempre fue, en nuestro país, la especie estrella, alcanzando su máximo histórico en el año 2001 con 35.384 toneladas, posteriormente su producción no deja de descender año tras año, hasta alcanzar las 17.000 toneladas de 2011. Aún así son 15 las CCAAs que la producen, estando Castilla y León y Galicia, respectivamente, a la cabeza. Esta producción da trabajo a casi 1.000 trabajadores de manera directa, la mayoría de ellos en zonas rurales deficitarias de actividad empresarial. Muchos de los sistemas fluviales de la Península Ibérica se caracterizan por su intermitencia y estacionalidad según el período del año, debido a los efectos climáticos y con un gran nivel de certeza se puede asegurar que el cambio climático hará que parte de estos ecosistemas pasen de ser permanentes a estacionales, incluso puede que algunos hasta desaparezcan (ver capítulo 2.3.1). Por tanto, si además de las particularidades biológicas y fisiológicas de la trucha, y demás especies piscícolas cultivadas, y el estado actual en cuanto a temas legislativos se tienen en cuenta los efectos que tendrá la subida de temperatura en el interior de España y los cambios en la precipitación, causas directas de los efectos del cambio climático, la acuicultura continental sufrirá las consecuencias del cambio climático con un grado de vulnerabilidad media.

En España aún se utilizan sistemas tradicionales de cultivo situados en la zona intermareal de nuestro litoral. En Cádiz y Huelva tenemos los esteros donde, de forma extensiva, se engordan lisas, bailas, lubinas, corvinas, doradas y lenguados. En Galicia

BLOQUE I

IV. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA ACUICULTURA



encontramos los parques de cultivo, que son zonas de la playa que durante la bajamar quedan al descubierto y se aprovecha para sembrar con volandeiras, zamburiñas, berberechos, coquinas y almejas. Esta producción extensiva representa menos del 2% de la producción acuícola total nacional, sin embargo por el lugar que ocupan, dicha producción podrá sufrir importantes variaciones debido al aumento del nivel del mar, incremento de los temporales, fuertes marejadas, etc. haciendo muy vulnerables estos ecosistemas y sistemas tradicionales de cultivo.

4.5 Conclusiones

La acuicultura es un sector en auge, un sector que ha crecido en el nuevo milenio, aunque más lentamente que en décadas anteriores. La producción mundial alcanzó otro nivel máximo sin precedentes en 2010 de 60 millones de toneladas (sin incluir las plantas ni productos no alimentarios) (FAO 2012). Este logro se ha alcanzado pese a muchas circunstancias adversas, ante las cuales el sector ha demostrado su resiliencia (ver Glosario) y adaptabilidad. Sin embargo, así como sucede en otros sectores agroalimentarios, la acuicultura enfrenta otro 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 (unas 600 según FAO 2012), la acuicultura pueda responder positivamente a las repercusiones de este fenómeno. Para que esto



sea posible, debe existir una política adecuada y deben tener lugar cambios socioeconómicos que es preciso respaldar y suplementar con avances técnicos adecuados. Para esto se debería adoptar un enfoque holístico y un enfoque que proceda de abajo hacia arriba, y no al contrario.

Considerando el aumento de temperatura global, se predice que, estos cambios, serán más significativos en las aguas frías y que afectarán con más relevancia a la acuicultura de las regiones templadas, donde se cultivan salmónidos y moluscos. Los moluscos se verán afectados por las proliferaciones de algas, posiblemente, tóxicas favoreciendo las condiciones de emergencia de patógenos hasta la fecha durmientes. Las medidas de adaptación para contrarrestar estos efectos negativos son muy pocas, aparte de la vigilancia 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 cultivos situados en zonas tropicales y sub-tropicales sin embargo no sufrirán tales desavenencias debido a la tolerancia de las especies que allí se cultivan, capaces de vivir en el rango de temperaturas pronosticadas. Por el contrario, el crecimiento de las poblaciones cultivadas en estas regiones se vería incluso estimulado por el calentamiento incrementando su producción (De Silva & Soto 2009) (**Tabla 2**).

Como ya se ha visto es probable que el impacto del cambio climático en las poblaciones de peces salvajes 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, 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. Para solventar este problema conviene diseñar dietas apropiadas en las que las cantidades de harina y aceite de pescado disminuyan gradualmente. Igualmente, el uso de aceites de pescado debería reducirse exclusivamente al momento previo a la cosecha para satisfacer la demanda de consumo manteniendo la calidad del pescado (Turchini, Francis & De Silva 2007).

Todavía quedan, por cuantificar, muchos procesos que permitan aclarar hasta que punto la acuicultura puede mitigar el cambio climático a través de la alimentación de las larvas, en estadíos iniciales de vida, de los moluscos y algas. De esta manera se obtendría un cálculo del balance neto entre emisiones de GEI a la atmósfera producidos a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o sector y la capacidad de absorción de esos GEI por parte de los organismos acuáticos cultivados. Cuando se tenga alguna estimación de este balance entonces se podrá llegar a decisiones racionales ponderando la necesidad de alimento con las necesidades de desarrollo.

IV. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA ACUICULTURA

TABLA 2 Resumen repercusiones del cambio climático en los sistemas de acuicultura y medidas de adaptación

Acuicultura/ otras actividades	Impactos		Medidas de adaptación
	+/-	Tipo	
Todas: viveros, 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: viveros	-	Eutrofización y surgencia; mortalidad de la población	Mejor planificación; emplazamiento de las instalaciones, ajuste al cambio climático, regulación del seguimiento
Marina/continental; moluscos	-	Aumento de la virulencia de patógenos latentes	Ninguna; seguimiento para prevenir los riesgos sanitarios
Peces carnívoros	-	Limitación del suministro y precio de la harina y aceite de pescado	Sustitución harinas y aceites; nuevas fórmulas; uso de aceites antes de la cosecha; cultivo de especies de nivel bajo en la cadena trófica
Aumento del nivel del mar y otros cambios en la circulación			
Todas; principalmente en las regiones estuarinas y lagunas costeras	+/-	Infiltración de aguas saladas; pérdida de hábitat	Desplazamiento aguas arriba de las especies estenohalinas: cambio costoso, nuevas especies eurihalinas en las instalaciones viejas
		Pérdida de tierras agrícolas	Adopción 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 lo pescadores	Reducción de los suministros de piensos; pero se fomenta el uso de piensos granulados: costos mayores/menor degradación ambiental
Moluscos	-	Aumento de la proliferación de algas nocivas	Mortalidad y aumento de los riesgos relacionados con la salud humana por el consumo de moluscos cultivados afectados
Cambios y pérdidas de hábitat	-	Influencia indirecta en la acuicultura de estuario; poca disponibilidad de semilla	Ninguna
Acidificación			
Cultivo de moluscos/algas marinas	-	Repercusiones en el proceso de calcificación de la concha/deposición	Ninguna
Estrés hídrico (más sequías, etc.)			
Acuicultura continental	-	Escorrentías	Mayor eficiencia en el uso del agua; sistemas de recirculación; mejoras en la gestión entre distintos usuarios
		Limitaciones en el uso y captación	Utilización de especies de peces de crecimiento rápido
Parques de cultivo de zonas costeras	-	Disponibilidad reducida de reservas de semillas salvajes/cambios en las épocas de recolección	Adopción de semillas propagadas artificialmente; mayores costos
Fenómenos meteorológicos extremos			
Viveros flotantes y otros	-	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; fomento del uso de especies autóctonas para minimizar las repercusiones en la biodiversidad

Fuente: adaptado de De Silva & Soto (2009)

V. INDICADORES AMBIENTALES PARA CALCULAR LAS EMISIONES DE GEI

En los últimos años el cambio climático se ha convertido en una de las principales preocupaciones ambientales del planeta. Este término se ha definido como “un cambio atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica y que se añade a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo” por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático³. Por tanto, el cambio climático representa hoy día uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan los países, los gobiernos, la humanidad y, sobre todo, las empresas del siglo XXI, y uno de los principales factores que incide sobre este fenómeno es la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

La liberación de dióxido de carbono (CO₂), la quema de combustibles fósiles, las emisiones de productos químicos y otras fuentes de gases, asociadas a las cadenas de suministro de mercados e industrias, tendrán un efecto adverso o negativo sobre el clima mundial en las próximas décadas.

Ante esta situación, empresas, sectores e industrias de toda índole reclaman un método práctico y verificable capaz de identificar primero, reducir y verificar después, el impacto medioambiental derivado de todos los procesos de creación, transformación, transporte, almacenamiento, reciclaje o disposición de bienes y servicios.

Sin embargo, en este contexto y aunque la concienciación a nivel mundial sobre este impacto haya aumentado en los últimos años, el problema más grave de mandatarios, empresarios y demás responsables radica en que aún no conciben la adopción de tecnologías bajas en emisiones de GEI como un beneficio económico y ambiental, sino como un coste adicional.

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. En este contexto, y como ya se ha visto en el capítulo anterior, 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.

3. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

El análisis ambiental de un producto, proceso y servicio que implica el uso de una gran cantidad de datos sobre los flujos de entradas/salidas de materia y energía a un sistema. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología útil y eficaz para evaluar la carga ambiental de un producto, proceso o servicio con un enfoque integral que tiene en cuenta su ciclo de vida completo (ISO 14040 y 14044), es decir desde la obtención/extracción de las materias primas hasta su disposición final como residuo. La metodología de ACV permite obtener la carga ambiental de un proceso, producto o servicio bajo estudio, e identificar los principales responsables de impacto potencial. La identificación de estos permitirá mediante las correspondientes acciones de mejora una reducción de la carga ambiental, y por tanto una reducción del impacto.

5.1 Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono

El **Análisis del Ciclo de Vida** (ACV) es una metodología que permite realizar un análisis de todas las entradas y salidas derivadas de un producto, proceso o servicio, obteniendo como resultado su perfil ambiental. Esta metodología permite sistematizar la adquisición de datos en aras de establecer criterios objetivos para la toma de decisiones en la estrategia ambiental de la empresa o del proceso productivo. Permite además detectar aquellos puntos críticos del sistema, los cuales corresponden a aquellas etapas del proceso que presentan una mayor contribución al impacto ambiental, de forma que se establece un marco de referencia para la posterior definición de acciones de mejora para todo el sistema.

La consideración del impacto ambiental de un producto, proceso o servicio a lo largo de su ciclo de vida se remonta a la década de 1960, si bien ha recibido un importante impulso en los últimos años (Hospido, 2005). La primera definición del ACV fue establecida por la Sociedad de Química y Toxicología Medioambiental (SETAC) en 1993 que establece lo siguiente: “Se trata de un proceso objetivo para: (1) evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad mediante la identificación y cuantificación del uso de materia y energía así como de las emisiones liberadas al ambiente; (2) analizar los impactos asociados al uso de materia, energía y a las correspondientes emisiones; y (3) establecer y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El análisis incluye el ciclo de vida completo del sistema abarcando diferentes etapas principales: extracción y procesamiento de las materias primas; fabricación, transporte y distribución; uso, re-utilización, mantenimiento; reciclaje y disposición final” (Consoli, 1993).

La profundidad y amplitud de un estudio de ciclo de vida puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de estudio (Baumann & Tillman, 2004). Sin embargo,



pueden identificarse cuatro fases en todo estudio de ciclo de vida que serán presentadas en detalle a continuación:

- Definición de objetivos y alcance
- Objetivos del análisis
- Alcance del estudio
 - Unidad funcional
 - Definición del sistema
- Toma de datos
- Inventarios de ciclo de vida

El término **'huella de carbono'** (HC) de un producto, proceso o servicio se refiere a las emisiones de GEI, cuantificadas como CO₂ equivalentes, que son liberadas a la atmósfera a lo largo del ciclo de vida de un producto, proceso o servicio. El cálculo de este indicador permite, debido a su filosofía de ciclo de vida, actuar sobre los principales responsables de las emisiones de GEI y reducir las mismas mediante el desarrollo de acciones de mejora e identificando las posibles ineficiencias en el proceso bajo estudio.

Actualmente existe una amplia variedad de estándares para la elaboración del inventario con el fin del cálculo de la HC (**Tabla 3**).

A raíz del Protocolo de Kyoto y de la sensibilización cada vez mayor de la sociedad, las etiquetas relacionadas con la HC han proliferado de forma exponencial. La metodología más extendida y reconocida internacionalmente para la evaluación de la huella de carbono en alimentos es el PAS 2050 (Carbon Trust 2011) que utiliza los factores de caracterización (horizonte temporal a 100 años) de los GEI propuestos por el panel internacional para el cambio climático (IPCC 2007). Tanto la PAS 2050 como la ISO 14067, cuando se publique, se orientan al cálculo de la HC del producto mediante la recopilación de toda la información sobre los consumos de materia y energía en cada una de las etapas por las que va pasando un producto expresadas como emisiones de CO₂ equivalentes. El principal problema en este caso es que los cálculos exigen técnicas muy especializadas así como la participación de los proveedores lo que puede limitar la independencia e incrementar el grado de subjetividad. Por otro lado, este levantamiento tan exhaustivo de datos de consumos de materia y energía afina mucho más el resultado final, haciendo partícipes de la huella a otras industrias.

Los datos de la FAO (2003-2012) indican que los sistemas acuícolas poseen un menor impacto ambiental con respecto a otros sistemas de producción de alimentos.

TABLA 3 Principales metodologías para el cálculo de la HC

Ámbito geográfico	Entidad normalizadora	Norma/metodología	Foco	Más información
Internacional	GHG Protocol	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A corporate accounting and reporting standard ✓ A project accounting and reporting standard ✓ Product Standards 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Organizaciones ✓ Proyectos ✓ Productos y servicios 	Publicada en 2001
	ISO	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ISO 14064-1: 2012 ✓ ISO 14067 (partes 1 y 2) ✓ ISO 14069 (2013) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inventario de GEI ✓ Productos y servicios ✓ Organizaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene en cuenta el proceso de fabricación de los equipos ✓ Compatible con GHG Protocol ✓ Aún no disponible
Unión Europea	Comisión Europea	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Product Environmental Footprint (PEF) ✓ Organisation Environmental Footprint (OEF) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Huella de carbono corporativa y de productos ✓ Organizaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disponible en borrador ✓ En elaboración
Reino Unido	BSI	PAS 2050: 2008 y PAS 2050: 2011	Productos y servicios	No tiene en cuenta la fabricación de equipos
		PAS 2060	Proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEIs de una actividad, producto, servicio, edificio, proyecto, pueblos, ciudades y eventos	
		PAS 2050-2: 2012	Productos alimenticios acuáticos	
Francia	AFNOR	BP X30-323		Compatible con ISO 14064, GHG Protocol y la Directiva del mercado de derechos de emisión
	ADEME	Bilan Carbon	Organizaciones	Usa su propia base de datos
Suecia	SEMCo	EPD System	Producto	
Japón	JISC	TS Q 0010		

Así el cultivo de especies continentales herbívoras u omnívoras requerirá una menor cantidad de piensos, y por tanto, un impacto menor, mientras que otras especies marinas y/o carnívoras, requieren una mayor demanda tanto de piensos como de energía en sus sistemas de producción por lo que su impacto será mayor. De forma



específica Iribarren et al. (2010) evaluaron la huella de carbono para un triple pack de latas de mejillón (4,35 kg/CO₂ eq), donde se incluía, y desglosaba, tanto el valor de la etapa de cultivo del mejillón como las diferentes etapas de procesado en la conservera, distribución y consumo.

Otro aspecto clave derivado de la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto ha sido la evaluación efectiva de sumideros de los diversos ecosistemas terrestres y acuáticos (Hessen et al. 2004). Este hecho tiene especial interés en los sistemas acuáticos, ya que los océanos son los mayores reguladores y acumuladores de CO₂ (Doney 2006). El cultivo de mejillón, al igual que otros moluscos, son potencialmente biosecuestradores de carbono del océano y, por ende, de la atmósfera, dado que sus conchas, formadas fundamentalmente por carbonato de calcio, pueden funcionar como acumuladores netos de carbono (Tanq et al. 2011).

Podemos concluir que los motivos por los que se calcula la HC son varios:

- Saber cuál es la carga ambiental de un producto o actividad en cuanto a su contribución al cambio climático,
- Poder obtener valores de referencia sobre los que establecer reducciones de las emisiones de GEI,
- Comunicar la HC a todos los elementos de la cadena de valor incluidos los consumidores finales.

5.1.1 PAS 2050

La norma para la gestión de la HC, PAS 2050, es un estándar internacional que facilita un método claro y consistente para medir las emisiones de GEI derivadas del ciclo de vida de los productos y/o servicios de todo tipo de organizaciones. Desarrollada en 2008 por British Standards International (BSI) y actualizada en 2011 gracias a las primeras experiencias prácticas en organizaciones de todo el mundo, PAS 2050 proporciona un modelo de gestión que incluye la evaluación interna de las emisiones asociadas al ciclo de vida de los bienes y servicios de la organización, la evaluación de las emisiones de otros productos y procesos alternativos, un marco comparativo entre las emisiones de varios productos utilizando los mismos parámetros, una base de referencia para desarrollar programas destinados a reducir las emisiones, así como informes específicos sobre responsabilidad corporativa.

Con todo ello, el estándar permite a las empresas una mejor comprensión de la dimensión de su impacto medio ambiental, reconocer su potencial de ahorro y establecer una base para la comparación y comunicación de los resultados alcanzados, tanto

internamente a las partes implicadas o interesadas de la organización, como externamente, a clientes, proveedores o consumidores finales.

La proliferación de ideas y estrategias para compensar el impacto medioambiental en los últimos años ha sido tal que la falta de una definición y método común de la 'neutralidad del carbono' ha hecho imprescindible el desarrollo de un estándar específico que establezca unos requisitos comunes a todas las organizaciones para demostrar dicho concepto. En este sentido, se crea la PAS 2060 en 2010 facilitando los requisitos que debe cumplir una entidad para demostrar la neutralidad del carbono a través de la cuantificación, reducción y compensación de emisiones de GEI de una forma única.

Por último, BSI ha lanzado la PAS 2050-2: 2012 con requisitos adicionales para la aplicación de la PAS 2050: 2011 para productos marinos. De esta manera, proporciona un enfoque común a la industria pesquera mundial para evaluar las emisiones de GEI. La nueva especificación permite a las organizaciones revisar sus actividades en todas las etapas del ciclo de vida de sus productos (cría, sacrificio, subasta, procesado del pescado, transporte, conservación, etc.).

La incorporación del cálculo de la HC a un producto u organización tiene múltiples beneficios para las empresas y para los consumidores:

Los beneficios de la verificación y neutralidad de la HC según PAS 2050 y PAS 2060, entre otros, son:

1. Para las empresas fabricantes de productos y proveedores de servicios:

- Disponer de un método claro y consistente para evaluar, verificar y neutralizar las emisiones de GEI de sus productos a lo largo de su ciclo de vida,
- Facilitar la evaluación de configuraciones alternativas de los productos y los sistemas de fabricación y logística en base a la HC,
- Facilitar la selección de materias primas y suministradores en base a la HC,
- Permitir la comparación de productos similares en base a la HC, utilizando un método normalizado y reconocido de evaluación,
- Comunicar a sus clientes, consumidores y a la sociedad en general, el compromiso de reducción de la HC de los productos.

2. Para los consumidores de productos y servicios:

- Proveer a los consumidores de la oportunidad de entendimiento de la HC cuando toman las decisiones de compra o en la utilización de los productos y servicios.



Pasos metodológicos:



La especificación PAS 2050 diferencia entre dos enfoques o alcances distintos:

- “de la cuna a la puerta” (cradle-to-gate) llamado valoración empresa-empresa (business-to-business) (**Fig.13**). Este alcance incluye las emisiones derivadas del ciclo de vida del producto.

FIGURA 13 Alcances PAS 2050-2:2012 (BSI 2012)

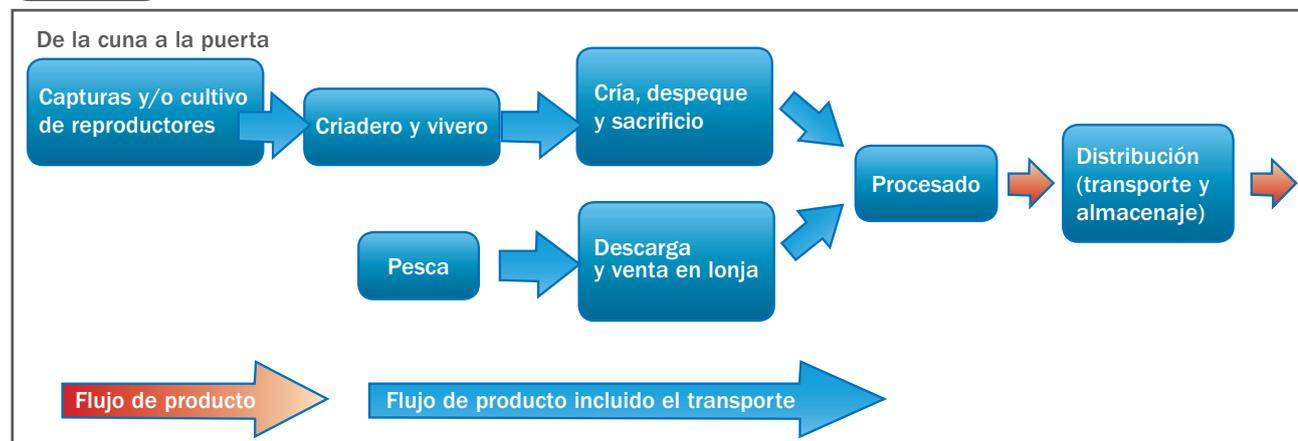
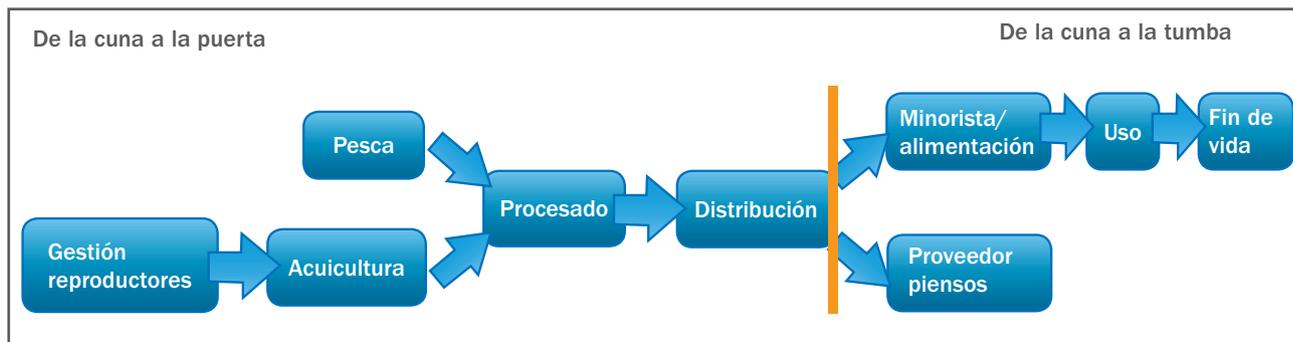


FIGURA 14 Alcances PAS 2050-2:2012 (BSI 2012)



- “de la cuna a la tumba” (cradle-to-grave) llamado valoración empresa-consumidor (business-to-consumer) (**Fig.14**). Este alcance incluye hasta el fin de vida del producto, es decir, hasta su disposición final.

5.1.2 Algunos ejemplos

Moluscos

El Foro de investigaciones en acuicultura de Escocia (SARF) publicó un informe en 2012 “Carbon Footprint of Scottish Suspended Mussels and Intertidal Osters” en el que, utilizando la PAS 2050, calcularon la huella de carbono del mejillón y la ostra escocesa. Este estudio consideró los impactos “de la cuna a la puerta” (cradle-to-gate) de los moluscos, desde la recolección de las semillas (caso del mejillón) y crianza (caso de las ostras) hasta el crecimiento, recolección, depuración y envasado. La huella de carbono se calculó a partir de los datos de producción de 2010 recogidos directamente de los productores de moluscos y los datos secundarios y genéricos de fuentes de la industria y la literatura. Los datos primarios recogidos tuvieron en cuenta el uso de materiales, el consumo de electricidad y el uso de combustible. Los datos secundarios tuvieron en cuenta la producción de materiales, generación de electricidad y combustible, las emisiones en el transporte y los procesos de gestión de residuos.

La huella de carbono obtenida en el mejillón producido en long-lines fue de 252 kg de CO₂ equivalentes por tonelada (eq/tn) y de 1.281 kg CO₂ eq/tn en las ostras cultivadas en la zona intermareal. Al extrapolar estos datos a la producción en Escocia, la huella de carbono para la producción de mejillón y ostra en el año 2010 fue de 1.585.948 y 297.264 kg CO₂ eq, respectivamente.



Más de la mitad del impacto desde la obtención de la semilla hasta que el producto está listo para ser depurado, para ambas especies, corresponde a las operaciones acuícolas, es decir, la electricidad y el combustible empleado para cultivar y cosechar los moluscos. Si se incluye la depuración, la contribución de las operaciones acuícolas a impacto es del 62% para los mejillones y del 81% para las ostras.

El destino de los moluscos (lugar de consumo) y el formato en el que se comercializa (frescos o precocinados) determina el nivel de procesamiento de los mismos, la distancia que recorre y el modo de transporte, la tasa de pérdida a lo largo de la cadena de distribución, la preparación de los moluscos y posiblemente también el uso que se le da a las conchas después de su consumo. Las fases del ciclo de vida como la distribución, venta al por menor y el uso pueden tener un impacto significativo sobre la huella de carbono de los moluscos, especialmente en los mejillones en la fase de procesado.

Este estudio también calculó el carbono secuestrado en las conchas de mejillón y ostras, para ello se basaron en la suposición de que a una tasa de caída del 1% al mes y una tasa de crecimiento lineal, el carbono secuestrado en mejillones que mueren en el mar llega a 12 kg de CO₂ eq/tn. Así, el carbono secuestrado en las conchas de mejillón cosechadas suma 218 kg CO₂ eq/tn y 441 kg CO₂ eq/tn en el caso de las ostras.

Iribarren et al. (2010a,b) calcularon la HC del triple pack de latas de mejillones mediante la metodología definida por la PAS 2050 y a través de un enfoque empresa - consumidor. Obtuvieron un valor final de 4,35 kg CO₂ eq para el triple pack de latas redondas de mejillón. Además, el estudio identificó los procesos de embalaje (producción de las latas) y la gestión de las conchas de mejillón como las principales actividades donde se deben centrar los esfuerzos para mitigar el cambio climático. De esta forma, la HC se presenta como un interesante apoyo para la toma de decisiones en el seno de las empresas. Sin embargo, es cierto que la HC aporta una visión limitada del desempeño ambiental de un producto debido a que sólo se evalúa una única categoría de impacto (el calentamiento global). Mientras que esto constituye un inconveniente importante, la gran fortaleza de la HC radica en el uso de un enfoque de ciclo de vida y en su creciente popularidad. Esto hace posible la elaboración de políticas que promuevan la implementación de estrategias de HC y sirvan así de vehículo provisional hacia un marco político integral para la evaluación ambiental de productos en base a su ciclo de vida.

Algas y Biodiesel

Las investigaciones y estudios sobre la producción y eficiencia de las microalgas como biocombustibles son cada vez mayores. Gracias a la potencialidad de estas para la fijación de CO₂ se ha abierto una puerta hacia nuevos métodos y sistemas para combatir y mitigar el cambio climático.

➤ *La producción de microalgas puede convertir entre 3-8% de energía solar en biomasa a través de la fotosíntesis, mientras que las plantas terrestres convierten alrededor de un 0,5%*

(Huntley & Redalje 2007).

Ho et al. (2011) revisaron los numerosos estudios que se han centrado en posibles estrategias de reducción de las emisiones de CO₂, se podrían dividir en 3 tipos:

1. enfoques basados en las reacciones químicas, como el lavado con soluciones alcalinas, los nanotubos de carbono de pared múltiple, o el revestimiento de amina de carbón activado,
2. inyección directa bajo tierra o al océano,
3. mitigación biológica de CO₂, el CO₂ es biológicamente convertido en materia orgánica.

La fijación biológica de CO₂ se consigue actualmente a través de la fotosíntesis de las plantas terrestres y un enorme número de microorganismos fotosintéticos. Sin embargo, se espera que las plantas contribuyan a una reducción de sólo el 3-6% de las emisiones globales de CO₂ mientras que las microalgas y cianobacterias pueden crecer mucho más rápido que las plantas terrestres, siendo su eficiencia de fijación de CO₂ de aproximadamente 10-50 veces mayor (Costa et al. 2000). La biomasa de microalgas y las cianobacterias también podría servir como alimento para los biocombustibles, medicamentos, cosméticos y alimentos nutritivos, lo que representa beneficios adicionales en el proceso de reducción de CO₂ a través de la microalgas. La fijación de CO₂ es ambientalmente sostenible cuando se combina con otros procesos como el tratamiento de aguas residuales o la eliminación de metales pesados. Una combinación de la fijación de CO₂, la producción de biocombustibles, y tratamiento de aguas residuales puede ofrecer una alternativa muy prometedora a las actuales estrategias de mitigación de CO₂.

Los biocombustibles derivados de microalgas tienen el potencial de sustituir a los combustibles derivados del petróleo y los de primera generación, pero la eficacia ambiental con la que se puede lograr dicha producción depende de los impactos del ciclo de vida del proceso de conversión de las microalgas en biocombustibles.

La evaluación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es la principal herramienta que se ha utilizado para evaluar la sostenibilidad de los biocombustibles. Generalmente, se utiliza como unidad funcional, con fines comparativos, la relación de la energía neta (NER, definida como la relación entre la energía consumida y la producida en combustible) y los GEI por unidad de energía producida. Los resultados de ACV varían mucho en función de los límites del sistema, los inventarios de ciclo de vida, la eficiencia del proceso, y las unidades funcionales definidas (Batan et al. 2010). En la literatura científica se pueden encontrar los procesos de ACV de biodiesel a base de microalgas, pero el consenso sobre los insumos y los métodos apropiados es insuficiente. La realización de un ACV del proceso de microalgas a biodiesel coherente requiere de modelos detallados de cada una de las etapas de procesamiento de materias primas (crecimiento, deshidratación,



extracción, conversión y distribución), combinado con un conjunto estandarizado y consistente de condiciones limítrofes del ACV.

Lardon et al. (2009) proporcionan una evaluación del ciclo de vida completo de un sistema de conductos en tanques abiertos para la producción de biodiesel de microalgas. Para ello, extrapolaron los resultados obtenidos a escala de laboratorio para asignar la carga energética del cultivo y el consumo de energía de los productos sin usar co-productos de desplazamiento. Consideraron como unidad funcional del ACV la combustión de 1 MJ en un motor diesel, el alcance incluye la extracción y producción de materias primas, la construcción de la instalación y su desmantelamiento, la elaboración del biocombustible y el uso en el motor. Se trata de un análisis "de la cuna a la combustión" del combustible y "de la cuna a la tumba" de la instalación. Los resultados obtenidos, además de confirmar el potencial de las microalgas como fuente de energía, también pusieron de relieve la necesidad imperiosa de disminuir el consumo de energía y fertilizante. Por lo tanto, el control del estrés por nitrógeno durante el cultivo y la optimización de la extracción húmeda parecen ser las opciones más valiosas para disminuir los impactos.

Otros ejemplos de producto pesqueros

La huella de carbono se ha de contextualizar y comparar con otros valores de la misma o similar categoría de producto. En primer lugar, se muestran resultados para este indicador ambiental para productos de pesca extractiva (**Tablas 4 y 5**).

TABLA 4 Huella de carbono por kg de captura para diferentes especies objetivo en el litoral gallego

Especie	Año	Arte	kg CO ₂ /kg
Sardina	2009	Cerco	0,78
Jurel	2009	Arrastre	1,44
Jurel	2009	Cerco	0,98
Caballa	2009	Arrastre	0,88
Caballa	2009	Cerco	0,61
Merluza	2009	Arrastre	6,46
Bacaladilla	2009	Arrastre	1,54

Fuente: Vázquez-Rowe (2012).

TABLA 5 Huella de carbono por kg de captura para diferentes pesquerías de altura

Especie	Año	Pesquería/arte	kg CO ₂ /kg
Merluza	2009	Atlántico Norte/palangre	7,21
Merluza	2009	Atlántico Norte/arrastre	6,96
Rapante	2009	Atlántico Norte/arrastre	8,41
Rape negro	2009	Atlántico Norte/arrastre	10,43
Cigala	2009	Atlántico Norte/palangre	28,30
Congrio	2009	Atlántico Norte/palangre	3,88
Castañeta	2009	Atlántico Norte/palangre	3,49
Maruca	2009	Atlántico Norte/palangre	3,13
Cabra	2009	Atlántico Norte/palangre	6,94
Bertorella	2009	Atlántico Norte/palangre	6,25
Atún patudo	2009	Azores/palangre	20,45
Alfonsino	2009	Atlántico Norte/palangre	3,49
Marrajo	2009	Azores/palangre	9,02
Marrajo sardinero	2009	Azores/palangre	9,02
Pez espada	2009	Azores/palangre	14,24
Tintorera	2009	Azores/palangre	3,37
Sepia	2009	Mauritania/arrastre	6,39
Pulpo	2009	Mauritania/arrastre	7,35
Pota pequeña	2009	Mauritania/arrastre	6,91
Merluza de cola	2011	Chile/arrastre	2,5

Fuente: Vázquez-Rowe (2012); Vázquez-Rowe et al. (2013)

En la **Tabla 6** se muestran valores de huella de carbono para productos elaborados en el formato que se presentan al consumidor, por tanto se hace necesario considerarlos bajo una misma unidad funcional; de tal forma, se ha escogido 1 kg de producto como unidad funcional a efectos comparativos.

TABLA 6 Huella de carbono para diferentes productos multi-ingrediente de origen marino (perspectiva de la cuna a la puerta)

Producto	Huella de carbono (kg CO ₂ eq)	Huella de carbono (kg CO ₂ eq/kg)
Mejillón en conserva (pack 3 latas)	4,46	9,84
Varitas de bacalao (1 kg de producto)	2	2
Varitas de abadejo (1 kg de producto)	1,25	1,25
Varitas de merluza (pack 10 varitas)	0,68	2,12

Fuente: Irribarren et al. (2010); Sund V (2009); Vázquez-Rowe et al. (2013)



5.2 Tasa de Retorno Energético

El pescado y los mariscos, como la carne, son valiosos en la alimentación debido a que suministran una buena cantidad de proteína de alto valor biológico (entorno al 17% de la cantidad comestible), sobre todo aminoácidos que contienen azufre. De hecho en 2009 el pescado representó el 16,6% del aporte de proteínas animales de la población mundial y el 6,5% de todas las proteínas consumidas (FAO 2012). Las proteínas, además de ser un aporte energético, son las responsables del crecimiento y desarrollo celular, de ahí su vital importancia en la dieta, sobre todo para niños y mujeres embarazadas, al necesitar gran cantidad de las mismas para un correcto desarrollo, por ello son consideradas por la FAO como el pilar fundamental en la alimentación.

Teniendo en cuenta el aporte de proteínas para nuestra dieta ha surgido un parámetro adimensional derivado de la intensidad energética que nos permite analizar y comparar diferentes productos. Dicho indicador se denomina TRE_{prot} (tasa de retorno energético en forma de proteína comestible), derivado del inglés *ep-EROI* (*edible protein energy return on investment ratio*), siglas en inglés del cociente entre la energía obtenida en forma proteica y la energía invertida, expresando de manera porcentual la cantidad de energía retornada en forma de proteína comestible, en relación con la energía invertida para obtener dicho producto (Vázquez-Rowe et al., 2013). En este parámetro se tienen en cuenta todos los tipos de energía (renovable y no renovable) necesarios a lo largo del ciclo de vida de un producto o proceso, permitiendo comparar los resultados entre diferentes tipos de productos del sector alimentario.

La contribución global de la pesca a las emisiones globales de GEI parece ser relativamente pequeña en términos absolutos. Según el Estado Mundial de la Pesca y de la Acuicultura de 2008: “la pesca contribuye en baja medida pero significativamente a las emisiones de GEI durante las operaciones de producción y el transporte, procesamiento y almacenamiento del pescado” (FAO 2009). Las estimaciones sobre el consumo mundial de energía para la pesca sugieren que en realidad los productos pesqueros son, en promedio, una fuente mucho más eficiente energéticamente de proteína que muchos sistemas de producción de animales terrestres.

Estudios realizados en los salmones de crianza de Canadá obtuvieron datos de TRE_{prot} que variaban desde 7,8% a 17,8% dependiendo de la formulación de los piensos usados. Así, se pudo ver que comparando la TRE_{prot} de una granja de salmones con piensos ambientalmente sostenible (orgánicos) con una de pollos los resultados son parecidos (17% para el pollo). De forma parecida sucede si lo comparamos, en términos de calentamiento global, con otras granjas terrestres cárnicas.

Para comprender mejor este valor es conveniente compararlo con otros productos. Tal como muestra la **Tabla 7**, se observan valores de TRE_{prot} para una amplia variedad de fuentes de alimento animal, donde los sistemas de producción de proteína animal como el pollo presenta un retorno energético bastante elevado: 25%, debido principalmente al elevado rendimiento en cuanto a producción mientras que la carne de vacuno presenta un valor bajo: 5% sobre todo si lo comparamos con pollo o incluso pavo: 10%.

TABLA 7 Valores de TRE_{prot} para varios sistemas de producción de proteína animal

Producto	TRE_{prot} (%)	Procedencia/arte
Pollo	25,0	Estados Unidos
Tilapia	13,0	Indonesia/acuicultura
Pavo	10,0	Estados Unidos
Leche	7,1	Estados Unidos
Carne vacuno	5,0	Estados Unidos
Huevos	2,5	Estados Unidos
Pez espada	2,6	Azores/palangre
Tintorera	1,9	Azores/palangre
Marrajo	2,4	Azores/palangre
Atún	2,8	Azores/palangre
Pulpo	2,1	Mauritania/arrastre de fondo
Calamar	2,1	Mauritania/arrastre de fondo
Lenguado	1,5	Mauritania/arrastre de fondo
Merluza negra	1,3	Mauritania/arrastre de fondo
Langostino	2,0	Mauritania/arrastre de fondo
Jurel	14,9	Galicia/cerco
Sardina	18,3	Galicia/cerco
Caballa	17,8	Galicia/cerco
Merluza	5,6	Galicia/arrastre litoral
Caballa	7,3	Galicia/arrastre litoral
Jurel	6,1	Galicia/arrastre litoral
Bacaladilla/lirio	5,8	Galicia/arrastre litoral
Caballa	68,6	País Vasco/cerco

Fuente: Tyedmers et al. (2005); Vázquez-Rowe et al. (2013)



En cuanto a productos frescos procedente de pesca extractiva, se aprecia como la pesca litoral presenta un retorno energético elevado como es el caso de jurel (14,9%), sardina (18,3%) y caballa (17,8%) procedentes de la pesca en litoral de Galicia utilizando cerco como arte de pesca. Otra pesquería destacada de cerco en el litoral es la de la caballa en el País Vasco, que obtiene el valor más elevado con el 68,6%. Otras pesquerías como la de arrastre de fondo en Mauritania apenas superan el 2% de retorno en sus capturas, o el palangre en Azores donde apenas se alcanza el 3% para sus capturas. La pesquería de litoral en Galicia de arrastre presenta un retorno menor si se compara con el cerco de litoral. Por otro lado, destaca el retorno energético para la pesca de arrastre en Chile con el 10,4%, ya que es en esta pesquería en la que se obtiene el ingrediente principal de las varitas de merluza. Las diferencias entre los retornos energéticos en forma de proteína de las diferentes pesquerías se deben principalmente a la eficiencia energética durante la extracción de estos productos.



VI. RECOMENDACIONES

Las políticas de adaptación al cambio climático son una herramienta esencial en la lucha contra esta amenaza global y, junto a las acciones de reducción de emisiones, forman parte de un conjunto de medidas indispensables a desarrollar por todos los gobiernos y administraciones nacionales, regionales y locales. La adaptación será cada vez más un elemento clave a considerar dentro de cualquier estrategia nacional. No se podrán evitar algunos impactos del cambio climático y será necesario encontrar fórmulas adaptativas que permitan la viabilidad futura de muchas actividades y profesiones.

La política sobre cultivos marinos afecta a las políticas estatales y a las de las CCAAs, dado que se producen en aguas interiores. La política de fuerte desarrollo emprendida en las últimas décadas deberá ser sometida a evaluación, prestando atención a las modificaciones sobre los cambios en la productividad, y por tanto a su rendimiento y sostenibilidad.

Por supuesto, de forma paralela, es imprescindible establecer medidas de reducción de emisiones, con el objetivo de mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 2°C y, de esta forma, asegurar que los impactos que se produzcan como consecuencia del calentamiento global no sean irreversibles.

La subida del nivel del mar y los cambios de los regímenes de vientos, oleaje y corrientes puede provocar, entre otros, la erosión costera, la retracción de la costa y de playas y sistemas dunares, así como contaminar acuíferos costeros de agua dulce. Algunas de estas repercusiones tendrán un efecto negativo sobre ciertas actividades acuícolas situadas en zonas costeras, tal y como se ha puesto de relieve en este informe.

El acuícola es, por lo tanto, otro sector muy vulnerable a los impactos del cambio climático y es necesario desarrollar estrategias de adaptación específica frente a los cambios en el mar y en los recursos marinos y continentales, que ya se están produciendo y que se acentuarán en el futuro.

La buena conservación de nuestros mares y ríos es un elemento clave para poder seguir garantizando su papel como sumidero de carbono y regulador del sistema climático de la Tierra, así como su alto valor ecológico y económico.

La existencia de un incremento en las floraciones de algas nocivas, pero también de organismos animales urticantes, medusas, sifonóforos, durante los meses cálidos, en



parte al menos, relacionada con el incremento de la temperatura del agua y de nutrientes inorgánicos, puede provocar molestias y trastornos al sector turístico. Se han detectado incrementos de floraciones de dinoflagelados tóxicos en calas de la costa catalana y de las Canarias, y de medusas en el Mar Menor.

Con vistas a evitar la extinción de especies, las políticas de adaptación en el sector pesquero deben asegurar el desarrollo de una pesca sostenible, apoyado, por ejemplo, en un sistema de certificación pesquera, como el Marine Stewardship Council (MSC).

Las políticas de adaptación tienen que dirigirse igualmente al consumidor final (Huella de Carbono), informándole sobre cómo realizar un consumo responsable de los recursos pesqueros y acuícolas sin contribuir a la sobreexplotación de especies ni a su extinción. En este sentido, es necesario el apoyo de las administraciones públicas para que, de forma sincronizada con otros organismos, instituciones y la sociedad civil, promuevan campañas de consumo responsable, mejora del etiquetaje y de concienciación.

Para la correcta adaptación y mitigación se deben adoptar una serie de medidas institucionales y normativas como: la adopción de un enfoque ecosistemático de la acuicultura (EEA) como estrategia nacional; seguir potenciando la acuicultura sin piensos (organismos filtradores y algas) y; potenciar el cultivo y uso de masas de agua continentales. El propósito del EEA consiste en integrar la acuicultura con las actividades humanas, basándose en la mejor disposición del conocimiento acerca del ecosistema y su dinámica, con el fin de identificar y tomar medidas de los impactos críticos para la salud de los ecosistemas acuáticos, consiguiendo así un uso sostenible de los bienes y servicios que mantienen la integridad del ecosistema.

Este enfoque abarca todo el abanico de agentes interesados, 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 (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 (granja; zona dedicada a la acuicultura, el cuerpo de agua o la cuenca hidrográfica donde se desarrolla la actividad y; la dimensión mundial) (Soto et al. 2008). La escala referida a la cuenca hidrográfica

sería la más apropiada y, sin embargo, normalmente las divisiones administrativas no suelen coincidir con las 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.

La acuicultura marina puede proporcionar medios de adaptación a las comunidades agrícolas costeras. Los efectos de salinización pueden aumentar debido a la subida del nivel del mar creando oportunidades para producir proteínas animales cuando el agua dulce escasee. Otra razón más por la cual 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. El EEA representa una estrategia apropiada que asegura la sostenibilidad mediante una planificación consciente de las repercusiones del cambio climático.

Además existen otros elementos relacionados que son precisos considerar en las políticas y en la planificación:

- **Seguros en la acuicultura.** Como medida de adaptación dirigida a limitar la quiebra de empresas acuícolas habría que promocionar y potenciar la contratación de 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. Esta medida será más importante entre los pequeños productores los cuales no están tan acostumbrados a contratar seguros como las empresas grandes.
- **I+D+i.** Las inversiones en investigación, desarrollo e innovación, así como la transferencia de tecnología juegan un papel muy importante en la adaptación al cambio climático. Es fundamental que los mecanismos de transferencia tecnológica lleguen a los pequeños productores. Se deberá hacer más esfuerzos de investigación en ingeniería de instalaciones y sistemas de cultivo, nuevas enfermedades y tratamientos preventivos, fisiología acuática animal, mejores piensos y prácticas de alimentación más acordes con el ecosistema.



La diversificación 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.

- **Selección de emplazamientos.** Una buena planificación y ordenación de las zonas aptas para acuicultura puede ayudar a la adaptación al cambio climático. A la hora de diseñar los emplazamientos más adecuados es esencial determinar las posibles amenazas mediante un análisis de riesgos. Los viveros flotantes deberán ser fijados sólidamente al fondo o a una estructura de soporte, incluso usar sistemas sumergibles que los hagan más resistentes al embate de las olas. Los sistemas costeros en tierra deberán estar amparados por diques u otras estructuras protectoras. 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. 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. En este sentido, la calidad de los sistemas de información meteorológica ha mejorado muchísimo procurando impedir los grandes daños que puedan sufrir las infraestructuras y la biomasa.

Los dispositivos de prevención más importantes deben comportar un protocolo de seguimiento crítico y efectivo de los cuerpos de agua y los organismos acuáticos. A nivel local se puede implementar un sistema de seguimiento integrado que permite hacer una detección temprana de las presencia de algas y enfermedades, por ejemplo, mediante el uso del disco Secchi para detectar las floraciones algales nocivas. En este sentido, el Instituto Tecnológico para el Control del Medio Marino de Galicia dispone de un programa de seguimiento permanente accesible a través de Internet aportando información de situaciones de emergencia y de alerta temprana sobre mareas rojas y demás condiciones del agua útiles para el cultivo de mejillón.

Por último, se presentan algunas medidas concretas de adaptación:

En cuanto a la **acuicultura continental** y debido a la distribución de competencias en el tema acuícola en España, todas las CCAAs deberán ponerse de acuerdo en la definición y gestión de políticas de acuicultura continental necesarias para la adapta-

ción y gestión de poblaciones acuícolas afectadas. La administración debe incentivar proyectos preventivos que contemplen y analicen los efectos del cambio climático. Se debe garantizar las políticas de ahorro de agua con el fin de asegurar la cantidad de agua disponible para los ecosistemas acuáticos, esto es en la agricultura, recarga de acuíferos, reciclado de aguas residuales, calidad de aguas superficiales, revegetación en las cuencas hidrográficas, etc.

La puesta a punto de nuevos **cultivos marinos**, tanto animales como vegetales, puede ser una respuesta adaptativa a los cambios del medio. Pero hay que tomar en consideración los peligros que la introducción de especies foráneas cultivables puede tener sobre las poblaciones autóctonas y sobre el ecosistema que las soporta. Igualmente, el control parasitológico de la introducción de especies cultivables debe ser una prioridad. Siempre se debe aplicar el principio de precaución para evitar que las especies introducidas escapen a los controles establecidos y se establezcan como especies invasoras⁴. Su interacción con ecosistemas y especies autóctonas pueden provocar cambios negativos e imprevistos si escapan al control humano. También, si el control sanitario no es suficiente, pueden incrementar el número de organismos patógenos con grave daño para los cultivos preexistentes.

Se debe establecer la capacidad de carga sostenible de los ecosistemas en los que se implantan los cultivos y las influencias que pueden provocar en el medio como medida adaptativa básica para lograr una producción sostenible. Una predicción meteorológica y del medio costero que avise con suficiente antelación y precisión de la posibilidad de eventos climáticos extremos (lluvias torrenciales) que reduzcan la salinidad del medio, unido a la existencia de protocolos de respuesta permitiría limitar los daños. Fomentando del desarrollo tecnológico e introducción de técnicas de mejora en las instalaciones de acuicultura se evitarían los escapes de peces al medio natural.

4. http://www.ojd.es/OJD/Portal/diarios_ojd/_4DOSpuiQo1Y_F0ivPcLlIA

REFERENCIAS

AEMET. (2009). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Pg. 158.

AEMET. (2012). Resumen Anual Climatológico 2011. En <http://www.aemet.es/>

Allsopp M., Johnston P. & Santillo D. (2008). Challenging the aquaculture industry on sustainability. Amsterdam. Greenpeace. 22 pp.

Álvarez Cobelas M., Catalán J. & García de Jalón D. (2005). Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. En: Evaluación preliminar de los impactos en España por los efectos del cambio climático. Ministerio Medio Ambiente, 840 pp.

Álvarez-Salgado X.A., Labarta U., Fernández-Reiriz M.J., Figueiras F.G., Rosón G., Piedracoba S., Filgueira R. & Cabanas J.M. (2008). Renewal time and the impact of harmful algal blooms on the extensive mussel raft culture of the Iberian coastal upwelling system. *Harmful Algae* 7: 849-855.

Anadón R., Fernández C., García Florez L., Losada I. & Valdés L. (2009). Costas y Océanos. En R. Anadón & N. Roque.i (coords.) Evidencias y efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias . Gobierno del Principado de Asturias, Oviedo. pp 126-171.

Anestis A., Pörtner H.O., Karagiannis D., Angelidis P., Staikou A., Miachaelidis B. (2010). Response of *Mytilus galloprovincialis* (L.) to increasing seawater temperature and to martellosis: Metabolic and physiological parameters. *Comp Biochem Physiol A* 156: 57–66.

Anthony A., Atwood J., August P, Byron C., Cobb S., Foster C., Fry C., Gold A., Hagos K., Heffner L., Kellogg D.K., Lellis-Dibble K., Opaluch J.J., Oviatt C., Pfeiffer-Herbert A., Rohr N., Smith L., Smythe T., Swift J., Vinhateiro N. (2009). Coastal lagoons and climate change: ecological and social ramifications in US Atlantic and Gulf Coast Ecosystems. *Ecology and Society* 14(1): 8. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art8/>

Arechavala-Lopez P., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J.T., Uglem I., Mladineo I. (2013). Reared fish, farmed escapees and wild fish stocks- a triangle of pathogen transmission of concern to Mediterranean aquaculture management. *Aquacult Environ Interact* 3:153-161

Archavala-Lopez P., Uglem I., Fernandez-Jover D., Bayle-Sempere J.T., Sanchez-Jerez P. (2011). Immediate postescape behaviour of farmed sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in the Mediterranean Sea. *J Appl Ichthyol* 27: 1375–1378

Archavala-Lopez P., Uglem I., Fernandez-Jover D., Bayle-Sempere J.T., Sanchez-Jerez P. (2012). Post-escape dispersion of farmed sea bream (*Sparus aurata* L.) and recaptures by local fisheries in the Western Mediterranean Sea. *Fish Res* 121-122: 126–135.

Areekjsee M., Arunee E., Kovitvadhii U., Thongpan A., Mingmuang M., Pakkong P., Rungruangsak-Torrissen K. (2004). Temperature and pH characteristics of amylase and proteinase of adult freshwater pearl mussel, *Hyriopsis (Hyriopsis) bialatus* (Simpson 1900). *Aquaculture* 234: 575–587.

Arnold, W.S. (2008). Application of larval release for restocking and stock enhancement of coastal marine bivalve populations. *Rev Fish Sci* 16: 65–71.

Bañón R. (2009). Variacións na diversidade e abundancia ictiolóxica mariña en Galicia por efectos do Cambio climático. En: Evidencias e impacto do cambio climático en Galicia . Xunta de Galicia, Santiago de Compostela. pp. 355-372.

Bañón R., del Río J.L., Piñeiro C. & Casas M. (2002). Occurrence of tropical affinity fish in Galician waters, north-west Spain. *Journal of the Marine Biological Association of the U.K.*, 82: 877-880. En: Capdevila-Argüelles L., B. Zilletti y V.A. Suárez Álvarez. 2011. Cambio climático y especies exóticas invasoras en España. Diagnóstico preliminar y bases de conocimiento sobre impacto y vulnerabilidad. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 146 Pp.

Batan L., Quinn J., Willson B., Bradley T. (2010). Net energy and greenhouse gas emission evaluation of biodiesel derived from microalgae. *Environ. Sci. Technol.* 44 (20): 7975-7980.

Baumann H & Tillman AM (2004) The Hitch Hiker's Guide to LCA: and orientation in life cycle assessment methodology and application. Lund: Studentlitteratur

Bernal S., Butturini A., Nin E., Sabater F. & Sabater S. (2003). Leaf litter dynamics and N₂O emission in a Mediterranean riparian forest: implications for soil nitrogen dynamics. *Journal of Environmental Quality* 32: 191-197.



Bindoff, N., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quere, S. Levitus, Y. Nojiri, C. K. Shum, L. Talley & A. Unnikrishnan. (2007). Observations: oceanic climate change and sea level. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 385-432.

Bladé I., Cacho I., Castro-Díez Y., Gomis D., González-Sampériz P., Miguez-Macho G., Perez F.F., Rodríguez-Fonseca B., Rodríguez-Puebla C., Sánchez E., Sotillo G., Valero-Garcés B. & Vargas-Yáñez M. (2010). Clima en España: Pasado, presente y futuro. Informe de evaluación del cambio climático regional. Eds. F.F. Pérez & R. Boscolo. CLIVAR España. MARM y MICINN.

Bode A., Alvarez-Salgado X.A., Ruiz-Villarreal M., Banon Diaz R., Castro C.G., Molares Vila J., Otero J., Roson G. & Varela M. (2009). Impacto do cambio climático nas condicións oceanográficas e nos recursos marinos. En: Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela. p 499-515.

Borja A., Bald J. & Muxika I. (2004). El recurso marisquero de percebe (*Pollicipes pollicipes*) en el biotopo marino protegido de Gaztelugatxe y en áreas explotadas de Bizkaia. Report No.101, Gobierno Vasco.

Brito, A. (2008). Influencia del calentamiento global sobre la biodiversidad marina de las Islas Canarias. En: J. Afonso-Carrillo, (ed.) Naturaleza amenazada por los cambios en el clima. Actas de la III Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. pp. 141-161.

Brunet M., Casado M.J., Castro M., Galán P., López J.A., Martín J.M., Pastor A., Petisco E., Ramos P., Ribalaygua J., Rodríguez E., Sanz I. & Torres L. (2008). Generación de escenarios climáticos regionalizados para España. Agencia Estatal de Meteorología. 157 pp.

BSI. (2012). PAS 2050-2:2012 - Assessment of life cycle greenhouse gas emissions: supplementary requirements for the application of PAS 2050:2011 to seafood and other aquatic food products. British Standards Institution.

Cai L.S., Fang J.G., Liang X.M. (2003). Natural sedimentation in large scale aquaculture areas in Sungo Bay, north China Se. *J Fish Sci China* 10:305-311.

Carbon Trust, Department of Environment, Food & Rural Affairs and British Standards Institute. (2011). PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Disponible en: <http://www.bsigroup.es/es/>

Castro C.G., Alvarez-Salgado X.A., Nogueira E., Gago J., Pérez F.F., Bode A., Ríos A.F., Rosón G. & Varela M. (2009). Evidencias biogeoquímicas do cambio climático. Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela. pp. 303-326.

Castro M., Martín-Vide J & Alonso S. (2005). El Clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. En: J.M. Moreno (ed.) Evaluación Preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente. pp. 1-64.

Chapela-Perez R., Ballesteros M. (2011). Procedures for site selection, regulatory schemes and EIA procedures in the Mediterranean. In: Borg JA, Crosetti D, Massa F (eds). Site selection and carrying capacity in Mediterranean marine aquaculture: key issues (WGSC-SHoCMed). 35th session, General Fisheries Commission for the Mediterranean (GFCM), Rome, p 91–136.

Chauavaud L., Thompson K.J., Cloern E., Thouzeau G. (2003). Clams as CO₂ generators: The *Potamocorbula amurensis* example in San Francisco Bay. *Limnol Oceanogr* 48: 2086-2092.

Cochrane K., De Young C., Bahri T. (eds). (2012). Climate change implications for fisheries and aquaculture. Overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper . No. 530. Rome, FAO. pp. 212.

Consoli F. (1993). Guidelines for Life Cycle Assessment: A code of practice. Coimbra: SETAC. European Commission, 2009. Solar Irradiation Data, Joint Research Center. Disponible en: <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>

Cooley S.R., Doney S.C. (2009). Anticipating ocean acidification's economic consequences for commercial fisheries. *Environ Res Lett* 4:024007.

Costa J.A.V., Linde G.A., Atala D.I.P. (2000). Modelling of growth conditions for cyanobacterium *Spirulina platensis* in microcosms. *World J Microbiol Biotechnol* 16: 15–8.



Daufresne M & Boët P (2007). Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers. *Global Change Biology* 13: 2467-2478.

De Silva S.S. & 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, No 530. Roma, FAO. pp. 169-236.

Doney S.C. (2006). La acidificación de los océanos. *Investigación y Ciencia*, mayo, 50-57.

ECOHARM. (2003). Scatasta S., Stolte W., Granéli E., Weikard H. P & van Ierland E. Harmful algal blooms in European marine water: socio-economic analysis of selected cases studies. Third deliverable for the EU-funded project ECOHARM.

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.

Falkowski P.G., et al. (2000). The global carbon cycle: a test of our knowledge of Earth as a system. *Science* 290:291- 296.

FAO/NACA. (2012). Farming the Waters for People and Food. R.P Subasinghe, J.R. Arthur, D.M. Bartley, S.S. De Silva, M. Halwart, N. Hishamunda, C.V. Mohan & P. Sorgeloos, (Eds.) Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010, Phuket, Thailand. 22–25 September 2010. FAO, Rome and NACA, Bangkok. 896 pp.

FAO. (2003-2012). Fisheries and Aquaculture topics. Climate change and fisheries and aquaculture. Topics Fact Sheets. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Con acceso 14 de Mayo de 2012. <http://www.fao.org/fishery/topic/13788/> en FAO. (2009). The State of World Fisheries and Aquaculture 2008. Rome: FAO.

FAO. (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. Roma. 231 págs. Fausch K.D., Taniguchi Y., Nakano S., Grossman G.D. & Townsend C.R. (2001). Flood disturbance regimes influence rainbow trout invasion success among five Holarctic regions. *Ecological Applications*, 11:1438–1455.

Feely R.A., Sabine C.L., Lee K., Berelson W., Kleypas J., Fabry V.J. & Millero F.J. (2004). Impact of anthropogenic CO₂ on the CO₃Ca system in the oceans. *Science* 305: 362-366.

Fernández-Reiriz M.J., Range P., Alvarez-Salgado X.A., Espinosa J., Labarta U. (2012). Tolerance of juvenile *Mytilus galloprovincialis* to experimental seawater acidification. *Mar Ecol Prog Ser* 454: 65-74.

Fernández-Reiriz M.J., Range P., Alvarez-Salgado X.A., Labarta U. (2011). Physiological energetics of juvenile clams *Ruditapes decussatus* in a high CO₂ coastal ocean. *Mar Ecol Prog Ser* 433: 97–105.

FOESA. (2013). Estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura española. FOESA, Madrid, España. 88 páginas.

Friedland K.D., Reddin D.G. & Castonguay M. (2003). Ocean thermal conditions in the post-smolt nursery of North American Atlantic salmon. *ICES-Journal-of-Marine-Science*. 60: 343-355.

García-Mozo H., Galán C., Díaz de la Guardia C., Nieto-Lugilde D., Recio M., Hidalgo P., González-Minero F., Ruiz L. & Domínguez-Vilches E. (2010). Trends in grass pollen Seaton in southern Spain. *Aerobiología* 26: 157-169.

GEOHAB. (2005). Global Ecology and oceanography of Harmful Algal Blooms . GEOHAB Core Research Project: HABS in Upwelling Systems. G. Pitcher, T. Moita, V. Trainer, R. Kudela, F.G Figueiras and T. Probyn (eds.), IOC and SCOR, Paris and Baltimore, 82pp.

Gili, J.M. (2011). En: <http://www.rtve.es/alacarta/audios/en-dias-como-hoy/dias-como-hoy-cada-vez-hay-masmedusas-nuestras-playas/1157260/>

Grace J. & Rayment M. (2000). Respiration in the balance. *Nature* 404:819-820.

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

Harley C.D.G., Randall Hughes A., Hultgren K.M., Miner B.G., Sorte C.J.B., Thornber C.S., Rodriguez L.F., Tomanek L. & Williams S.L. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9: 228-241.

Hessen D.O., Agreen G.I., Anderson T.R., Elser, J.J., de Rutter, P.C. (2004). Carbon sequestration in ecosystems: The role of stoichiometry. *Ecology*, 85(5):1179-1192.



Ho S.H., Chen C.Y., Lee D.J., Chang J.S. (2011). Perspectives on microalgal CO₂ – emission mitigation Systems – A review. *Biotechnology advances* 29:189-198.

Hospido A. (2005). Life cycle assessment as a tool for analyzing the environmental performance of a key food sectors in Galicia (Spain): Milk and canned tuna. Doctoral thesis, Universidad de Santiago de Compostela, España.

Huntley M.E., Redalje D.G. (2007). CO₂ Mitigation and Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal. *Mitigat. Adapt. Strat. Global Change*, 12: 573–608.

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.)

Iribarren D. (2010b). Life Cycle Assessment of mussel and turbot aquaculture–application and insights. Doctoral thesis, University of Santiago de Compostela, Spain.

Iribarren D., Hospido A., Moreira M.T., Feijoo G. (2010a). Carbon footprint of canned mussels from a business-to-consumer approach. A starting point for mussel processors and policy makers. *Environmental Science & Policy*, 13(6), 509-521.

Jenkins A., McCartney M. & Sefton C. (1993). Impacts of climate change on river quality in the United Kingdom. Report to Department of Environment. Institute of Hydrology. Wallingford. 39 pgs.

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.

Koch R., Gobler C.J. (2009). The effects of tidal export from salt marsh ditches on estuarine water quality and plankton communities. *Est Coasts* 32: 261–275.

Lardon L., Helias A., Sialve B., Stayer J.P., Bernard O. (2009). Lifecycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environ. Sci. Technol.* 43 (17): 6475–6481.

Losada, I. (2007). Impactos del cambio climático en la costa española. Ciclo: el clima que viene. Fundación Juan March. http://www.march.es/Recursos_Web/Culturales/Documentos/conferencias/PP2454.pdf

Martín Esquivel, J.L. (2011). El calentamiento climático afecta a la biodiversidad de las Islas Canarias. *Boletín de la Red de Seguimiento del Cambio Global* 1: 22-25.

Matthews W.J. & Marsh-Matthews E. (2003). Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity. *Freshwater Biology*, 48: 1232–1253.

Melzner F., Gutowska M.A., Langenbuch M., Dupont S. & others. (2009). Physiological basis for high CO₂ tolerance in marine ectothermic animals: pre-adaptation through lifestyle and ontogeny? *Biogeosciences* 6: 2313–2331.

Menendez M., Martinez M., Comin F.A. (2001). A comparative study on the effect of pH and inorganic carbon resources on the photosynthesis of three floating macroalgae species of a Mediterranean coastal lagoon. *J Exp Mar Biol Ecol* 256:123-136.

Miller A.W., Reynolds A.C., Sobrino C., Riedel G.F. (2009). Shellfish face uncertain future in high CO₂ world: Influence of acidification on oyster larvae and growth in estuaries. *PLoS One* 4: e5661.

Nellemann C., Corcoran E., Duarte C.M., Valdés L., De Young C., Fonseca L., Grimsditch G. (2009). Blue Carbon: A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, www.grida.no.

Ospina-Álvarez N., Piferrer F. (2008). Temperature-Dependent Sex Determination in Fish Revisited: Prevalence, a Single Sex Ratio Response Pattern, and Possible Effects of Climate Change. *PLoS ONE* 3(7): e2837. doi:10.1371/journal.pone.0002837.

Parmesan C., Duarte C., Poloczanska E., Richardson A. & Singer M.C. (2011). Overstretching attribution. *Nature Climate Change* 1: 2-4.

Pelletier N. & Tyedmers P. (2007). Feeding farmed salmon: Is organic better?. *Aquaculture* 272: 399-416.



Peña C. (2011). Sostenibilidad de la costa y cambio climático: experiencias españolas., presentado el 13 de mayo de 2011 en Taller Regional sobre Impactos y Adaptación al Cambio Climático en las Zonas Costeras de América Latina y Caribe. Santander, España.

Pike I.H. & Barlow S.M. (2002). Impacts of fish farming on fish, Bordeaux Aquaculture and Environment Symposium. Bordeaux, France. (Available at www.iffco.org.uk/tech/bordeau.htm.)

Quéro J.C., Du Buit M.H. & Vayne J.J. (1998). Les observations de poissons tropicaux et le réchauffement des eaux dans l'Atlantique européen. *Oceanologica Acta*, 21(2): 345-351. En: Capdevila-Argüelles L., B. Zilletti y V.A. Suárez Álvarez. 2011. Cambio climático y especies exóticas invasoras en España. Diagnóstico preliminar y bases de conocimiento sobre impacto y vulnerabilidad. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 146 Pp.

Rahel F.J. & Olden J.D. (2008). Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species. *Conservation Biology*, 22 (3): 521–533.

Rodríguez C.P., Ceballos A.B., González N.R., Morán E.T. y Hernández A.E. (2012). Cambio climático. Extremos e impactos. Salamanca: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, nº 8. , 998 pp.

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.

SARF. (2012). Carbon Footprint of Scottish Suspended Mussels and Intertidal Osters. <http://www.sarf.org.uk>.

Schmittner A. (2005). Decline of the marine ecosystem caused by a reduction in the Atlantic overturning circulation. *Nature*, 434: 628–633.

Sreejariya P., Gallardo W., Dabbadie L. (2011). The role of integrated multitrophic aquaculture (IMTA) in climate change mitigation and adaptation. *Climate Change and Green Economy: Pathway to Response*. Thailand Greenhouse Gas Management Organization. Proc. Climate Thailand Conference 2011, Bangkok, 18-19/08/2011: 9 p.

Sreejariya P., Gallardo W., Dabbadie L. (2012). Integrated Multi-Trophic Aquaculture of red tilapia (*Oreochromis* sp.), fairy shrimp (*Streptocephalus sirindornae*) and lettuce (*Lactuca sativa*) in recirculating system. Proc. EAS European Aquaculture Society, Prague, 1-7 octubre 2012: 1p.

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., Silvert, W., Marbà, 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, pp. 15–35. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings 14. Rome, FAO.

Sund V. (2009). Environmental assessment of Northeast arctic cod (*Gadus morhua*) caught by long-lines and Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) caught by pelagic trawls. Carbon footprinting and analysis of biological sustainability of two frozen seafood products using Life Cycle Assessment methodology. Bachelor of Science thesis in Marine Ecology, University of Gothenburg.

Talmage S.C., Gobler C.J. (2009). The effects of elevated carbon dioxide concentrations on the metamorphosis, size and survival of larval hard clams (*Mercenaria mercenaria*), bay scallops (*Argopecten irradians*), and Eastern oysters (*Crassostrea virginica*). *Limnol Oceanogr* 54: 2072–2080.

Tang Q., Zhang J. & Fang J. (2011). Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 424:97-104.

Tang Q., Zhang J., Fang J. (2011). Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems. *Mar Ecol Prog Ser* 424:97-104.

Thomsen J., Gutowska M.A., Saphörster J., Heinemann A. & others. (2010). Calcifying invertebrates succeed in a naturally CO₂-rich coastal habitat but are threatened by high levels of future acidification. *Biogeosciences Discuss* 7: 5119–5156.

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.



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. & Parker R. (2012). Fuel consumption and greenhouse gas emissions from global tuna fisheries: A preliminary assessment. ISSF Technical Report 2012-03. International Seafood Sustainability Foundation, McLean, Virginia, USA.

Tyedmeyers PH, Watson R, Pauly D. (2005). Fueling Global Fishing Fleets. *Journal of The Human Environment*.

Varela M., Bode A., Gómez Figueiras F., Huete-Ortega M. & Mara.ón E. (2009). Variabilidade e tendencias interanuais no fitoplancton mari.o das costas de Galicia. Evidencias e impacto do Cambio Climático en Galicia. Xunta de Galicia. pp. 355-372.

Vázquez-Rowe I. (2012). Fishing for solutions. Environmental and operational assessment of selected Galician fisheries and their products. Doctoral Thesis, Universidad de Santiago de Compostela, España.

Vázquez-Rowe I, Villanueva-Rey P, Moreira MT, Feijoo G (2013). Protein energy return on investment ratio (EROI) for Spanish seafood products. *AMBIO*

VVAA. (2007). El cambio climático en España. Informe para el Presidente del Gobierno elaborado por expertos en cambio climático. Documento resumen. Noviembre 2007.

VVAA. (2011). Biodiversidad en España. Base de la Sostenibilidad ante el Cambio Global. Observatorio de la Sostenibilidad en España.

WWF. (2010). Testigos del clima. Impactos y testimonios del cambio climático en España. 34 pp.





BLOQUE II

VII. CULTIVO DE MEJILLÓN Y HUELLA DE CARBONO

7.1 Equipo de trabajo

Este capítulo ha sido elaborado por la Universidad de Santiago de Compostela en el marco del proyecto “Acuicultura y cambio climático”, que engloba la evaluación y análisis de aspectos ambientales relativos a la huella de carbono (HC) y la tasa de retorno energético (TRE) de la acuicultura del mejillón.

El equipo de la Universidad de Santiago de Compostela pertenece al grupo de investigación de “Ingeniería Ambiental y Bioprocesos” (1988-2013) (www.usc.es/biogrup) que, a su vez, pertenece al departamento de Ingeniería Química (www.usc.es/enxqu). La misión del Grupo de Investigación es:

“Generar conocimientos científicos-tecnológicos que contribuyan al desarrollo sostenible de la sociedad y formar investigadores y emprendedores, promoviendo sinérgicamente en un ambiente humano estimulante”

El personal investigador que ha participado en el presente trabajo fue:

- Dr. Gumersindo Feijoo Costa (Catedrático de Universidad)
- Dra. M^a Teresa Moreira Vilar (Catedrática de Universidad)
- Dra. Sara González García (Investigadora Post-doctoral)
- D. Pedro Villanueva Rey (Investigador Pre-doctoral)

7.2 Resumen

En este trabajo se ha realizado el cálculo de diversos indicadores utilizando varias metodologías:

1. Huella de carbono (HC), herramienta que permite la evaluación de las emisiones de GEI a lo largo del ciclo de vida de un proceso, producto o servicio. Para el cálculo de este indicador se han utilizado dos metodologías: PAS 2050 e ISO 14040.
2. Tasa de retorno energético en forma de proteína comestible (TRE_{prot}).
3. Cálculo de la fijación potencial de carbono en la concha de mejillón para obtener de esta forma la huella de carbono neta. Para ello se realizaron análisis de laboratorio para determinar el contenido de carbono en concha así como la distribución de los tamaños de concha y contenido en carne/vianda.



El sistema bajo estudio abarca el ciclo de vida completo del cultivo del mejillón, desde la obtención de la semilla, las operaciones de cultivo hasta la descarga del mejillón de talla comercial en puerto. Se trata, por lo tanto, de un estudio de la cuna a la puerta (en la terminología del PAS 2050, un sistema *Business to Business*, B2B). Para ambos indicadores ambientales se han evaluado dos escenarios diferentes: (i) el miticultor promedio de la Ría de Arousa y (ii) la producción total de la Ría de Arousa.

Para el indicador de HC se obtuvo un resultado para el escenario miticultor promedio de $5,35 \cdot 10^{-2}$ y $5,22 \cdot 10^{-2}$ kg CO₂ eq/kg de mejillón de acuerdo a las metodologías ISO 14040 y PAS 2050, respectivamente. Mientras que para el otro escenario analizado, producción total de la Ría de Arousa se obtuvo una HC de $7,64 \cdot 10^{-2}$ y $7,46 \cdot 10^{-2}$ kg CO₂ eq/kg de mejillón para las metodologías ISO 14040 y PAS 2050, respectivamente. Para ambos escenarios el principal responsable de impacto fue el diésel y sus emisiones asociadas. Las diferencias encontradas entre ambos escenarios se deben principalmente al diferente rendimiento productivo de las bateas.

Para la acción como sumidero de carbono de la concha de mejillón se obtuvo una fijación de carbono como CO₂ equivalentes de 0,15 y 0,17 kg CO₂ eq/kg de mejillón para la talla Especial y Normal, respectivamente.

Se ha determinado el valor de HC neta para el cultivo de mejillón, tras realizar un balance entre las emisiones de GEI y la fijación de carbono en concha. Para el escenario miticultor promedio de la Ría de Arousa se obtuvo un valor de -0,104 y -0,105 kg CO₂ eq/kg de mejillón, para las metodologías ISO 14040 y PAS 2050 respectivamente. Mientras que para el escenario de producción total de la Ría de Arousa, la HC neta obtenida fue de $-8,07 \cdot 10^{-2}$ y $-8,24 \cdot 10^{-2}$ kg de CO₂ eq/kg de mejillón, para las metodologías ISO 14040 y PAS 2050, respectivamente.

Para el indicador ambiental Tasa de Retorno Energético en forma de proteína comestible (TRE_{prot}) se obtuvo un valor del 11,6% para el escenario del miticultor promedio de la Ría de Arousa. Por otro lado, para el escenario de producción total de la Ría de Arousa se obtuvo un TRE_{prot} de un 8,1%. Estas diferencias, al igual que para el indicador de HC, se debieron principalmente a las diferencias en rendimiento en la producción.

Se realizó un análisis de sensibilidad para el material de construcción del casco de las embarcaciones para el escenario de producción total de la Ría de Arousa. Esto permitió observar que para la HC, la incidencia en el impacto de los diferentes materiales del casco es muy baja. Por el contrario, los materiales de construcción del casco sí afectan al indicador TRE_{prot}, presentando unos valores considerablemente inferiores para el caso de las embarcaciones con casco de acero.

7.3 Acuicultura extensiva del mejillón

El mejillón de las costas gallegas (*Mytilus galloprovincialis*; Lamark, 1819) es un molusco bivalvo que presenta una característica forma longitudinal en hacha, puntiaguda y gruesa en el extremo anterior, siendo larga y afilada en el posterior (**Fig.15**). Su concha está formada por dos valvas iguales de carbonato cálcico, cubiertas externamente por una capa de color negro azulado, donde se pueden observar unas líneas concéntricas denominadas estrías de crecimiento.



Figura 15. Mejillón de las rías gallegas

Por lo que se refiere a su aspecto interno, la vianda (carne de mejillón) tiene habitualmente un color anaranjado (**Fig.16**), aunque hay individuos que presentan un color más blanco. Sin embargo, estos colores son más intensos que los de mejillones procedentes de otros lugares, debido a las excepcionales condiciones, en cantidad y calidad, del fitoplancton de las rías gallegas.



Figura 16. Vianda de mejillón



El mejillón de Galicia se alimenta por filtración, aprovechando el fitoplancton que se encuentra en el agua del mar. Su capacidad de filtración es excepcional, llegando a filtrar hasta ocho litros de agua por hora.

En cuanto a la reproducción, el mejillón de Galicia es un animal de sexos separados. Machos y hembras liberan sus gametos al mar, donde se produce la fecundación. Las larvas producidas hacen vida pelágica durante unas semanas mientras completan su desarrollo, y luego se fijan a un sustrato mediante unos filamentos denominados biso, fibras que crea el mejillón por secreción natural de una proteína que se endurece en contacto con el agua.

Esta particularidad natural del mejillón es aprovechada por los miticultores gallegos para fijarlo a las cuerdas que cuelgan de las bateas, para conseguir así un producto de la máxima calidad con un elevado rendimiento en vianda, libre de arenas y fangos. En estado silvestre, el mejillón crece en las rocas del litoral (**Fig.17**).



Figura 17. Mejillón silvestre fijado a roca

7.3.1 Antecedentes históricos

La vinculación de Galicia con el mejillón es un hecho del que se tienen noticias ya en el siglo VIII a.C. Las primeras poblaciones celtas en Galicia aprovechaban la bajada del mar para hacerse con un rico menú de mariscos, como lo demuestran las grandes cantidades de conchas de mejillón y otros moluscos encontrados en el exterior de sus aldeas fortificadas o castros. En el siglo V d.C. el consumo de mejillón se extiende hacia el interior de la Galicia romana.

A partir del siglo XIX ya comienzan los primeros intentos de cultivo en Carril (Vilagarcía de Arousa) al convertir los primeros viveros de ostras en mejilloneras. Ya entrado el siglo XX prosiguen los intentos de cultivo de este mitilo, cuando en los años 40 se cambia el cultivo en estacas por el suspendido y aparecen los primeros intentos de construcción de bateas con un único flotador. El éxito de este sistema derivó en su extensa aplicación a lo largo del resto de rías gallegas durante las décadas posteriores. De este modo, se pasó de un simple sistema de recolección a un cultivo altamente productivo y pionero en el mundo. Posteriores innovaciones fueron mejorando el sistema de cultivo, tales como el incremento en el número de flotadores y la utilización de materiales como nailon, acero y poliéster, permitiendo incrementar la vida útil y rendimiento de la batea.

7.3.2 Cultivo

El cultivo de mejillón en la comunidad gallega se realiza en batea (**Fig.18**), pero existen otras formas de cultivo como son las bancadas o el cultivo en “longline”. Además también existe la posibilidad del marisqueo, éste menos extendido al ser utilizado el mejillón fijado a las rocas para la obtención de la semilla (mejilla).

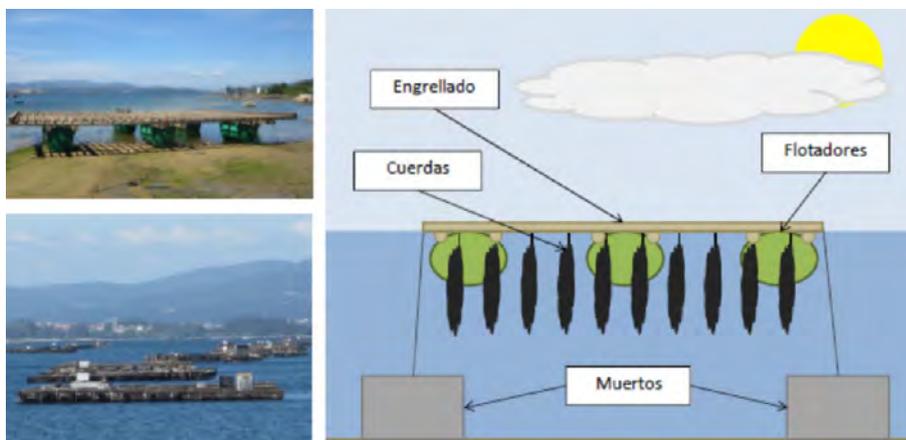


Figura 18. Sistema de cultivo del mejillón en batea



Como se ha explicado anteriormente es el cultivo en batea es el más ampliamente utilizado en Galicia, el cual consta de estructuras de varios elementos:

- **Engrellado:** es un entramado de barrotes de madera (principalmente eucalipto) sobre los que penden las cuerdas de cultivo. Tiene una forma más o menos rectangular y una superficie máxima de 500 m².
- **Sistema de flotación:** el sistema de flotación varió mucho a lo largo del tiempo. Los primeros flotadores eran cascos de barcos viejos o cubos de madera que fueron poco a poco sustituidos por flotadores tubulares de poliéster o flotadores cilíndricos de chapa de hierro recubierta de poliéster. El número de flotadores es proporcional al tamaño de la batea.
- **Sistema de sujeción:** la batea se fondea mediante una o dos cadenas unidas a sendos bloques de hormigón, los “muertos”.
- **Sistema de cultivo:** está constituido por un máximo de 500 cuerdas de una longitud entre 9 y 12 m, anudadas al engrellado. Para distribuir el peso de la cuerda y evitar los desprendimientos o desplomes de mejillón la cuerda está atravesada cada 40 cm por unos palos o listones de plástico, denominados tarugos o palillos.

El proceso de cultivo de mejillón en batea (**Fig.19**) se puede dividir en las siguientes etapas:

- **Obtención de la semilla:** El cultivo comienza con la recolección de la semilla de mejillón, principalmente desde los bancos naturales fijados a las rocas, el resto se obtiene de las cuerdas colectoras que cuelgan desde las propias bateas. Los miticultores pueden recolectar hasta 1.500 kg de semilla durante la marea baja, desde las

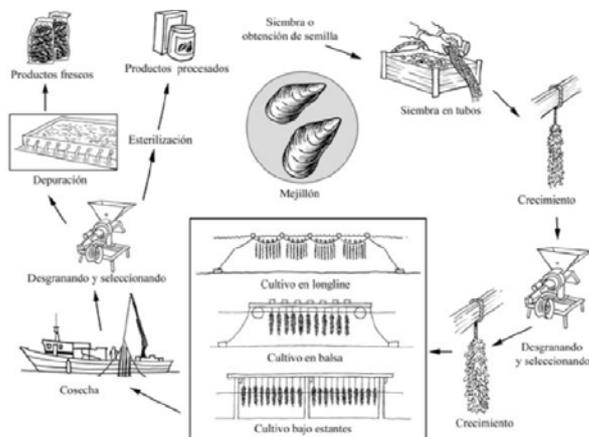


Figura 19. Proceso de cultivo del mejillón (FAO, 2004)

costas rocosas expuestas en el lado oceánico de las rías e islas. Para la recolección se utiliza una pala especial de acero, *rasqueta*, la cual tiene una hoja de unos 10 cm² sujeta a un mango de madera. Los miticultores suspenden los mejillones desde sus propias balsas o los venden a otros cultivadores. Los miticultores reúnen unas 4.500 toneladas de semilla de mejillón (longitud promedio de 2 cm) desde estas áreas en cada ciclo de cultivo. Posteriormente, las semillas se llevan hasta las bateas y se fijan a las cuerdas en un plazo máximo de 24 horas desde la recolección. Para recolectar semilla desde las bateas, los miticultores utilizan colectores especiales hechos de restos de redes de pescar y los suspenden durante marzo y abril.

- **Encordado:** Los miticultores fijan la semilla a las cuerdas a mano, o con una máquina que asegura su unión con una malla especial de algodón o rayón, la cual se desintegra tras pocos días. Para entonces, los mejillones han secretado nuevo biso, mediante el cual se fijan a las cuerdas. Los miticultores fijan unos 1,5-1,75 kg de semilla/por metro de cuerda, de forma que el peso promedio de semilla por cada cuerda es 14 kg. Las cuerdas, usualmente de 3 cm de grosor y hechas de nylon, polietileno o esparto, varían en longitud de 6-10 m. Sus superficies ásperas facilitan la fijación de los mejillones. Cada cuerda con mejillones fijados tiene un lazo en un extremo, que se amarra a una cuerda de poliéster más fina, llamada “rabiza” (12-14 mm de grosor), la cual a su vez está amarrada a las vigas de las balsas. La rabiza usualmente sólo dura 3-4 años ya que está expuesta al aire y al sol, mientras que las cuerdas principales duran un promedio de 5,8 años. Cada balsa tiene de 200 a 700 cuerdas. Cada 30-40 cm, se insertan clavijas de madera o plástico de 20-30 cm de largo entre las hebras de las cuerdas para evitar que los grupos de mejillones se deslicen hacia abajo. Los miticultores fijan de 1-3 cuerdas/m² de balsa. Esta distribución permite un flujo adecuado de agua rica en alimento para los mejillones y evita que las cuerdas con mejillones se toquen entre ellas. Los miticultores instalan las cuerdas principalmente desde noviembre a marzo.

- **Desdoble:** El tercer paso (después de obtener la semilla y fijarla) es el raleo, que tiene que hacerse para evitar que los mejillones se desprendan y caigan durante el mal tiempo; el raleo también fomenta el crecimiento rápido y uniforme. Los miticultores hacen esto cuando los mejillones están en una fase intermedia de crecimiento (4-5 cm de longitud de la concha) después de 5-6 meses, usualmente desde junio a octubre. Ellos suben las cuerdas a sus embarcaciones usando una grúa y desprenden a mano los grupos de mejillones, que caen sobre una malla de acero que los separa según diferentes tamaños. También se puede usar un cilindro mecánico de malla. Los mejillones de cada cuerda original se reparten y fijan en dos a cuatro nuevas cuerdas, usando red de algodón o rayón. El peso promedio de las cuerdas es



46 kg. Este trabajo se repite otra vez antes de la cosecha si los mejillones crecen rápidamente (en cuyo caso el gran peso y densidad aumenta el riesgo de que los racimos de mejillón se desprendan). También es necesario repetir esta operación para asegurar que todos los mejillones alcancen un tamaño similar en el momento de la cosecha.

- **Recolección:** Transcurrido aproximadamente un año, el mejillón de desdoble alcanza talla comercial. Se retiran las cuerdas del agua con ayuda de una grúa y se trasladan al barco. Una vez en cubierta, el mejillón se limpia con abundante agua de mar, se procede a su selección por tallas y finalmente se introduce en sacos plásticos, de forma que se encuentra listo para su traslado a los centros expedidores para su posterior comercialización en fresco. En cuanto a su cosecha para su comercialización para fábrica, el mejillón se limpia y se deposita a granel en el barco. A continuación, se recoge por la grúa en el muelle y se introduce en el camión con destino al centro de transformación. La época de cosecha del mejillón gallego depende, entre otras razones, de su destino. Así, el mejillón destinado a la conserva y a las empresas transformadoras se cosecha generalmente en verano. Aquel destinado para consumo en fresco se recolecta preferentemente durante el otoño e invierno.

7.3.3 Parques de bateas rías gallegas

La Comunidad Autónoma de Galicia cuenta aproximadamente con 1.200 kilómetros de costa. Las rías constituyen un ecosistema idóneo para el cultivo del mejillón. Por sus características tanto de temperatura como por su riqueza en nutrientes, los mejillones alcanzan su talla comercial en un tiempo menor que el resto de zonas productoras.

El mejillón producido en Galicia procede de los polígonos de cultivo situados en el interior de las rías de Vigo, Pontevedra, Arousa, Muros-Noia y Ares-Betanzos. A continuación en la **Tabla 8** se muestra la distribución de las bateas y los polígonos para cada ría.

TABLA 8 Distribución de las bateas y los polígonos de mejillón en las rías gallegas en el año 2012 (Mejillón de Galicia, 2013)

Ría	Polígonos de mejillón	Nº de bateas	% bateas
Ares-Betanzos	2	103	2
Muros-Noia	3	118	4
Arousa	22	2.292	69
Pontevedra	8	346	11
Vigo	12	478	14
TOTAL	47	3.337	100

7.3.4 Producción de mejillón en las rías gallegas

La acuicultura del mejillón supone el 95% de la producción mundial de mejillón, mientras que el 5% restante procede de la extracción de este directamente de las rocas. En cuanto al volumen de producción frente a otras especies de acuicultura, en 2009 el mejillón supuso el 38% de la producción acuícola en el conjunto de la Unión Europea, seguido de la trucha arco iris con un 15%.

Para el caso particular de *Mytilus galloprovincialis*, su cultivo se sitúa principalmente en las aguas costeras desde Galicia (noroeste de España) hasta las orillas norte del Mar Mediterráneo, aunque también se lleva a cabo producción desde algunos países mediterráneos del sur, Federación Rusa, Ucrania, Sudáfrica e incluso también en China. La evolución de la producción para la serie temporal 2003-2009, tal como se muestra en la **Figura 20**, se vio incrementada con un descenso para el período 2007-2008 y una vuelta a los valores previos al descenso de la producción del año 2007.

FIGURA 20

Evolución de la producción mundial de mejillón para el período 2003-2009

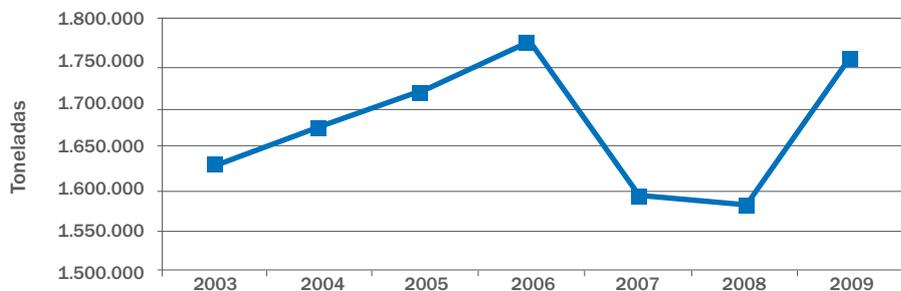
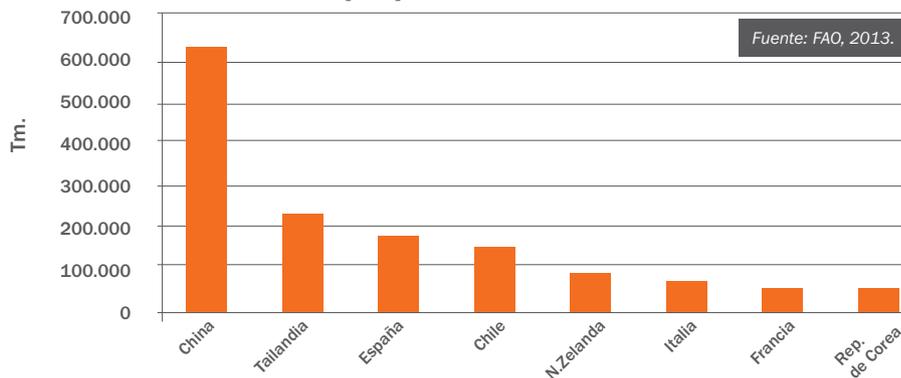


FIGURA 21

Producción de mejillón procedente de acuicultura por países en 2009

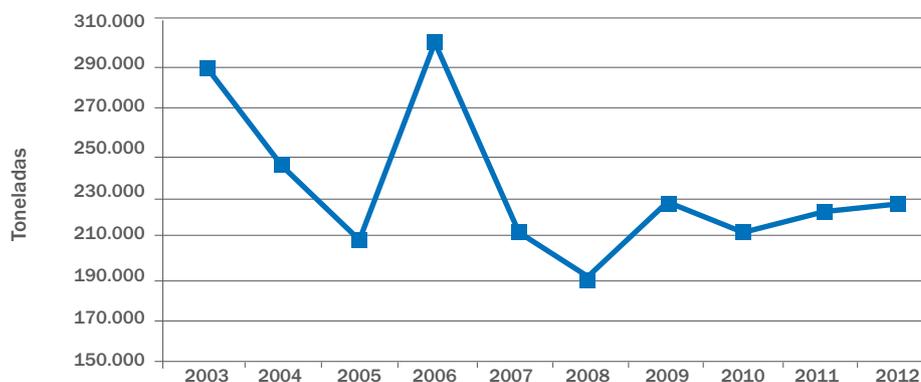




En cuanto al volumen de producción, España representó el 11% a nivel mundial, para el cual Galicia supuso un 98% en 2009. Por países China se encuentra en primer lugar en cuanto a producción de mejillón, seguido de Tailandia y España (**Fig.21**).

En el contexto nacional, casi en su totalidad se produce en la Comunidad Autónoma de Galicia. La serie temporal para los años 2003-2012 de la producción de mejillón en Galicia muestra un acusado descenso hasta el año 2004 (**Fig.22**), a partir de entonces se recuperan los valores de producción del año 2003 para sufrir de nuevo un descenso en la producción en 2007 y mantenerse una producción estable hasta la actualidad.

FIGURA 22 Producción de mejillón en las rías gallegas para el período 2003-2012



7.4 Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que permite realizar un análisis de todas las entradas y salidas derivadas de un producto, proceso o servicio, obteniendo como resultado su perfil ambiental. Esta metodología permite sistematizar la adquisición de datos en aras de establecer criterios objetivos para la toma de decisiones en la estrategia ambiental de la empresa o del proceso productivo. Permite además detectar aquellos puntos críticos del sistema, los cuales corresponden a aquellas etapas del proceso que presentan una mayor contribución al impacto ambiental, de forma que se establece un marco de referencia para la posterior definición de acciones de mejora para todo el sistema.

La profundidad y amplitud de un estudio de ciclo de vida puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de estudio (Baumann & Tillman, 2004). Sin embargo, pueden identificarse cuatro fases en todo estudio de ciclo de vida que serán presentadas en detalle a continuación:

FIGURA 23 Diagrama del proceso del cultivo de mejillón



Definición de objetivos y alcance

Este estudio de ACV sigue, en líneas generales, la estructura determinada por la normativa internacional ISO 14040:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework, así como la metodología propuesta por la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).

Objetivos del análisis

El objetivo de este trabajo ha sido la evaluación del perfil ambiental del cultivo de mejillón en Galicia de acuerdo con la metodología ambiental de ACV. El perfil ambiental se cuantificará en términos de su HC (kg CO₂ eq). De esta forma, los puntos críticos a lo largo del proceso productivo podrán ser identificados, además se analizará el potencial de fijación de carbono en la concha en aras de obtener la HC neta del proceso. Por otra parte, también se realiza el cálculo de la Tasa de Retorno Energético en forma de proteína comestible (TRE_{prot}) con el objetivo de mostrar el resultado entre la energía obtenida en forma proteica consumible y la energía invertida a lo largo del proceso productivo.

Alcance del estudio

Unidad funcional

La unidad funcional es aquella a la que se van a referenciar todas las entradas y salidas identificadas para el proceso productivo bajo estudio. En este caso de estudio, se ha considerado como unidad funcional en las simulaciones para los escenarios propuestos: 1 kg de mejillón.



Definición del sistema

El sistema bajo estudio abarca todo el proceso de acuicultura de mejillón en las rías gallegas, desde la obtención de la semilla de mejillón hasta la descarga en puerto del mejillón talla comercial, es decir, de la cuna a la puerta (en la terminología del PAS2050, *Business to Business*, B2B). Se tienen en cuenta los procesos de producción de la infraestructura (batea y embarcaciones), combustibles, lubricantes, pinturas, alquitrán, etc. En la **Figura 23** se muestra un diagrama del sistema bajo estudio.

Toma de datos

Los datos utilizados en este estudio han sido fundamentalmente de tipo primario, ya que fueron obtenidos a través de entrevistas a más de 80 miticultores representativos de la producción en la Ría de Arousa. De esta forma se obtuvieron datos relativos a la producción anual de mejillón de talla comercial, dimensiones de las bateas y embarcaciones auxiliares, así como también los materiales y vida media de estos y los principales consumos (combustibles, lubricantes, pinturas, alquitrán, etc.).

En el caso de no disponer de datos primarios, se ha recurrido a la base de datos Ecoinvent® (Frischknecht et al., 2007) para obtener los datos necesarios para el análisis: producción de gasóleo, materiales de construcción de la batea y embarcaciones auxiliares, lubricantes, pinturas, etc. así como las emisiones derivadas del consumo de diésel o gasolina (EMEP CORINAIR, 2006).

Inventarios de ciclo de vida

En la **Tabla 9** se muestra el inventario de ciclo de vida para la construcción de una batea, cabe destacar que las bateas presentan unas dimensiones sujetas a legislación

TABLA 9 Datos de inventario para la construcción de una batea

ENTRADAS					
DESDE LA TECNOSFERA					
Lino	12	Kg	Hormigón	19.401,8	Kg
Nailon	63.71,5	Kg	Plásticos	610,2	Kg
Polipropileno	0,6	Kg	Hierro	23.386,2	Kg
Madera eucalipto	66.174,3	Kg			
SALIDAS					
A LA TECNOSFERA					
Productos					
Batea	1	unidad			

TABLA 10 Datos de inventario para la acuicultura del mejillón en la Ría de Arousa por kg de mejillón. Debe tenerse en cuenta que se incluyen las emisiones causantes de impacto al calentamiento global

ENTRADAS					
DESDE LA TECNOSFERA					
Lino	4,8E-06	g	Pintura antifouling	2,8E-02	mL
Nylon	2,5E-03	g	Alquitrán	0,3	mL
Polipropileno	2,4E-07	g	Diésel	15,9	mL
Hormigón	2,8	g	Lubricante	0,3	mL
Plásticos	0,1	g	Pintura	0,2	mL
Hierro	3,3	g	Madera pino	27,9	g
Algodón	0,1	g	Madera eucalipto	9,5	g
ENTRADAS					
DESDE LA NATURALEZA					
Mejilla	16,7	g			
SALIDAS					
A LA TECNOSFERA					
Productos			CO	0,1	g
Mejillón	1	Kg	SO ₂	0,1	g
Mejilla	16,7	g	NO _x	1,0	g
Emisiones al aire			CH ₄	0,7	mg
CO ₂			N ₂ O	1,1	mg

por parte de la Xunta de Galicia, por lo que la desviación estándar de estos resultados es baja (<5%). Además en la **Tabla 10** se muestra el inventario de ciclo de vida, con las entradas y salidas, para el cultivo del mejillón. Este inventario es el correspondiente al miticultor promedio de la Ría de Arousa.

7.5 Cuantificación de CO₂ en concha: Sumidero

7.5.1 Caracterización de las muestras de mejillón

7.5.1.1 Obtención de muestras de mejillón

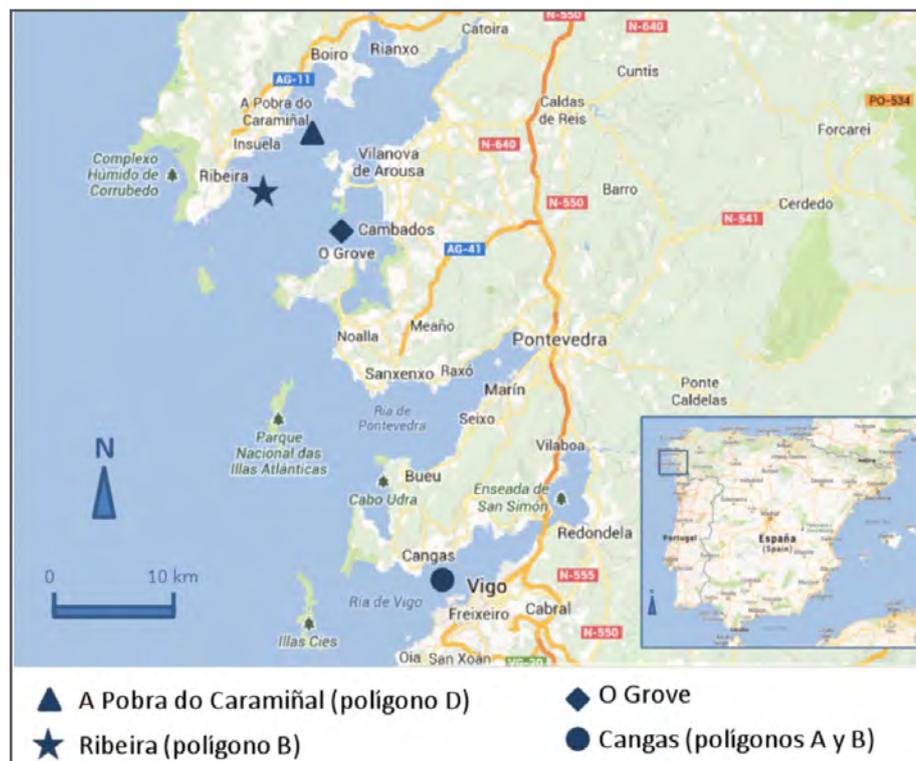
Las muestras de mejillón fueron suministradas por La Asociación de Productores Mejilloneros de Cabo de Cruz (ASMECRUZ) durante noviembre de 2012 y febrero de 2013.



Estas procedían de diferentes polígonos de bateas, la mayoría ubicados en la Ría de Arousa, donde se produce alrededor del 70% del mejillón gallego, más concretamente del polígono D de A Pobra do Caramiñal y el B de Ribeira; en la Figura 24 se señalan con un triángulo y una estrella, respectivamente. Otras muestras procedían de los polígonos A y B de Cangas en la Ría de Vigo, señalados mediante un círculo en el mapa. Por último, también se analizaron muestras de O Grove, destacado con un rombo, si bien este caso no se disponía de datos del polígono.

Las muestras se recibieron debidamente identificadas con su procedencia, señalando el polígono, la zona y subzona, así también la fecha de recolecta y si esta era de la zona de popa de proa de la batea. Para el conjunto de los análisis se utilizaron un total de 531 mejillones provenientes de 15 muestras distintas.

FIGURA 24 Procedencia de las muestras de mejillón



7.5.1.2 Clasificación de las muestras

Según el Consello Regulador Mexillón de Galicia, las tallas de mejillón se pueden clasificar, por el número de piezas contenidas en un kilogramo, en dos variedades: Especial y Normal, hasta 27 y a partir de 28 piezas por kg, respectivamente. Se procedió a pesar cada una de las muestras con el fin de obtener el peso fresco del total de mejillones. Los ejemplares de cada una de las muestras fueron cuantificados a fin de clasificar las muestras según su talla (**Tabla 11**).

TABLA 11 Clasificación de las muestras de mejillón

Localización	Muestra	Nº de ejemplares	Masa de la muestra (g)	Talla
Pobra do Caramiñal	D-IV-1 nov (popa)	38	672,3	Normal
Ribeira	B-III-2 nov (proa)	30	1.128,9	Especial
Ribeira	B-III-2 dic (proa)	13	486,3	Especial
Ribeira	B-III-2 dic (popa)	23	336,5	Normal
Pobra do Caramiñal	D-IV-1 dic (proa)	15	551,8	Especial
Pobra do Caramiñal	D-IV-1 dic (popa)	29	386,7	Normal
Pobra do Caramiñal	D-IV-1 ene (proa)	29	1.119,6	Especial
Pobra do Caramiñal	D-IV-1 ene (popa)	66	1.019,4	Normal
Ribeira	B-III-3 ene (proa)	22	1.071,6	Especial
Ribeira	B-III-3 ene (popa)	55	987,5	Normal
O Grove	O Grove	55	1.336,4	Normal
Cangas	A-I-1 feb (popa)	51	707,6	Normal
Cangas	A-I-1 feb (proa)	29	1.063,9	Especial
Cangas	B-I-2 feb (popa)	50	570,4	Normal
Cangas	B-I-2 feb (proa)	26	987,1	Especial
TOTAL		531	12.426	

Se encontró que los mejillones procedentes de las muestras de proa cumplen los requisitos para la talla Especial, mientras que los de la popa para la talla Normal; ello es debido a la orientación de la batea y las corrientes de agua de la ría que viene cargadas de alimento.



7.5.1.3 Determinación de la relación másica de la concha seca y el mejillón fresco

Las muestras ya pesadas y clasificadas fueron cocidas para separar la carne de la concha y eliminar cualquier resto orgánico de las mismas (**Fig.25**). Una vez limpias se introdujeron en estufa durante 24 horas a 105°C para reducir la humedad de las conchas. Tras el secado, se obtuvo la relación másica de cada una de las muestras, es decir, la relación másica entre el peso seco y el peso en fresco. Los valores obtenidos para la relación C/F se encuentran a continuación en la **Tabla 12**.

$$\text{Relación másica} = C / F \quad (1)$$

Siendo C = masa concha seca de mejillón y F = masa mejillón fresco

TABLA 12 Relaciones másicas de las muestras de mejillón analizadas

Muestra	Talla	Masa mejillones frescos (g)	Masa conchas secas (g)	Relación másica (C/F)
D IV 1 nov (popa)	Normal	672,3	266,5	0,396
B III 2 nov (proa)	Especial	1.128,9	419,6	0,372
B-III-2 dic (proa)	Especial	486,3	222,6	0,458
B-III-2 dic (popa)	Normal	336,5	156,3	0,464
D-IV-1 dic (proa)	Especial	551,8	278,3	0,504
D-IV-1 dic (popa)	Normal	386,7	186,5	0,482
D-IV-1 ene (proa)	Especial	1.119,6	347,0	0,310
D-IV-1 ene (popa)	Normal	1.019,4	327,2	0,321
B-III-3 ene (proa)	Especial	1.071,6	333,8	0,312
B-III-3 ene (popa)	Normal	987,5	326,7	0,331
O Grove	Normal	1.336,4	506,4	0,379
A-I-1 feb (popa)	Normal	707,6	292,9	0,414
A-I-1 feb (proa)	Especial	1.063,9	—	—
B-I-2 feb (popa)	Normal	570,4	301,6	0,529
B-I-2 feb (proa)	Especial	987,1	—	—

Se obtuvo una relación másica C/F promedio para la talla Especial de 0,396, y para la talla Normal de 0,412, con una desviación estándar de 0,087 y 0,075, respectivamente. Para las muestras A-I-1 y B-I-2, no se pudo realizar este cálculo debido un problema con el equipo de secado de las muestras.



Figura 25. Cocción de una de las muestras.



Figura 26.
Medida del calibre de un mejillón

7.5.1.4 Frecuencia de calibres

Se midieron los calibres para cada uno de los mejillones que formaban las muestras, en total 531 mejillones (**Fig.26**), a partir de esos datos se calculó la distribución normal y la frecuencia de los calibres. Los valores de las frecuencias y su porcentaje se encuentran en las **Tablas 13 y 14**.

TABLA 13 Frecuencias de calibres para la talla Especial

Rango de calibre (mm)	Frecuencia	% Frecuencia
60-65	0	0
66-70	1	0,6
71-75	12	7,3
76-80	45	27,4
81-85	43	26,2
86-90	49	29,9
91-95	13	7,9
96-100	1	0,6
101-105	0	0
TOTAL	164	100

TABLA 14 Frecuencia de calibres para la talla Normal

Rango de calibre (mm)	Frecuencia	% Frecuencia
40-45	0	0,0
46-50	1	0,3
51-55	4	1,1
56-60	30	8,2
61-65	64	17,5
66-70	129	35,2
71-75	76	20,8
76-80	49	13,4
81-85	12	3,3
86-90	1	0,3
91-95	1	0,3
TOTAL	367	100



7.5.1.5 Relación másica C/F entre rangos de calibre

La relación másica C/F para cada uno de los rangos de calibre se realizó para la muestra de O Grove. Para ello, se procedió a etiquetar, pesar y medir el calibre de cada uno de los mejillones (**Fig.27**). Posteriormente, se sometieron a cocción y secado al igual que las muestras anteriores. En este caso además se pesó la vianda de mejillón para cada una de las muestras con el fin de obtener la relación másica entre la carne del mejillón y el mejillón fresco (**Fig.28**), el cual se utiliza para el cálculo del indicador TRE_{prot} . Para este fin se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\text{Relación másica V / F}$$

$$(2)$$

Siendo V = masa vianda de mejillón (carne) y F = masa mejillón fresco

Las relaciones másicas C/F asociadas a cada uno de los rangos de calibre (**Tabla 15**) se muestran a continuación:

Comparando los resultados obtenidos en este apartado con los obtenidos en el apartado anterior, se puede observar que no existen diferencias significativas entre la relación másica por calibre y el promedio de las mismas.

TABLA 15 Relaciones másicas C/F para cada uno de los rangos de calibre

Rango de calibre (mm)	Relación másica (C/F)
40-45	0,45205
46-50	0,4394
51-55	0,4279
56-60	0,4164
61-65	0,4049
66-70	0,3934
71-75	0,3819
76-80	0,3704
81-85	0,3589
86-90	0,3474
91-95	0,3359
96-100	0,3244
101-105	0,3129



Figura 27. Mejillones de una muestra con etiquetado individual.



Figura 28. Pesado de la carne de mejillón (vianda).

7.5.2 Determinación del carbono en la concha de mejillón

La determinación del contenido de carbono en las conchas de mejillón se basó en una valoración ácido-base. De esta forma se obtiene en primer lugar la concentración de carbonato cálcico que nos permite calcular por estequiometría la concentración de carbono presente en las conchas.

La metodología del análisis se basa en la reacción química que ocurre entre el carbonato cálcico y el ácido clorhídrico:



Esta reacción se lleva a cabo en un volumen en exceso de una disolución de ácido clorhídrico de concentración conocida, por lo que existe una cantidad de ácido clorhídrico que no reacciona.

La valoración ácido-base tiene como objetivo la determinación de la cantidad excedente de ácido clorhídrico que quedó sin reaccionar. La volumetría se lleva a cabo con una disolución de hidróxido sódico de concentración conocida, usando fenolftaleína como indicador. A partir de los moles de ácido clorhídrico que no reaccionaron se conocen los moles consumidos del mismo, y a continuación se calculan los moles de carbonato cálcico existentes en la muestra. Este análisis será efectuado sobre las muestras procedentes del polígono de bateas *D* y *B*, de A Pobra do Caramiñal y Ribeira, respectivamente.

7.5.3 Procedimiento experimental

7.5.3.1 Preparación de las disoluciones

Se preparan sendas disoluciones de ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido sódico (NaOH) de concentración 1 M. La disolución de NaOH se valorará con un patrón primario de ftalato potásico previamente con el objetivo de calcular la concentración real (M_{NaOH}). A partir de la disolución de NaOH de concentración conocida, se valorará la disolución de HCl, de forma similar al procedimiento realizado para la disolución de NaOH y de esta forma, poder obtener su concentración real (M_{HCl}) (**Tabla 16**).

7.5.3.2 Determinación de carbono en las conchas.

Después de la extracción de los restos de orgánicos de cada mejillón y su paso por la estufa (24 h a 105°C), se determinó el calibre promedio para cada una de las muestras (**Tabla 17**).

Una vez obtenidos los datos para el calibre promedio se tomaron cuatro conchas de un calibre cercano a este, tres conchas de los calibres de menor tamaño y otras



TABLA 16 Concentraciones de las disoluciones usadas para cada muestra

Muestra	M _{NaOH}	M _{HCl}
D-IV-1 nov popa	1,029	0,992
B-III-2 nov proa	1,029	0,992
B-III-2 dic proa	1,051	0,984
B-III-2 dic popa	1,051	0,984
D-IV-1 dic proa	1,027	0,973
D-IV-1 dic popa	1,027	0,973
D-IV-1 ene proa	1,027	0,973
D-IV-1 ene popa	1,027	0,973
B-III-3 ene proa	1,027	0,973
B-III-3 ene popa	1,027	0,973

TABLA 17 Calibre promedio de las muestras

Muestra	Nº de mejillones	Calibre medio (mm)	Desviación estándar
D-IV-1 nov (popa)	38	70,8	5,2
B-III-2 nov (proa)	30	87,8	3,5
B-III-2 dic (proa)	13	86,6	3,1
B-III-2 dic (popa)	23	67,8	4,7
D-IV-1 dic (proa)	15	85,9	3,2
D-IV-1 dic (popa)	29	65,3	4,8
D-IV-1 ene (proa)	29	81,0	4,5
D-IV-1 ene (popa)	66	58,2	4,7
B-III-3 ene (proa)	22	86,5	5,3
B-III-3 ene (popa)	55	62,3	6,5

tres de los calibres de mayor tamaño. De esta manera, se obtuvo un conjunto representativo de los diferentes calibres de mejillón.

A partir de este punto los resultados y cálculos aquí reflejados serán para la muestra “D-IV-1 nov (popa)”.

Las diez conchas de la muestra fueron molidas por separado hasta la obtención de un polvo muy fino. A continuación, se tomaron dos cantidades (concha seca *a* y *b*, **Tabla 18**) de cada molienda con el objetivo de efectuar el análisis por duplicado.

TABLA 18 Masa de concha seca (*a* y *b*) para el análisis por duplicado para la muestra D-IV-1 nov (popa)

Calibre (mm)	Concha seca a (g)	Concha seca b (g)
59	0,1389	0,1412
60	0,1337	0,1590
62	0,1829	0,1531
71	0,1617	0,1926
71	0,2427	0,1598
71	0,1205	0,1718
71	0,1462	0,1968
77	0,1957	0,1486
79	0,1697	0,1721
82	0,1522	0,1684

Es deseable trabajar con pesos de un rango entre 0,1 y 0,25 g, con el fin de asegurar exceso de ácido clorhídrico. Cada molienda (*a* y *b*) para cada calibre se hizo reaccionar con 10 mL de la disolución de HCl en agitación constante durante aproximadamente 10 min.

Transcurrido este tiempo, se procedió a la valoración ácido-base mediante una bureta enrasada con la disolución de NaOH. De esta manera, se añadió lentamente NaOH con agitación continua hasta el cambio de color de la disolución (de incoloro a fucsia), indicando que la valoración se había completado, se registró el volumen de NaOH consumido (mL NaOH) en la valoración y se repitió para cada una de las muestras (**Tabla 16**).

Se calcularon los moles de HCl de acuerdo a la siguiente expresión:

$\text{moles HCl} = 10 \text{ mL} \times M_{\text{HCl}}$	(3)
--	------------

Siendo 10 mL = volumen de ácido clorhídrico y M_{HCl} = concentración molar de ácido clorhídrico



TABLA 19 Resultados de la valoración para la muestra D-IV-1 nov (popa)

moles HCl	g concha seca (a y b)	mL HCl	moles HCl	mL NaOH	moles NaOH
59	0,1389	10	0,00991648	7	0,00721
	0,1412	10	0,00991648	7	0,00721
60	0,1337	10	0,00991648	7,1	0,00731
	0,159	10	0,00991648	6,6	0,00679
62	0,1829	10	0,00991648	6,2	0,00638
	0,1531	10	0,00991648	6,7	0,00690
71	0,1617	10	0,00991648	6,6	0,00679
	0,1926	10	0,00991648	6	0,00618
71	0,2427	10	0,00991648	5,1	0,00525
	0,1598	10	0,00991648	6,6	0,00679
71	0,1205	10	0,00991648	7,4	0,00762
	0,1718	10	0,00991648	6,4	0,00659
71	0,1462	10	0,00991648	6,9	0,00710
	0,1968	10	0,00991648	5,9	0,00607
77	0,1957	10	0,00991648	6	0,00618
	0,1486	10	0,00991648	6,8	0,00700
79	0,1697	10	0,00991648	6,5	0,00669
	0,1721	10	0,00991648	6,4	0,00659
82	0,1522	10	0,00991648	6,8	0,00700
	0,1684	10	0,00991648	6,5	0,00669

Para ello se tiene en cuenta la molaridad de la disolución de HCl que se utilizó en cada valoración (**Tabla 19**). En el caso de la disolución de NaOH se procedió de igual manera:

$$\text{moles NaOH} = \text{mL NaOH} \times M_{\text{NaOH}} \quad (4)$$

Siendo mL NaOH = volumen de NaOH consumido y M_{NaOH} = concentración molar de NaOH

A continuación se calcula el exceso de HCl (ecuación 5) para cada valoración, a partir de este, se determinan (ecuación 6) los moles de HCl consumidos en la reacción con el carbonato cálcico de la concha seca (reacción 1).

$$\text{moles HCl}_{\text{exc}} = \text{moles NaOH} \quad (5)$$

$$\text{moles HCl}_{\text{consu}} = \text{moles iniciales de HCl} - \text{moles de HCl}_{\text{exc}} \quad (6)$$

TABLA 20 Cálculos a partir de los resultados de las valoraciones para la muestra D-IV-1 nov (popa)

Calibre (mm)	concha seca (g) (a y b)	mL HCl	Moles HCl	mL NaOH	moles NaOH	moles HCl exceso	moles HCl consumidos
59	0,1389	10	0,00991648	7	0,00721	0,00721	0,00271
	0,1412	10	0,00991648	7	0,00721	0,00721	0,00271
60	0,1337	10	0,00991648	7,1	0,00731	0,00731	0,00261
	0,159	10	0,00991648	6,6	0,00679	0,00679	0,00312
62	0,1829	10	0,00991648	6,2	0,00638	0,00638	0,00353
	0,1531	10	0,00991648	6,7	0,00690	0,00690	0,00302
71	0,1617	10	0,00991648	6,6	0,00679	0,00679	0,00312
	0,1926	10	0,00991648	6	0,00618	0,00618	0,00374
71	0,2427	10	0,00991648	5,1	0,00525	0,00525	0,00467
	0,1598	10	0,00991648	6,6	0,00679	0,00679	0,00312
71	0,1205	10	0,00991648	7,4	0,00762	0,00762	0,00230
	0,1718	10	0,00991648	6,4	0,00659	0,00659	0,00333
71	0,1462	10	0,00991648	6,9	0,00710	0,00710	0,00281
	0,1968	10	0,00991648	5,9	0,00607	0,00607	0,00384
77	0,1957	10	0,00991648	6	0,00618	0,00618	0,00374
	0,1486	10	0,00991648	6,8	0,00700	0,00700	0,00292
79	0,1697	10	0,00991648	6,5	0,00669	0,00669	0,00323
	0,1721	10	0,00991648	6,4	0,00659	0,00659	0,00333
82	0,1522	10	0,00991648	6,8	0,00700	0,00700	0,00292
	0,1684	10	0,00991648	6,5	0,00669	0,00669	0,00323

La **Tabla 20** muestra los resultados obtenidos tras aplicar las ecuaciones 5 y 6 para cada una de las valoraciones.

A partir de los moles consumidos de HCl en la reacción con el carbonato cálcico, mediante la relación estequiométrica entre el HCl y el CaCO_3 (2 a 1), se calculan los moles de carbonato cálcico contenidos en los gramos de concha seca analizados. Una vez



Reacción 2

$$\text{gCaCO}_3 = \text{moles CaCO}_3 \times 100\text{g/mol}$$

(8)

Siendo Moles CaCO_3 = moles de carbonato cálcico en la muestra y 100 g/mol = peso molecular del carbonato cálcico

$$\% \text{CaCO}_3 = (\text{g CaCO}_3 / \text{g concha seca}) \times 100$$

(9)



TABLA 21 Concentraciones calculadas de CaCO_3 para cada uno de los análisis

Calibre (mm)	concha seca (g) (a y b)	moles HCl consumidos	moles CaCO_3	CaCO_3 (g)	CaCO_3 %
59	0,1389	0,00271	0,00136	0,1355	97,58
	0,1412	0,00271	0,00136	0,1355	95,99
60	0,1337	0,00261	0,00130	0,1304	97,52
	0,159	0,00312	0,00156	0,1561	98,19
62	0,1829	0,00353	0,00177	0,1767	96,62
	0,1531	0,00302	0,00151	0,1510	98,61
71	0,1617	0,00312	0,00156	0,1561	96,55
	0,1926	0,00374	0,00187	0,1870	97,10
71	0,2427	0,00467	0,00233	0,2333	96,14
	0,1598	0,00312	0,00156	0,1561	97,70
71	0,1205	0,00230	0,00115	0,1149	95,39
	0,1718	0,00333	0,00166	0,1664	96,87
71	0,1462	0,00281	0,00141	0,1407	96,23
	0,1968	0,00384	0,00192	0,1922	97,64
77	0,1957	0,00374	0,00187	0,1870	95,56
	0,1486	0,00292	0,00146	0,1458	98,14
79	0,1697	0,00323	0,00161	0,1613	95,03
	0,1721	0,00333	0,00166	0,1664	96,70
82	0,1522	0,00292	0,00146	0,1458	95,82
	0,1684	0,00323	0,00161	0,1613	95,77

calculados y mediante las ecuaciones 8 y 9, se obtiene la concentración en peso de carbonato cálcico para cada uno de los análisis (**Tabla 21**).

Se calculó el promedio entre ambos porcentajes de carbonato cálcico (a y b) para cada calibre, para así obtener el porcentaje de carbonato cálcico en la muestra. Aplicando la ecuación 10, obtenemos la concentración de carbono en la concha. En la **Tabla 22** se muestran las concentraciones obtenidas para los diferentes calibres analizados de la muestra D-IV-1 nov (popa), así como el promedio y la desviación estándar de la misma. En la **Tabla 23** se resumen los resultados obtenidos para las muestras restantes.

$$\% \text{ C} = \% \text{ CaCO}_3 \times 12 / 100$$

(10)

TABLA 22 Concentraciones de carbono calculadas para los diferentes calibres analizados, y la correspondiente

Calibre (mm)	CaCO ₃ promedio	Carbono (%)
59	96,8	11,6
60	97,9	11,7
62	97,6	11,7
71	96,8	11,6
71	96,9	11,6
71	96,1	11,5
71	96,4	11,6
77	96,8	11,6
79	95,9	11,5
82	95,8	11,5
PROMEDIO CALIBRES		11,6 ± 0,08

TABLA 23 Porcentaje de carbono para cada una de las muestras analizadas

Muestra	% Carbono	Desviación estándar
D IV 1 nov (popa)	11,60	0,08
B III 2 nov (proa)	11,56	0,10
B-III-2 dic (proa)	11,60	0,10
B-III-2 dic (popa)	11,65	0,06
D-IV-1 dic (proa)	11,55	0,09
D-IV-1 dic (popa)	11,58	0,08
D-IV-1 ene (proa)	11,56	0,08
D-IV-1 ene (popa)	11,58	0,08
B-III-3 ene (proa)	11,55	0,06
B-III-3 ene (popa)	11,57	0,07

A partir de estos datos se obtuvo una concentración de carbono promedio del 11,58% para el total de las muestras de mejillón. Este valor será fundamental para el cálculo del sumidero de carbono, ya que permite obtener de una manera directa la cantidad de carbono que se encuentra en la concha de mejillón. Cabe destacar que este valor obtenido es prácticamente similar al valor teórico de carbono presente en el carbonato que es del 12%.



7.5.4 Determinación del CO₂ en concha

Para la determinación del contenido de CO₂ presente en la concha de mejillón, una vez caracterizada la muestra de mejillón, es decir, su talla comercial, se obtiene la distribución de la masa de la misma según su calibre. A continuación, mediante la relación másica C/F (ecuación 1) para cada uno de los calibres, se obtiene el peso de la concha de mejillón en la muestra.

Posteriormente, una vez conocida la masa de mejillón, como se describe en el apartado anterior, el contenido de carbono representa el 11,58%, por tanto aplicando la ecuación 11 se obtiene la masa de carbono presente en la muestra de mejillón. Una vez se obtiene la masa de carbono, se debe calcular su correspondiente masa de CO₂ equivalente (ecuación 12).

$$\text{masa C} = \text{masa conchas} \times 11,58/100$$

(11)

Siendo Masa conchas = masa de la concha de mejillón de la muestra y 11,58 corresponde al contenido de carbono en la concha de mejillón (%)

$$\text{CO}_2 = (\text{g de C})/(\text{relación C/CO}_2)$$

(12)

Siendo g de C = masa de carbono en la muestra de concha de mejillón y relación C/CO₂ = relación másica entre el carbono y el dióxido de carbono (0,2727).

De esta manera se obtuvo una fijación potencial de CO₂ en las conchas de mejillón de 0,15 kg CO₂/kg de mejillón de talla Especial y de 0,17 kg CO₂/kg de mejillón de talla Normal.

7.6 Cuantificación de la Huella de Carbono del mejillón. Simulación de escenarios

Se han definido dos escenarios dentro de la Ría de Arousa: uno para un miticultor promedio y otro para toda la Ría. Por lo tanto, los escenarios evaluados están referidos a los consumos y producción de mejillón de un miticultor promedio en la Ría de Arousa (Iribarren et al., 2010).

En primer lugar se analizarán los indicadores ambientales y posteriormente se utiliza ese miticultor promedio para analizar el total de la producción de la Ría de Arousa en el año 2012.

La metodología de cálculo utilizada es la ISO 14040 y PAS 2050 y en cuanto a la unidad funcional se selecciona “1 kg de mejillón”.

TABLA 24 Características, consumos y producción del miticultor promedio de la Ría de Arousa

Elemento inventario	Cantidad	Unidades
Bateas		
Número de bateas	4	unidades
Consumo alquitrán	110	L/año
Consumo algodón	20	cajas/año
Vida media	19,5	años
Consumo semilla	6.000	kg/año
Embarcaciones auxiliares		
Número	1	unidad
Peso casco ¹	10	t
Vida media	32	años
Consumo de diesel	5.726	L/año
Consumo lubricante	96	L/año
Consumo pintura	65	L/año
Consumo anti-fouling	10	L/año
Producción		
Mejillón talla comercial	359	t
Talla especial	60	%
Talla normal	40	%

1. Material de construcción casco en madera

TABLA 25 Resultados para la HC utilizando la metodología ISO 14040

Elemento inventario	kg CO ₂ eq/kg mejillón	Contribución relativa (%)
Construcción embarcación	1,48E-05	41,0
Construcción batea	2,13E-05	59,0
Subtotal infraestructura	3,61E-05	0,1
Combustibles	5,26E-02	98,5
Lubricantes	2,09E-04	0,4
Pinturas	1,53E-04	0,3
Alquitrán	2,39E-04	0,4
Fibra algodón	2,18E-04	0,4
Subtotal operaciones acuicultura	5,34E-02	99,9
TOTAL	5,35E-02	100,0



7.6.1 Escenario de producción para un miticultor promedio

En primer lugar se analiza al miticultor promedio de la Ría de Arousa (Iribarren et al., 2010). Se consideran los datos para los consumos de las operaciones de acuicultura así como la producción (**Tabla 24**).

Se tienen en cuenta los datos relativos al parque de bateas y los consumos anuales derivados de su mantenimiento y operación, así como los datos de producción y los datos relativos a los consumos y características de las embarcaciones.

Emisiones CO₂ eq

Se muestran los resultados obtenidos para la HC, expresados como kg CO₂ eq/UF, es decir, referidos a 1 kg de mejillón. Además se realiza una comparación de los resultados utilizando las dos metodologías de cálculo para la HC propuestas:

- **Metodología ISO 14040:** Esta metodología para su cálculo incluye los procesos de infraestructura. La **Tabla 25** muestra que se ha obtenido una HC de 5,34E-02 kg de CO₂ eq/kg de mejillón. Además las emisiones están dominadas por las operaciones de acuicultura, destacando el diesel, donde incluye su producción y emisiones derivadas.
- **Metodología PAS 2050:** Esta metodología excluye los procesos de infraestructura para el cálculo de la HC. La **Tabla 26** muestra que se ha obtenido una HC de 5,22E-02 kg CO₂ eq/kg de mejillón. De nuevo las emisiones están dominadas por el diesel debido a su elevada contribución a impacto.

TABLA 26 Resultados para la HC utilizando la metodología PAS 2050

Elemento inventario	kg CO ₂ eq/kg mejillón	Contribución relativa (%)
Combustibles	5,14E-02	98,5
Lubricantes	1,93E-04	0,4
Pinturas	1,39E-04	0,3
Alquitrán	2,56E-04	0,5
Fibra algodón	2,18E-04	0,4
TOTAL	5,22E-02	100,0

Cabe destacar la escasa diferencia en cuanto al resultado obtenido entre ambas metodologías, esto nos indica que los procesos asociados a la infraestructura en el sistema bajo estudio presentan un escaso impacto en comparación con los demás procesos implicados.

Sumidero

El resultado para el sumidero de carbono, es decir, el carbono fijado en la concha de mejillón, según la producción y la distribución de la misma por tallas ha sido de 56.374 kg de CO₂ eq para el total de mejillón producido por miticultor promedio y de 0,16 kg CO₂ eq/kg de mejillón.

Balance de carbono

El resultado para la HC neta tras realizar el balance entre las emisiones y la fijación de carbono en las conchas ha sido de -1,04E-01 kg de CO₂ eq/kg de mejillón, en caso de seleccionar la metodología ISO 14040 (**Fig.29**), mientras que en caso de seleccionar la metodología PAS 2050 ha sido de -1,05E-01 kg CO₂ eq/kg mejillón (**Fig.30**). Para ambas metodologías se ha obtenido un balance de carbono negativo, lo que permite decir que la producción de mejillón no sólo no presenta impacto ambiental para el

FIGURA 29 Balance de emisiones de CO₂ utilizando la metodología ISO 14040

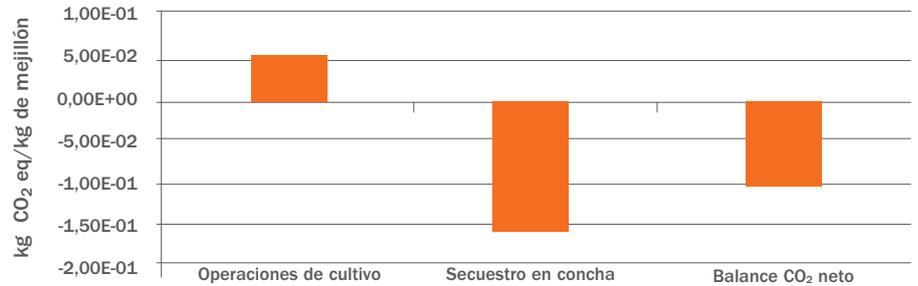


FIGURA 30 Balance de emisiones de CO₂ utilizando la metodología PAS 2050

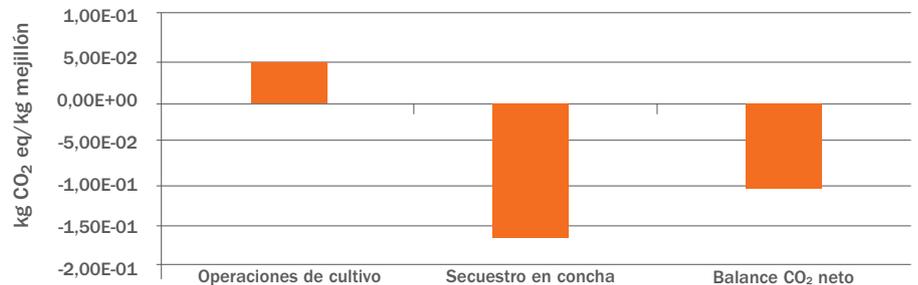




TABLA 27 Características, consumos y producción de mejillón en la Ría de Arousa

Elemento inventario	Cantidad	Unidades
Bateas		
Número de bateas	2.292	unidades
Consumo alquitrán ¹	110	L/año
Consumo algodón ¹	20	cajas/año
Vida media	19,5	años
Consumo semilla ¹	375	kg/año
Embarcaciones auxiliares		
Número	573	unidad
Peso casco ³	10	t
Vida media	32	años
Consumo de diesel ²	5.726	L/año
Consumo lubricante ²	96	L/año
Consumo pintura ²	65	L/año
Consumo anti-fouling ²	10	L/año
Producción		
Mejillón talla comercial	144.040,76	t
Talla especial	60	%
Talla normal	40	%

1. Material de construcción casco en madera, 2. Consumo promedio por embarcación, 3. Casco de madera.

calentamiento global, sino que también permite la mitigación del mismo a través de la fijación de carbono en su concha.

7.6.2 Escenario de producción Ría de Arousa

El segundo escenario analizado es la producción global de la Ría de Arousa para el año 2012, por lo tanto los datos utilizados corresponden a consumos relativos al miticultor promedio. Por otro lado, los datos para la producción así como para la estructura de la misma (número de bateas, embarcaciones auxiliares, etc.) se obtuvieron de la Plataforma Tecnológica da Pesca (Xunta de Galicia, 2013) y de la Denominación de Origen Protegida Mexillón de Galicia. La **Tabla 27** muestra los consumos y la producción para la Ría de Arousa. Para la obtención de estos datos de inventario se han tenido en cuenta:

- Cada embarcación auxiliar atiende a un promedio de 4 bateas por lo que la flota consta de 573 embarcaciones.

- Se ha considerado como material para el casco de las embarcaciones la madera. Este material es el utilizado por el 70% de la flota.
- Los consumos relativos a la batea (alquitrán, cajas de algodón y semilla) se estimaron a partir de los consumos promedio por batea del escenario anterior.
- Los materiales para la construcción de la batea se han considerado los mismos que se han utilizado en el escenario anterior, puesto que las características y dimensiones de las bateas están sujetas a un control por parte de la Xunta de Galicia.

Se tienen en cuenta los datos relativos al parque de bateas y los consumos anuales derivados de su mantenimiento y operación, así como los datos de producción y los datos relativos a los consumos y características de las embarcaciones.

Emisiones CO₂ eq

Se muestran los resultados obtenidos para la HC, expresados como kg CO₂ eq/UF, en este caso se utiliza como unidad funcional 1 kg de mejillón. Además se realiza una comparación de los resultados utilizando las dos metodologías de cálculo para la HC propuestas:

- **Metodología ISO 14040:** Esta metodología incluye los procesos de infraestructura. La **Tabla 28** muestra que se ha obtenido una HC de 7,64E-02 kg de CO₂ eq/kg de

TABLA 28 Resultados para la HC utilizando la metodología ISO 14040

Elemento inventario	kg CO ₂ eq/kg mejillón	Contribución relativa (%)
Construcción embarcación	2,12E-05	41,0
Construcción batea	3,04E-05	59,0
Subtotal infraestructura	5,16E-05	0,1
Combustibles	7,51E-02	98,5
Lubricantes	2,99E-04	0,4
Pinturas	2,19E-04	0,3
Alquitrán	3,42E-04	0,4
Fibra algodón	3,11E-04	0,4
Subtotal operaciones acuicultura	7,63E-02	99,9
TOTAL	7,64E-02	100,0



TABLA 29 Resultados para la HC utilizando la metodología ISO 14040 para cada uno de los Subescenarios propuestos

Elemento inventario	kg CO ₂ eq/kg mejillón		
	Subescenario 1	Subescenario 2	Subescenario 3
Construcción embarcación	2,27E-03	4,36E-03	1,22E-03
Construcción batea	3,04E-05	3,04E-05	3,04E-05
Subtotal infraestructura	2,30E-03	4,39E-03	1,25E-03
Combustibles	7,51E-02	7,51E-02	7,51E-02
Lubricantes	2,99E-04	2,99E-04	2,99E-04
Pinturas	2,19E-04	2,19E-04	2,19E-04
Alquitrán	3,42E-04	3,42E-04	3,42E-04
Fibra algodón	3,11E-04	3,11E-04	3,11E-04
Subtotal operaciones acuicultura	7,63E-02	7,63E-02	7,63E-02
TOTAL	7,86E-02	8,07E-02	7,75E-02

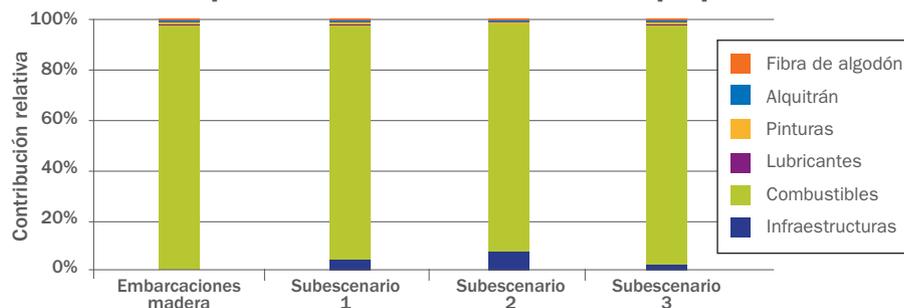
Subescenario 1: material casco embarcaciones auxiliares de acero; Subescenario 2: material casco embarcaciones auxiliares de poliéster; Subescenario 3: combinación de materiales (70% madera, 25% poliéster y 5% acero).

mejillón. Además las emisiones están dominadas por las operaciones de acuicultura, donde destaca el diesel, incluye su producción y emisiones derivadas por su elevada contribución a impacto.

Por otro lado se ha realizado un análisis de sensibilidad para el material de construcción del casco de las embarcaciones auxiliares. De esta manera, se ha evaluado que la flota bateira esté formada en su totalidad de embarcaciones con casco de acero (Subescenario 1) o de poliéster (Subescenario 2), además también se ha evaluado un escenario combinado de los tres materiales (Subescenario 3) a través de los datos obtenidos de la Plataforma Tecnológica da Pesca (Xunta de Galicia, 2013). La **Tabla 29** muestra los diferentes resultados para la HC para cada uno de los subescenarios propuestos.

La evaluación de esta serie de subescenarios para los materiales de construcción nos indica que el material de construcción de las embarcaciones no va a influir en los resultados obtenidos para la HC, al ser el incremento respecto a la situación inicial (embarcaciones de madera) de un 5% para el peor de estos subescenarios (embarcaciones casco de poliéster). Para el caso de la contribución relativa a impacto, ésta pasa de un valor inferior al 1% para el caso de las embarcaciones de madera a un 6% para el caso de las embarcaciones de poliéster (**Fig.31**). En los siguientes apartados, relativos a emisiones de carbono

FIGURA 31 Contribución relativa de los elementos de inventario a la HC para cada uno de los subescenarios propuestos



Subescenario 1: material casco embarcaciones auxiliares de acero; Subescenario 2: material casco embarcaciones auxiliares de poliéster; Subescenario 3: combinación de materiales (70% madera, 25% poliéster y 5% acero)

y balance de carbono, no se evaluarán estos escenarios una vez que se ha visto que la influencia en el impacto es tan baja.

- **Metodología PAS 2050:** Esta metodología para el cálculo de la HC excluye los procesos de infraestructura. La **Tabla 30** muestra que se ha obtenido una HC de $7,46E-02$ kg CO₂ eq/kg de mejillón. Además, de nuevo las emisiones están dominadas por el diesel debido a su elevada contribución a impacto.

Sumidero

El resultado para el sumidero de carbono, es decir, el carbono fijado en la concha de mejillón, según la producción y la distribución de la misma por tallas ha sido de $2,26E7$ kg de CO₂ eq para el total de mejillón producido en la Ría de Arousa en el año 2012 y de $1,57E-1$ kg CO₂ eq/kg de mejillón.

TABLA 30 Resultados para la HC utilizando la metodología PAS 2050

Elemento inventario	kg CO ₂ eq/kg mejillón	Contribución relativa (%)
Combustibles	7,35E-02	98,5
Lubricantes	2,76E-04	0,4
Pinturas	1,98E-04	0,3
Alquitrán	3,65E-04	0,5
Fibra algodón	3,11E-04	0,4
TOTAL	7,46E-02	100,0



Balance de carbono

El resultado para la HC neta tras realizar el balance entre las emisiones y la fijación de carbono en las conchas ha sido de $-8,07E-2$ kg de CO_2 eq/kg de mejillón, en caso de seleccionar la metodología ISO 14040 (**Fig.32**), mientras que en caso de seleccionar la metodología PAS 2050 ha sido de $-8,24E-2$ kg CO_2 eq/kg mejillón (**Fig.33**). Para ambas metodologías se ha obtenido un balance de carbono negativo, lo que permite decir que la producción de mejillón no sólo no presenta impacto ambiental para el calentamiento global, sino que también permite la mitigación del mismo a través de la fijación de carbono en su concha.

FIGURA 32 Balance de emisiones de CO_2 utilizando la metodología ISO 14040

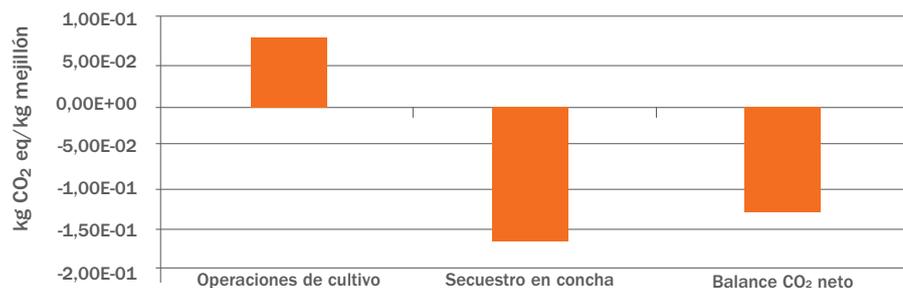
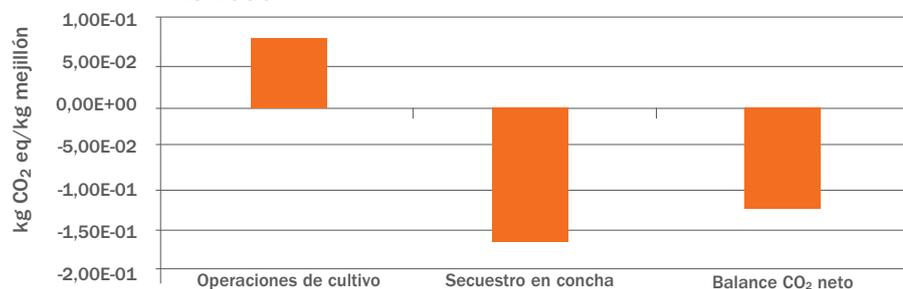


FIGURA 33 Balance de emisiones de CO_2 utilizando la metodología PAS 2050



7.7 Tasa de Retorno Energético del mejillón

La TRE_{prot} previamente definida en el bloque I se calcula para ambos escenarios y los resultados obtenidos son los siguientes:

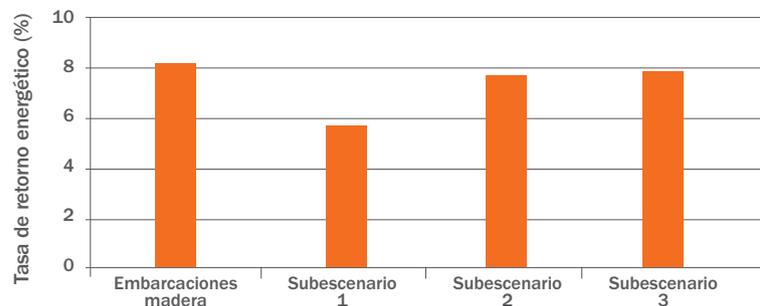
7.7.1 Escenario de producción para un miticultor promedio

El resultado para la TRE_{prot} , es decir, la tasa de retorno energética en forma de proteína comestible es de un 11,6%. En este caso no se hace ningún tipo de distinción en cuanto a metodología utilizada puesto que se incluyen los procesos de infraestructura.

7.7.2 Escenario de producción Ría de Arousa

El resultado para la TRE_{prot} , es decir, la tasa de retorno energético en forma de proteína comestible ha sido de un 8,1%. En este caso, si realizamos un análisis de sensibilidad para el material de construcción de las embarcaciones, los resultados obtenidos para los subescenarios planteados han demostrado que para este parámetro la influencia en el impacto final es mayor (**Fig.34**). La construcción de las embarcaciones en acero (subescenario 1) disminuye el valor para la TRE_{prot} hasta el 5,9%, mientras que para los casos de los escenarios 2 y 3 ha sido de 7,9 y 8%, respectivamente. Estos resultados son el resultado de la gran demanda energética de la producción de acero.

FIGURA 34 Resultados para la tasa de retorno energético (TRE_{prot}) para el escenario y subescenarios propuestos



Subescenario 1: material casco embarcaciones auxiliares de acero; Subescenario 2: material casco embarcaciones auxiliares de poliéster; Subescenario 3: combinación de materiales (70% madera, 25% poliéster y 5% acero)



7.8 Resumen resultados

Los resultados obtenidos para los escenarios estudiados se presentan a continuación en la **Tabla 31** de forma esquematizada.

TABLA 31 Tabla resumen con ambos escenarios simulados y metodologías utilizadas

Indicador	Metodología	Miticultor promedio	Ría Arousa
HC (kg de CO ₂ eq/kg de mejillón)	ISO 14040	5,35 ²	7,64 ²
	PAS 2050	5,22 ²	7,46 ²
Sumidero (kg de CO ₂ eq/kg de mejillón)		0,16	1,57 ¹
Balance de carbono (kg de CO ₂ eq/kg de mejillón)	ISO 14040	-1,04 ¹	-8,07 ²
	PAS 2050	-1,05 ¹	-8,24 ²
TRE _{prot} (%)		11,6	8,1

Si utilizamos la HC del miticultor promedio para calcular la HC de la producción de mejillón en Galicia en 2012, que fue de 227.229 toneladas (t), obtenemos una HC de 12.156 t de CO₂ eq para la metodología ISO 14040 y de 11.861 t de CO₂ eq para la metodología PAS 2050. El carbono fijado en la concha del mejillón producido en Galicia sería de 36.356 t de CO₂ eq. Por tanto se podría decir que, extrapolando el dato medio obtenido para un miticultor promedio de la Ria de Arousa, aproximadamente el balance neto de la HC de la producción gallega sería de -24.200 t de CO₂ eq para la metodología ISO 14040 y de -24.495 de CO₂ eq para la metodología PAS 2050.

La producción de mejillón en Galicia representa un 98% de la española, por lo tanto se podría decir que la HC de la producción española de mejillón es de -24.694 t de CO₂ eq para la metodología ISO 14040 y de -24.995 t de CO₂ eq para la metodología PAS 2050.

Si comparamos el secuestro de carbono potencial de la producción de mejillón de Galicia con la fijación potencial en biomasa forestal para esta misma región, sería equivalente a 2.022 ha de *Eucalyptus globulus* o 6.600 ha de *Pinus pinaster* calculadas según el Protocolo de Kyoto (Macías et al., 2005).

➤ La producción de mejillón en España actúa como sumidero de carbono, fijando en su concha un total de casi 25.000 toneladas de CO₂ eq al año.

7.9 Conclusiones

Se ha evaluado la HC para el cultivo de mejillón en la Ría de Arousa utilizando las metodologías ISO 14040 y PAS 2050. Los resultados obtenidos indican que el consumo de diesel es el principal responsable del impacto independientemente de la metodología o escenario analizado. El análisis de sensibilidad para observar la influencia del material de construcción de las embarcaciones demuestra que para el caso de la HC el resultado final apenas se ve afectado, siendo para este caso, las embarcaciones construidas en poliéster las que presentan un peor comportamiento ambiental.

La simulación de escenarios para el miticultor promedio y la producción de la Ría de Arousa presentan diferencias para la HC, presentando un peor resultado el escenario de la Ría de Arousa. Esto es debido a la diferencia en cuanto al rendimiento de la producción entre ambos escenarios.

El cálculo del sumidero de carbono permite realizar un balance entre las emisiones durante la etapa de acuicultura y la fijación potencial de carbono en la concha de mejillón. De esta manera, para todos los escenarios y metodologías utilizadas el balance ha sido negativo, por lo que se puede considerar que el cultivo de mejillón no sólo tiene un impacto nulo para el calentamiento global, sino que también permite reducir la concentración de GEI en la atmósfera. En caso de comparar el producto estudiado con otros presentes en la bibliografía, si nos fijamos tan sólo en la HC, es decir, sin tener en cuenta la acción de sumidero por parte de la concha, el resultado obtenido es muy bajo frente a otros productos marinos tales como son los procedentes de la pesca extractiva.

En cuanto a la TRE_{prot} presenta un valor que se encuentra dentro del rango en el que se encuentran otros productos marinos de pesca extractiva, siendo además ligeramente inferior que muchos de ellos.

La simulación de escenarios para el miticultor promedio y la producción de la Ría de Arousa presentan diferencias para la TRE_{prot} , presentando un peor resultado el escenario de la Ría de Arousa, esto es debido al igual que para la HC a la diferencia en cuanto al rendimiento de la producción entre ambos escenarios. Además el análisis de sensibilidad para el material de construcción del casco de las embarcaciones muestra que para este indicador sí presenta una elevada influencia, de esta manera para el caso de las embarcaciones de acero el resultado es notablemente inferior, ello es debido fundamentalmente a la elevada demanda energética de la producción del acero, mientras que para los otros escenarios de materiales de construcción de las embarcaciones las diferencias son muy reducidas.

REFERENCIAS

Baumann H & Tillman AM. (2004). The Hitch Hiker's Guide to LCA: and orientation in life cycle assessment methodology and application. Lund: Studentlitteratur

EMEP-Corinair. (2006). Emissions Inventory Guidebook. Disponible en <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR4/B810vs3.2.pdf>

FAO. (2004). Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma. Disponible en: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Mytilus_galloprovincialis/es

FAO. (2013). Departamento de Pesca y Acuicultura. Estadísticas pesqueras. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/statistics/es>

Frischknecht R, Heck T, Jungbluth J, Röder A, Tuchschnid M. (2007). Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries. ecoinvent report No. 5, v2.0, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland

IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri RK y Reisinger A (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza

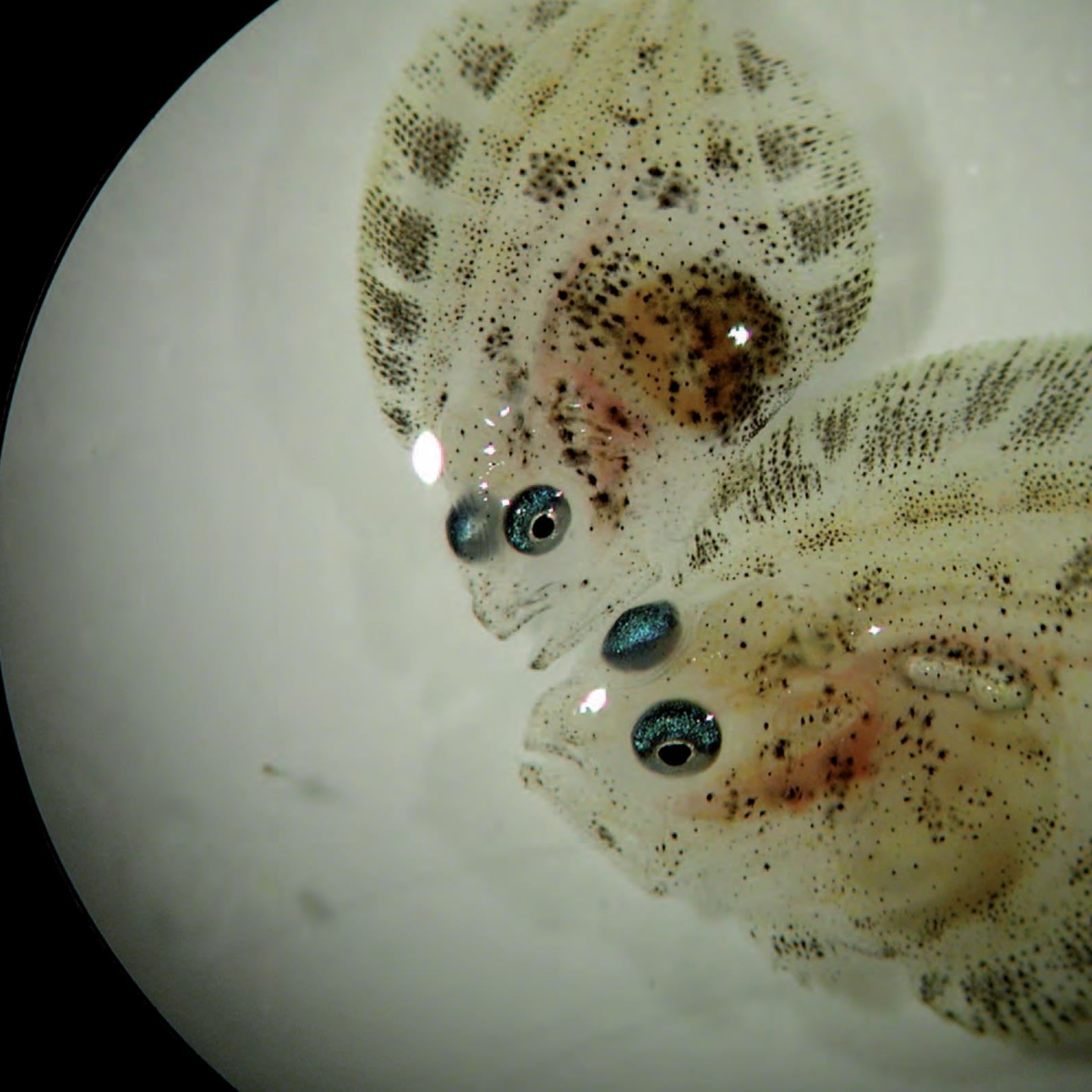
Iribarren D, Moreira MT, Feijoo G. (2010). Life Cycle Assessment of fresh and canned mussel processing and consumptions in Galicia (NW Spain). Resources, Conservation and Recycling.

ISO. (2006). ISO 14040 Environmental management – life cycle assessment – principles and framework.

Macías, F., M. Camps y L. Rodríguez. (2005). Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia. *Recursos rurais: revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural*. 1: 71-85.

Mexillón de Galicia. (2013). Denominación de Origen Protegida Mexillón de Galicia. Disponible en: <http://www.mexillondeg Galicia.org/sector-productor/las-rias.html>

Xunta de Galicia. (2013). Plataforma Tecnolóxica da Pesca. Disponible en: <http://www.pescadegalicia.com>





BLOQUE III

VIII. CULTIVO DE RODABALLO Y HUELLA DE CARBONO

8.1 Equipo de trabajo

Este capítulo ha sido elaborado por la Universidad de Santiago de Compostela en el marco del proyecto “Acuicultura y cambio climático”, que engloba la evaluación y análisis de aspectos ambientales relativos a la huella de carbono (HC) y la tasa de retorno energético (TRE) de la acuicultura del rodaballo.

El equipo de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) pertenece al grupo de investigación de “Ingeniería Ambiental y Bioprocesos” (www.usc.es/biogrup) dentro del departamento de Ingeniería Química. Dentro del grupo de investigación es la línea de “Gestión ambiental: tecnologías limpias y análisis de ciclo de vida” la que participa de forma activa en el proyecto.

El personal investigador que ha participado en el presente trabajo fue:

- Dr. Gumersindo Feijoo Costa (Catedrático de Universidad)
- Dra. M^a Teresa Moreira Vilar (Catedrática de Universidad)
- Dra. Sara González García (Investigadora Post-doctoral)
- D. Pedro Villanueva Rey (Investigador Pre-doctoral)

8.2 Resumen

El estudio pretende ser una guía en la estrategia ambiental para los productores de rodaballo. Por otra parte, podrá ser de utilidad en la comunicación ambiental de los productos al consumidor e incluso servir como base para obtener el etiquetaje ecológico.

En este informe se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. Identificación de cada una de las etapas que constituyen el sistema bajo estudio, con la consiguiente representación detallada del mapa del proceso.
2. Elaboración del inventario de ciclo de vida, detallando las entradas y salidas de materia y energía de cada una de las etapas consideradas.
3. Evaluación del inventario de ciclo de vida, donde se detectan los puntos críticos del proceso y se lleva a cabo la comparación de los resultados obtenidos dentro de su contexto productivo.
4. Cuantificación de la tasa de retorno energético



El sistema bajo estudio abarca el ciclo de vida completo del cultivo del rodaballo, desde la obtención de las huevas, las operaciones de cultivo hasta la pesca y posterior muerte del mismo, se trata por lo tanto de un estudio de la cuna a la puerta (*Business to Business*, B2B).

Para ambos indicadores ambientales se han evaluado diversos criaderos y plantas de engorde localizados en Galicia. Para el indicador de huella de carbono se obtuvo un resultado de 19,9 kg CO₂eq/kg de rodaballo siguiendo la metodología ISO 14040. Las operaciones involucradas en la etapa de incubación y cría de los alevines es el principal responsable de este resultado debido al elevado consumo eléctrico. Para el indicador ambiental tasa de retorno energético en forma de proteína comestible (TRE_{prot}) se obtuvo un valor del 0,38%. Este bajo resultado obtenido está relacionado con el elevado consumo eléctrico que conlleva el sistema de cultivo de rodaballo en acuicultura intensiva.

8.3 Metodología

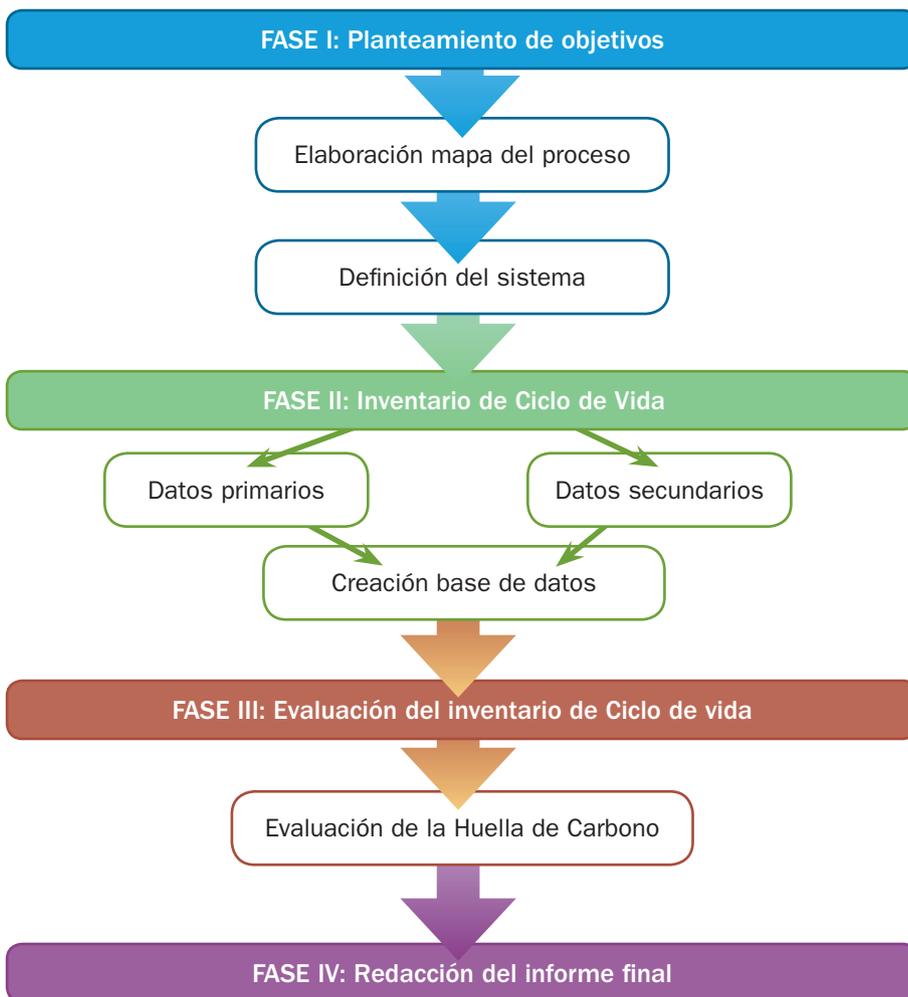
El plan de trabajo del proyecto consta de una serie de etapas, siguiendo la metodología que se describe a continuación:

- **Fase I: Planteamiento de objetivos.** Se realiza una visita a las plantas de acuicultura en la que se definen los objetivos del estudio, así como el alcance del mismo. Se selecciona y establece el producto a estudiar en función de la complejidad del mismo (en este caso, rodaballo), si es representativo de la línea de producción o emblemático para la empresa, etc. Posteriormente, se lleva a cabo la definición del sistema estudiado a partir del mapa del proceso.
- **Fase II: Inventario de Ciclo de Vida.** Se realiza un inventario de las entradas y salidas al sistema a partir de la recopilación de datos primarios proporcionados por la propia empresa o datos obtenidos de las diferentes bases de datos de análisis de ciclo de vida.
- **Fase III: Evaluación del inventario de Ciclo de Vida.** Con los datos de inventario se evalúa la carga ambiental asociada al producto analizado para las diferentes categorías de impacto. Con estos datos de inventario de ciclo de vida se determina la huella de carbono asociada a cada uno de los productos. A partir de estos resultados se analizan los puntos críticos detectados en el proceso para plantear una serie de acciones potenciales de mejora ambiental para la huella de carbono. La metodología de huella de carbono está estrechamente ligada a la demanda energética por lo que ello permite evaluar otro indicador ambiental como la tasa de retorno energético en forma proteica (TRE_{prot}).

- **Fase IV: Redacción del informe final.** Todo el trabajo realizado a lo largo del proyecto se plasma en un informe final del producto seleccionado, recopilando la información generada durante la realización del mismo.

En la **Figura 35** se presenta un esquema del plan de trabajo.

FIGURA 35 Plan de trabajo





8.4 Acuicultura intensiva del rodaballo

España es un país con una gran diversidad costera que da lugar a una alta especialización en el cultivo del pescado, con el desarrollo de una amplia gama de procedimientos operativos.

Las especies principales dentro de la acuicultura marina (acuicultura intensiva de pescado en agua de mar) nacional son la dorada, la lubina, la corvina, el rodaballo y el besugo. En Galicia y a lo largo de la costa Cantábrica, el cultivo de rodaballo se desarrolla en instalaciones interiores con suministro de agua de mar. Las regiones españolas con agua más tibia (regiones atlánticas mediterráneas y meridionales) se centran en la producción de dorada y lubina pero con sistemas de producción diferentes de acuerdo a su orografía. Galicia es la región de referencia acerca del cultivo y producción de rodaballo (*Maximus scophthalmus*) en acuicultura, representando su cultivo el 90% de la producción nacional de rodaballo.

En general, el sector del rodaballo implica granjas con prácticas de acuicultura intensivas. No obstante, hay otros componentes que desempeñan un papel básico dentro del sector del rodaballo gallego. Estos componentes incluyen: (i) alimentación, (ii) equipamiento, (iii) edificios, (iv) sustancias químicas y (v) energía (Aubin et al., 2006).

En cuanto a la producción de pescado, el rodaballo comercial se produce en granjas interiores con alimentación de agua de mar. En estas instalaciones, la acuicultura de rodaballo se desarrolla según un conjunto de fases que abarcan desde la obtención de los gametos hasta el crecimiento final de cara a su comercialización (Garazo 2009).

Las etapas llevadas a cabo en las granjas de rodaballo (*Maximus scophthalmus*) incluyen en primer lugar la producción de los gametos machos y hembras. Dentro de su ambiente natural, los rodaballos liberan gametos en primavera o verano. No obstante, las granjas de acuicultura tienen larvas de rodaballo y juveniles todo el año ya que es posible inducir huevos mediante exposiciones a diferentes intensidades de luz, las cuales promueven la producción de esperma y óvulo. Después de seis u ocho días de fecundación, se obtienen las larvas, que flotan en la superficie de los depósitos. El desarrollo larval es una fase crítica a causa de la elevada mortalidad. Por lo tanto, la calidad de agua, el contenido de oxígeno, la dieta y otros parámetros fisicoquímicos como la temperatura y la luz son parámetros que se controlan cuidadosamente. La densidad de cultivo del rodaballo está en torno a 30-40 larvas por litro de agua. En España, el cultivo intensivo prevalece para el desarrollo larval.

La alimentación de las larvas consiste en zooplancton, el cual se produce en la propia granja. El crecimiento de las larvas es muy rápido y, después de 90 días, las larvas

crecen desde 3 mm y 0,2 g a 35 mm y 2 g. A lo largo del desarrollo de la larva, tiene lugar una metamorfosis que comienza en el día 15 y dura entre 45 y 60 días. Al final de dicha metamorfosis, se realiza el transporte de las larvas hacia tanques para su posterior crecimiento. En esta etapa de crecimiento, la alimentación está constituida en base a piensos y si la dieta es apropiada, el porcentaje de supervivencia de las larvas asciende al 95% llegando a alcanzar un peso de 5 g (Iribarren et al., 2012).

El crecimiento de los rodaballos juveniles continúa en tanques de gran superficie y poca altura, manteniendo las condiciones físico-químicas de las etapas previas. Es importante mantener una adecuada renovación del agua y evitar la muerte de las especies para prevenir posibles enfermedades. En la última etapa, el rodaballo alcanza su tamaño comercial (rodaballo adulto). Esta etapa es la más rápida de todas las llevadas a cabo a lo largo del crecimiento de esta especie. El porcentaje de supervivencia es superior al 95% y la formulación de la alimentación se continúa realizando a base de pienso aunque en algunas ocasiones también se alimenta con pescado fresco. Las densidades medias de crecimiento son de 20 a 40 kg/m³. Finalmente, al cabo de 26 a 30 meses, el rodaballo ya ha alcanzado su peso y tamaño comercial (1,5 - 2 kg) aunque en el caso del rodaballo macho, su peso está en torno a 1 kg.

8.5 Análisis de Ciclo de Vida

La profundidad y amplitud de un estudio de ciclo de vida puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de estudio (Baumann & Tillman, 2004). Sin embargo, pueden identificarse cuatro fases en todo estudio de ciclo de vida que serán presentadas en detalle a continuación:

- Definición de objetivos y alcance
- Análisis de inventario
- Evaluación del impacto de ciclo de vida
- Interpretación de resultados

Definición de objetivos y alcance

Este estudio de ACV sigue, en líneas generales, la estructura determinada por la normativa internacional ISO 14040:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework, así como la metodología propuesta por la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).

Objetivos del análisis

El objetivo de este trabajo ha sido la evaluación del perfil ambiental del cultivo de rodaballo en Galicia de acuerdo con la metodología ambiental de ACV. El perfil ambiental será



cuantificado en términos de su huella de carbono (kg CO₂ eq). De esta forma, los puntos críticos a lo largo del proceso productivo serán además identificados planteando alternativas de mejora para los mismos, con el objetivo de reducir su carga ambiental y mejorar su perfil. Por otra parte, el estudio se completará con el cálculo de la Tasa de Retorno Energético (TRE_{prot}) con el objetivo de mostrar el resultado entre la energía obtenida en forma proteica consumible y la energía invertida a lo largo del proceso productivo.

Alcance del estudio

Unidad funcional

La unidad funcional es la unidad de referencia a la que se van a referenciar las entradas y salidas identificadas para el proceso productivo bajo estudio. En este caso de estudio, se ha considerado como unidad funcional 1 kg de rodaballo adulto, listo para consumo (**Fig.35**).



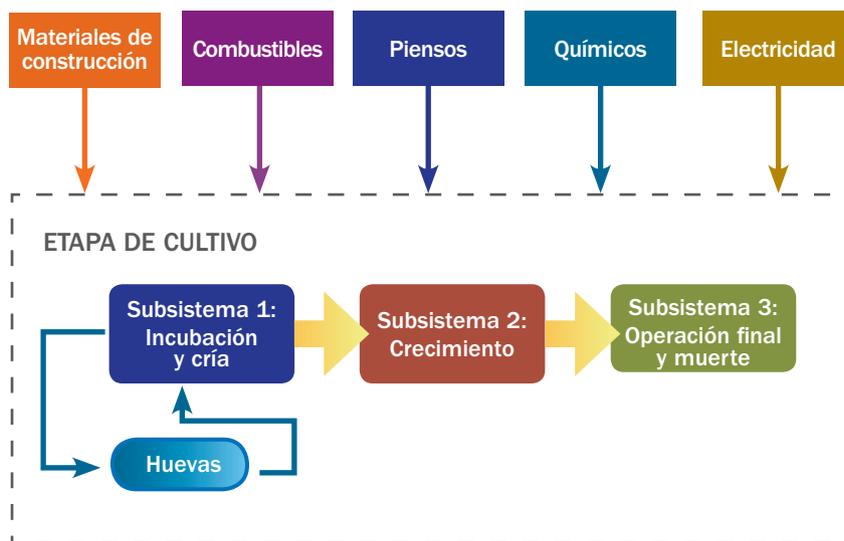
Figura 35. Rodaballo gallego listo para consumo.

Definición del sistema

Para el estudio de la producción de rodaballo en Galicia bajo acuicultura intensiva se consideraron todas las actividades que tienen lugar dentro del proceso productivo en la granja de rodaballo: incubación y cría de las larvas (subsistema 1), crecimiento (subsistema 2) y operación final y muerte del rodaballo (subsistema 3). La **Figura 36** muestra el diagrama de flujo correspondiente al sistema bajo estudio. La producción de las diferentes entradas a la granja (químicos, pienso, energía) también ha sido considerada dentro de los límites del sistema bajo estudio, prestando especial atención a la producción del pienso.

Toma de datos

En la medida de lo posible, se ha intentado emplear datos reales del proceso productivo con el objetivo de conseguir la mayor representatividad tanto de los datos como de los resultados del estudio ambiental. Por tanto, los datos de inventario correspondientes a las actividades desarrolladas dentro de la granja (datos primarios) de rodaballo se corresponden con datos reales promedio de 2010 y 2011 procedentes de las declaraciones ambientales de las granjas marinas representativas de la producción intensiva de rodaballo en Galicia.

FIGURA 36 Componentes implicados en el proceso de cultivo del rodaballo



Los datos manejados corresponden a la producción de 3.500 toneladas de rodaballo en Galicia. La base de datos ecoinvent® se consideró como base para la recopilación de datos de inventario secundarios relativos a la producción de compuestos químicos (Althaus et al., 2007), energía (Dones et al., 2007), materiales de embalaje (Hischier, 2007) y a las actividades relacionadas con el transporte (Spielmann et al., 2007) y gestión de residuos (Doka, 2007). Se excluyó del estudio la producción de bienes capitales tales como infraestructura (Renou et al., 2008) considerando que presenta una contribución insignificante de acuerdo con la estimación de su vida útil, estimada en más de 20 años.

Para la producción de los requerimientos eléctricos que tienen lugar en las actividades de la granja de rodaballo, se considera el perfil eléctrico español presentado en la base de datos ecoinvent® (Dones et al., 2007). Finalmente, la gestión de los residuos producidos en las actividades acuícolas se considera dentro de los límites del sistema bajo estudio (Doka, 2007) aunque no se asignó carga ambiental al proceso de reciclaje siguiendo las directrices seguidas en ecoinvent®.

Inventarios de ciclo de vida

En las **Tablas 32, 33 y 34** se recogen los datos de entrada y salida para el sistema de cultivo de rodaballo en Galicia. Más información detallada de los datos de inventario se puede encontrar en Iribarren et al. (2012).

TABLA 32 Datos de inventario correspondiente a las actividades acuícolas destinadas a la cría y producción de rodaballo en Galicia. Subsistema 1: Incubación y cría de las larvas

ENTRADAS					
DESDE LA TECNOSFERA					
1. Oxígeno líquido	2,905	kg	4. Diesel C	0,014	l
2. Pienso	0,542	kg	5. Electricidad	14,843	kWh
3. Agua fresca	0,388	l	6. Huevos de rodaballo	285.714,286	unid.
DESDE LA NATURALEZA					
1. Agua de mar	0,360	l			
SALIDAS					
A LA TECNOSFERA			A LA NATURALEZA		
1. Productos			Emisiones al agua		
Alevines de rodaballo	21,429	g	1. Sólidos en suspensión	1,260	mg
Huevos de rodaballo	285.714,286	unid.	2. Nitrito	0,047	mg
2. Residuos a valorización			3. Fosfato	0,036	mg
Papel y cartón	0,144	g	4. COT	0,468	mg
Madera	0,505	g	Emisiones al aire		
Plástico	0,173	g	1. SO ₂	0,075	g
PP filtros	0,135	g	2. CO	0,015	g
3. Residuos no peligrosos sin valorización			3. CO ₂	0,114	kg
Residuo sólido municipal	0,267	g	4. NO _x	0,101	g
Lodo de tanque séptico	0,850	g	5. O ₂	0,051	kg
Lodo de lavado	0,850	g			
Pescado muerto	0,214	g			
4. Residuo peligroso a tratamiento					
Aceite mineral usado	0,134	g			
Mezcla agua-hidrocarburos	0,280	g			
Plásticos contaminados	0,023	g			
Filtros aceite	0,009	g			
Contenedores metálicos	0,007	g			
Residuos laboratorio	0,007	g			
Baterías	0,016	g			


TABLA 33
Datos de inventario correspondiente a las actividades acuícolas destinadas a la cría y producción de rodaballo en Galicia. Subsistema 2: crecimiento

ENTRADAS					
DESDE LA TECNOSFERA			DESDE LA NATURALEZA		
1. Oxígeno líquido	0,299	kg	1. Agua de mar	1,759	l
2. Pienso	0,118	kg			
3. Agua fresca	1,897	l			
4. Diesel C	0,068	l			
5. Electricidad	3,152	kWh			
6. Alevines de rodaballo	21,429	g			
SALIDAS					
A LA TECNOSFERA			A LA NATURALEZA		
1. Productos			Emisiones al agua		
Rodaballo juvenil	0,105	kg	1. Sólidos en suspensión	6,685	mg
2. Residuos a valorización			2. Nitrito		
Papel	0,127	g	3. Fosfato	0,176	mg
Cartón	0,123	g	4. COT	2,815	mg
Madera	3,513	g	Emisiones al aire		
Chatarra	2,345	g	1. SO ₂	0,367	g
Plástico	1.153	g	2. CO	0,072	g
3. Residuos no peligrosos sin valorización			3. CO ₂	0,557	kg
Bolsas de plástico	0,625	g	4. NO _x	0,495	g
Pescado muerto	5,722	g	5. O ₂	0,251	kg
Residuo orgánico	0,045	g			
Residuo orgánico marino	0,630	g			
4. Residuo peligroso a tratamiento					
Lámparas fluorescentes	0,034	g			
Baterías	0,019	g			
Medicinas	0,561	g			
Plásticos contaminados	0,326	g			
Sistemas electrónicos obsoletos	0,229	g			
Baterías	0,022	g			

TABLA 34 Datos de inventario correspondiente a las actividades acuícolas destinadas a la cría y producción de rodaballo en Galicia. Subsistema 3: Operación final y muerte del rodaballo

ENTRADAS					
DESDE LA TECNOSFERA			DESDE LA NATURALEZA		
1. Oxígeno líquido	0,274	kg	1. Agua marina	15,041	l
2. Pienso	0,891	kg			
3. Agua fresca	18,115	l			
4. Electricidad	2,045	kWh			
5. Diesel B	0,283	l			
6. Diesel C	0,651	l			
7. Rodaballo juvenil	0,105	kg			
SALIDAS					
A LA TECNOSFERA			A LA NATURALEZA		
1. Productos			Emisiones al agua		
Rodaballo adulto	1,000	kg	1. Sólidos en suspensión	45,395	mg
2. Residuos a valorización			2. Nitrito	1,526	mg
Chatarra	1,370	g	3. Fosfato	3,688	mg
Papel y cartón	1,330	g	4. COT	24,905	mg
Plástico	15,420	g	Emisiones al aire		
Otros (PVC, madera...)	27,447	g	1. SO ₂	3,507	g
3. Residuos no peligrosos sin valorización			2. CO	0,683	g
Bolsas de plástico	0,625	g	3. CO ₂	5,315	kg
Pescado muerto	5,722	g	4. NO _x	4,729	g
Residuo orgánico	0,045	g	5. O ₂	2,397	kg
Residuo orgánico marino	0,630	g			
4. Residuo peligroso a tratamiento					
Latas de spray	0,001	g			
Contenedores contaminados	0,739	g			
Residuos de oficina	0,003	g			
Agentes absorbentes	0,359	g			
Mezcla hidrocarburos-agua	0,131	g			
Residuo sanitario	0,018	ml			
Residuo de laboratorio	0,059	g			



8.5.1 Análisis de Ciclo de Vida en el sector de la acuicultura

Se ha aplicado la metodología del Análisis de Ciclo de Vida en un número muy variado de especies de gran interés comercial, destacando: salmón, trucha, tilapia, gamba, lubina, mejillón, rodaballo y gamba. Dentro de la propia metodología hay diferencias entre estudios ya que el alcance del mismo varía entre ellos, puesto que su alcance va desde la propia puerta de la granja, la industria de procesado, el producto listo para su consumo o el consumo del mismo. El origen de los estudios realizados en este campo es principalmente: Europa, Asia y América, tanto al Norte como al Sur. En ellos se destacan la importancia de la producción de los piensos y el elevado consumo de energía.

Todos los estudios destacan a los piensos por su elevado impacto, siendo los procesos de obtención de las materias primas para su elaboración, se incluyen ingredientes tanto de origen agrícola (soja, trigo, etc) como de origen marino, los principales responsables de impacto. A partir de estos estudios se proponen nuevas formulaciones para mitigar dicho impacto pero sin modificar las cantidades de los nutrientes básicos (proteínas, lípidos, fósforo, etc).

También se recomiendan cambios en el origen de las harinas de pescado, sustituyendo las pesquerías actuales que suministran el pescado para la elaboración de las mismas por aquellas que presentan una menor carga ambiental. Del mismo modo se consideran cambios en el proceso de elaboración de estos piensos, como son la reducción del consumo de energía y también cambios en la logística de los mismos.

Por otro lado, el elevado consumo de energía por parte de estas instalaciones supone una parte importante en cuanto a impacto, por lo que se debe investigar en como minimizar dicho consumo mediante la detección de posibles ineficiencias en las etapas del proceso productivo que permitan actuar sobre ellas y reducir este consumo.

Así para el caso del cultivo de rodaballo, en la mayoría de los estudios, se observó que la etapa de incubación es la que requiere de mayor energía por lo que se debe actuar sobre esta para poder encontrar alguna alternativa o poder detectar alguna ineficiencia.

La mayor parte de los estudios realizados hasta la fecha no incluyen el cálculo de la HC como tal, sino que la incluyen dentro del estudio de ACV a través de la categoría de impacto de potencial de calentamiento global, por lo que la bibliografía existente en este sentido es escasa. Los resultados obtenidos para estudios de este tipo van



encaminados, al igual que los estudios de ACV, hacia una reducción en el consumo energético así como a prestar una especial atención a la producción y a los ingredientes de los piensos.

Por su parte la FAO indica en sus estudios de contribución al cambio climático por parte de la acuicultura, destaca de forma general que esta presenta un impacto potencial inferior a otros sistemas de producción de alimentos. Así el cultivo de especies continentales herbívoras u omnívoras requerirá una menor cantidad de piensos, y por tanto, un impacto menor, mientras que otras especies marinas y/o carnívoras, requieren una mayor demanda tanto de piensos como de energía en sus sistemas de producción por lo que su impacto será mayor.



8.6 Cuantificación de la Huella de Carbono del rodaballo en Galicia

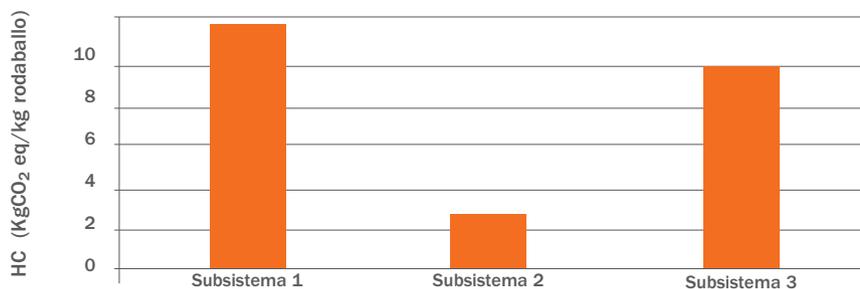
El término Huella de Carbono se refiere a las emisiones de GEI, cuantificadas en emisiones de CO₂ equivalentes (kg de CO₂ eq), que son liberadas a la atmósfera a lo largo del ciclo de vida del producto, proceso o servicio, entendiendo que este ciclo engloba todos los procesos que comprenden la creación, modificación, transporte, almacenamiento, suministro, reciclaje o vertido de estos bienes o servicios.

Para este estudio se utilizó el software SimaPro 7.3.3 (SimaPro, 2013) para llevar a cabo la implementación y manejo de los datos de inventario reales, tomados directamente en diversas plantas representativas de producción intensiva de rodaballo en Galicia. Como se indicó, estos datos se completaron con datos de inventario de la base de datos ecoinvent®, específicamente para procesos productivos de entradas al sistema bajo estudio. El estudio de ACV se realizó siguiendo las directrices establecidas por la norma ISO 14040 (2006) y se consideraron los factores de caracterización con el horizonte temporal a 100 años para el cálculo de la HC, establecidos por el IPPC (2007).

De acuerdo con los resultados, la HC asociada a la producción de 1 kg de rodaballo en Galicia bajo un sistema de acuicultura intensiva se corresponde con 19,9 kg CO₂ eq. De acuerdo con lo establecido en el apartado de definición de objetivos, este trabajo tiene como objetivo principal no solo la cuantificación de la HC sino también la contribución por parte de los distintos subsistemas a la emisión de GEI así como la identificación de aquellos procesos involucrados a lo largo del sistema productivo con mayor carga ambiental.

La **Figura 37** recoge la distribución de la HC entre los tres subsistemas los cuales constituyen el sistema de producción del rodaballo.

FIGURA 37 Distribución de la emisión de kg CO₂ eq entre los distintos subsistemas

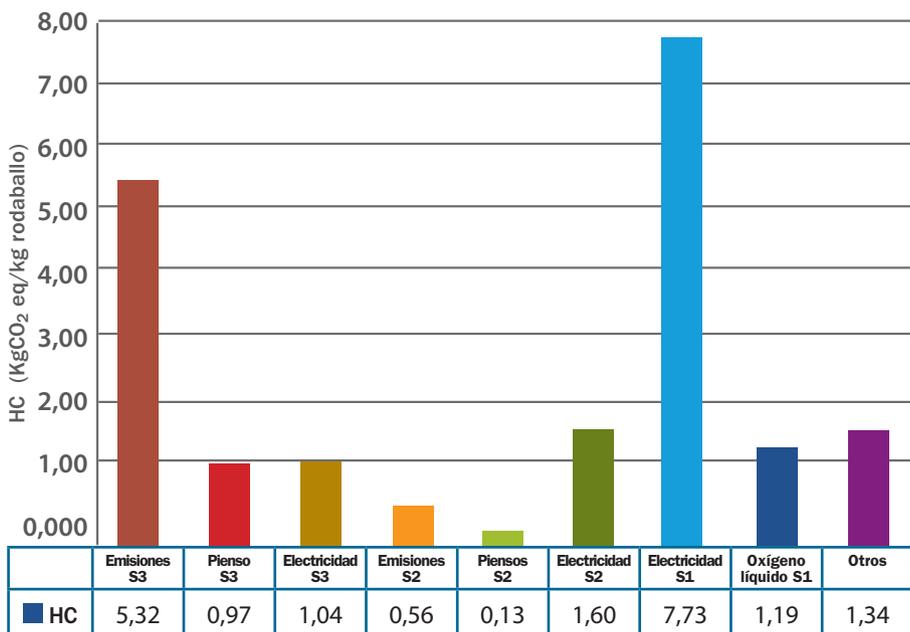


De acuerdo con los resultados mostrados en la **Figura 38**, el subsistema 1 correspondiente a las actividades relacionadas con la incubación y cría de las larvas es el principal responsable de las emisiones de GEI. Este subsistema es responsable del 48% de la HC asociada al rodaballo. Le sigue el subsistema relacionado con la muerte del rodaballo y operaciones finales, una vez el rodaballo ha alcanzado el tamaño óptimo para su consumo (40%). La etapa de crecimiento presenta una menor carga ambiental en términos de emisiones de GEI (12% del total).

La siguiente parte del estudio es identificar el proceso o procesos responsables de estos resultados, es decir, aquel o aquellos con mayor carga ambiental. Por tanto, la Figura 38 despliega todos aquellos procesos con una contribución superior al 3%.

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 38, la elevada demanda de energía eléctrica que tiene lugar en el subsistema 1 correspondiente a la incubación y cría de las larvas de rodaballo, es el principal proceso responsable de las contribuciones a la

FIGURA 38 Distribución de la emisión de CO₂ eq entre los principales procesos involucrados en el sistema de cultivo intensivo del rodaballo





HC derivadas de dicho subsistema (39% del total). El consumo eléctrico en los restantes subsistemas es también significativo con una contribución que asciende al 13% del total.

El segundo aspecto con mayor contribución al perfil ambiental (27% del total) son las emisiones que tienen lugar en el subsistema 3 (principalmente CO₂) y que derivan de la combustión del diesel B y C. La producción del pienso requerido para la cría y crecimiento del rodaballo resulta también significativa, especialmente en los subsistemas 1 (0,542 kg) y 3 (0,891 kg). Su contribución total asciende al 6% del total de GEI.

La producción del pienso empleado en sistemas de producción alimentaria tanto de pescado como de otros animales (cerdo, pollo, ternera) se ha identificado como un punto crítico ambiental (Baumgartner et al., 2008; Castanheira et al., 2010; Iribarren et al., 2012). Por tanto, la introducción de alternativas de mejora al sistema de producción del pienso podría ser interesante, contribuyendo a la reducción de la HC.

8.7 Tasa de Retorno Energético del rodaballo

Finalmente, para completar el estudio ambiental se ha realizado un estudio del retorno energético del rodaballo. Para ello se ha tenido en cuenta el aporte de proteínas y la demanda de energía (renovable y no renovable) que tiene lugar a lo largo del ciclo productivo de este pescado.

Tal y como se muestra en la **Tabla 35** y considerando una perspectiva de la cuna a la puerta (entendiendo por puerta, la puerta de la granja de rodaballo), se necesita un aporte de energía de 323 MJ. Por otro lado, la energía obtenida en forma proteica se corresponde con 1,21 MJ. El valor obtenido para el TRE_{prot} del rodaballo obtenido en acuicultura en Galicia es 0,38%, lo cual significa que se devuelve ese porcentaje de energía en forma proteica frente a la inversión para su obtención.

TABLA 35 Valores energéticos y TRE para el rodaballo gallego obtenido en acuicultura

Energía proceso (MJ)	Energía proteica (MJ)	TRE _{prot} (%)
Bateas		
CED ^a	Rodaballo	unidades
323	21	0,38%

a. CED - Cumulative Energy Demand (demanda de energía del proceso, incluye energía que proviene tanto de fuentes renovables como no renovables).

REFERENCIAS

Althaus HJ, Chudacoff M, Hischier R, Jungbluth N, Osses M, Primas A. (2007). Life Cycle Inventories of Chemicals. ecoinvent report No. 8, v2.0, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland

Aubin J, Papatryphon E, van der Werf HMG, Petit J, Morvan YM. (2006). Characterisation of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) re-circulating production system using Life Cycle Assessment. Aquaculture

Baumann H & Tillman AM. (2004). The Hitch Hiker's Guide to LCA: and orientation in life cycle assessment methodology and application. Lund: Studentlitteratur

Baumgartner, DU, de Baan L, Nemeck T. (2008). European grain Legumes - Environment-Friendly Animal Feed: Life Cycle Assessment of Pork, chicken Meat, Egg and Milk Production. Grain Legumes integrated Project Report, Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zürich.

Castanheira EG, Diaz EC, Arroja L, Amaro R. (2010). The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm. Agricultural Systems

Doka G. (2007). Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13, v2.0, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland

Dones R, Bauer C, Bolliger R, Burger B, Faist Emmenegger M, Frischknecht R, Heck T, Jungbluth J, Röder A, Tuchschnid M. (2007). Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries. ecoinvent report No. 5, v2.0, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland

Garazo A. (2009). www.terralia.com/articulo.php?recordID=1209

Hischier R. (2007). Life Cycle Inventories of Packagings and Graphical Papers. ecoinvent report No. 11, v2.0, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland

IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri RK y Reisinger A (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza.



Iribarren D, Moreira MT, Feijoo G. (2012). Life Cycle Assessment of Aquaculture Feed and Application to the Turbot Sector. International Journal of Environmental Research
Iribarren D, Moreira MT, Feijoo G (2010) Life Cycle Assessment of fresh and canned mussel processing and consumptions in Galicia (NW Spain). Resources, Conservation and Recycling.

ISO. (2006). ISO 14040 Environmental management – life cycle assessment – principles and framework.

Renou S, Thomas JS, Aoustin E, Pons MN. (2008). Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. Journal of Cleaner Production

Spielmann M, Dones R, Bauer C. (2007). Life Cycle Inventories of Transport Services.ecoinvent report No. 14, v 2.0, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland

The Carbon Trust, Department of Environment, Food & Rural Affairs and British Standards Institute. (2011). PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Disponible en: <http://www.bsigroup.es/es/>

Vázquez-Rowe I. (2012). Fishing for solutions. Environmental and operational assessment of selected Galician fisheries and their products. Doctoral Thesis, Universidad de Santiago de Compostela, España.

Vázquez-Rowe I, Villanueva-Rey P, Moreira MT, Feijoo G. (2013). Protein energy return on investment ratio (EROI) for Spanish seafood products. AMBIO





BLOQUE IV

IX. CULTIVO DE MICROALGAS Y HUELLA DE CARBONO

9.1 Equipo de trabajo

Este proyecto ha sido realizado por el equipo de trabajo de AlgaEnergy, S.A., empresa de base tecnológica, fundada en 2007 y enmarcada en el sector de la biotecnología de microalgas y cianobacterias y cuyas principales actividades son:

- La **mejora** de los procesos de cultivo y procesado,
- La **reducción** de los costes de producción,
- El **desarrollo** de nuevos productos comerciales derivados de microalgas y cianobacterias.



Figura 39. Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTeM).



En virtud de los acuerdos establecidos con la Secretaría de Estado del Ministerio de Fomento, IBERIA y AENA, AlgaEnergy ha construido su Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTEM) en las inmediaciones de la terminal T4 del Aeropuerto de Madrid-Barajas. Esta Plataforma se conforma actualmente como la herramienta de I+D más potente y flexible en el sector de la biotecnología de microalgas.

9.2 Objetivos

En este estudio se pretende calcular la huella de carbono de las microalgas y cianobacterias (fitoplancton) producidas, en fotobiorreactores, para alimentación (larvaria) en acuicultura.

Para la elaboración del presente estudio se ha implementado la metodología y especificaciones recogidas en la especificación PAS 2050.

Con este fin, un equipo pluridisciplinar de ingenieros de diversas especialidades y biólogos del equipo de AlgaEnergy, S.A., han realizado ensayos y mediciones en las instalaciones de la Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTEM), empleando distintas estirpes de microalgas.

Asimismo se ha realizado un estudio de las zonas más aptas para emplazar las instalaciones de producción de microalgas en España en función de factores internos (composición bioquímica, condiciones de cultivo y los usos y aplicaciones) y externos (pluviosidad, temperatura, irradiancia, etc.).

9.3 Las microalgas

En virtud del proceso fotosintético, las microalgas y las cianobacterias, microorganismos fotoautótrofos, captan la energía solar y la transforman en energía química (poder asimilatorio), que a su vez se emplea para la asimilación de formas oxidadas de los bioelementos esenciales. En este proceso, el CO_2 se transforma en carbono orgánico constituyente de los diferentes compuestos que componen la biomasa, tales como carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos, lípidos, proteínas o ácidos nucleicos. Los electrones que se utilizan para reducir las formas oxidadas de los bioelementos, provienen del agua, cuya fotólisis genera oxígeno (O_2), que se libera a la atmósfera.

De este modo, gracias al fitoplancton, se transforma un compuesto perjudicial para el medio ambiente, como es el CO_2 , en un producto de notable valor y todo ello, de forma natural y sin impacto negativo.

El abanico de aplicaciones de la biomasa es amplio, abarcando sectores como acuicultura, nutrición humana, nutrición animal, agricultura (biofertilizantes) y el energético, entre otros.

La biodiversidad de las microalgas es inmensa, encontrándose ampliamente distribuidas en la biosfera y adaptadas a una gran cantidad de condiciones, pudiendo vivir en lugares con condiciones climáticas suaves o en condiciones extremas de temperatura, salinidad o pH (extremófilas) (Peter J. le B. Williams et al. 2010). Algunos autores sostienen que existen unas 50.000 especies de microalgas (Ritchmond 2004), mientras que otros postulan que pueden ser más de 200.000 o incluso varios millones (Otto Pulz et al. 2004).

Tan extraordinaria diversidad contrasta con el hecho de que un 80% de la producción industrial actual de microalgas está basada en el cultivo de menos de una decena de especies. Por esta razón la bioprospección en microalgas y el desarrollo de nuevos métodos y aplicaciones que posibiliten su explotación es una tarea de vital importancia para el desarrollo de esta biotecnología.

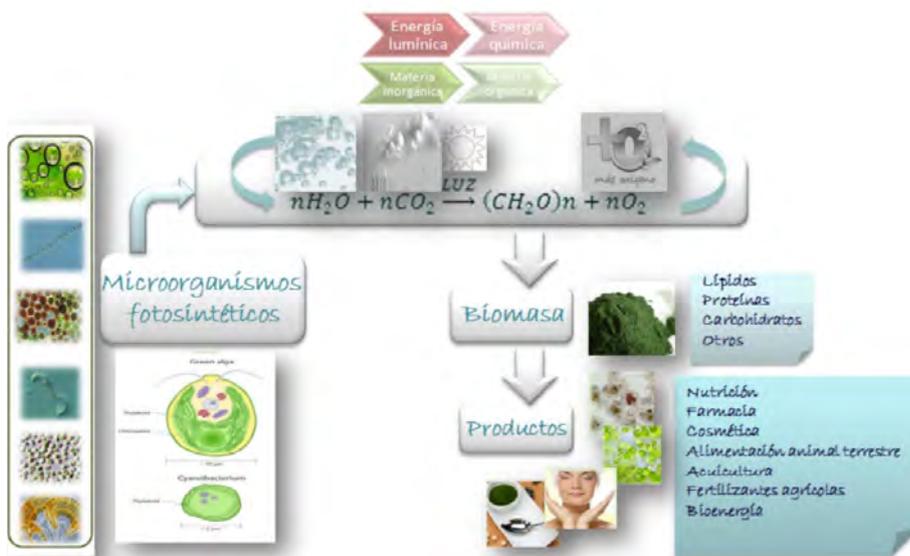


Figura 40. Esquema del ciclo productivo microalgal. Fuente: Elaboración propia AlgaEnergy.



9.3.1 Biofijación de GEI

La eficiencia de fijación de CO_2 de los cultivos intensivos de fitoplancton por unidad de superficie es superior a la de un bosque o zona arbolada. Realizando una comparativa entre ambos sistemas, el balance neto obtenido se representa en la siguiente ilustración:

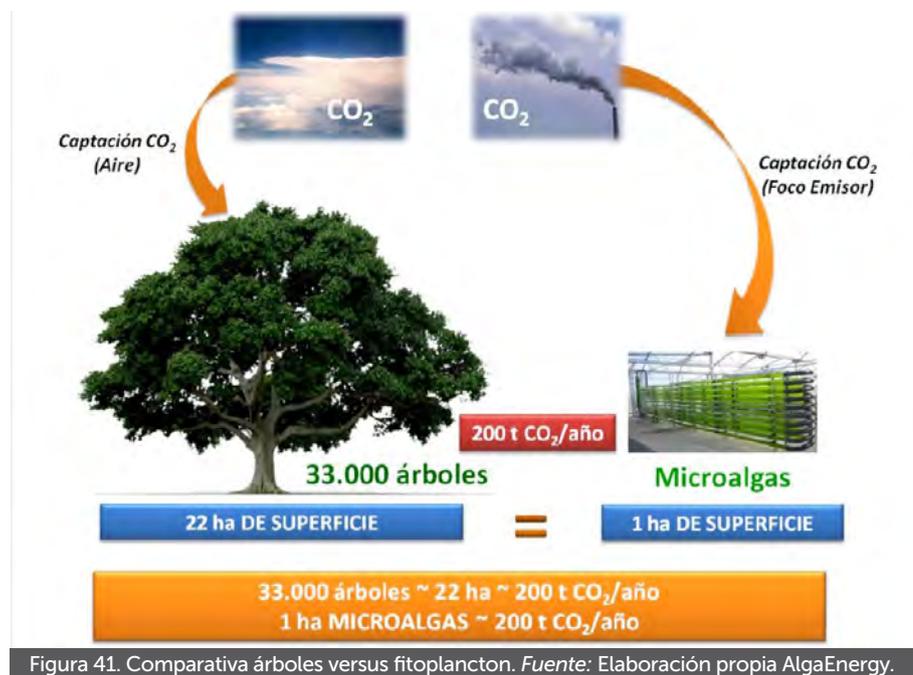


Figura 41. Comparativa árboles versus fitoplancton. Fuente: Elaboración propia AlgaEnergy.

Por tanto, para capturar 200 t de CO_2 anuales, son necesarias 22 ha de terreno de masa forestal, frente a 1 ha de terreno de cultivo de fitoplancton. Otra de las ventajas de la captura de CO_2 por las microalgas, en comparación con otras técnicas de reducción de emisiones, es que pueden asimilar una corriente de gases de combustión sin necesidad de que esta deba ser tratada previamente, siempre que el gas emitido no tenga alto contenido de partículas en suspensión ni de NO_x o SO_x . Además de su toxicidad, estos óxidos en elevadas concentraciones, pueden reaccionar con el agua y provocar la acidificación de los cultivos y la eventual muerte de los organismos. Además de conocer la composición del gas de combustión inyectado, es importante operar los fotobiorreactores de manera controlada y favoreciendo la máxima eficiencia en la captura, inyectando el CO_2 siempre a demanda del cultivo.

9.3.2 Usos y productos

a. Alimentación animal (Acuicultura)

En acuicultura, el alimento de las larvas de peces es el zooplancton, constituido por diminutos animales pluricelulares –básicamente rotíferos o Artemia– que precisan a su vez de una alimentación natural y equilibrada de fitoplancton; solo así se consiguen cultivos piscícolas sanos que no vean alteradas sus propiedades en comparación con los salvajes. Adicionalmente, las microalgas pueden servir como alimento directo de moluscos.

Las microalgas representan una fuente proteica de elevada calidad y contenido en aminoácidos esenciales. Además de aumentar la palatabilidad de las especies animales, las microalgas son también una fuente esencial de ácidos grasos poliinsaturados: EPA (ácido eicosapentaenoico), DHA (ácido docosahexaenoico) y ARA (ácido araquidónico), con un elevado contenido de los mismos, si bien la cantidad absoluta depende de la estirpe concreta y de las condiciones en que se desarrolla su cultivo.

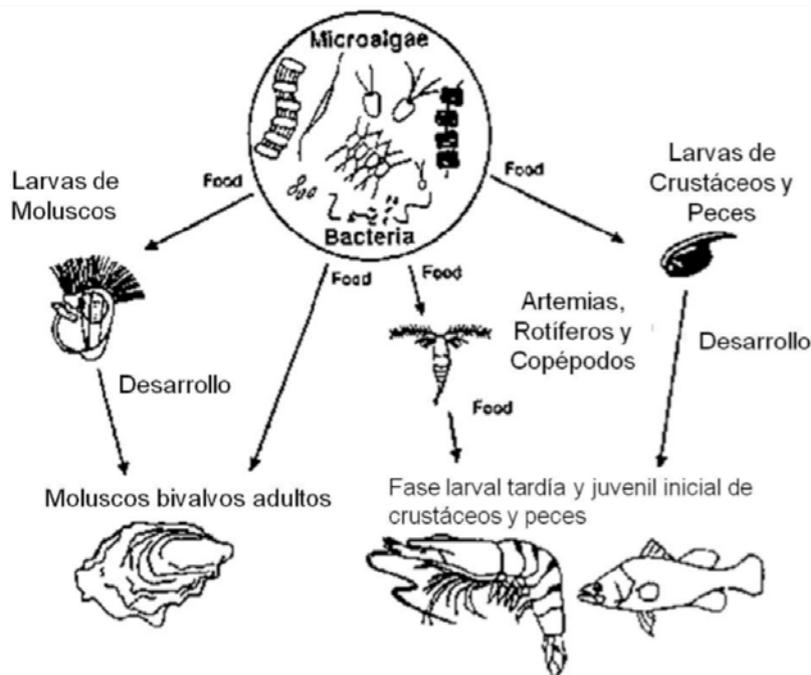


Figura 42. Usos de las microalgas en acuicultura.

(Fuente: Manual of the Production and Use of Live Food for Aquaculture – FAO).



Además de proporcionar alimento al zooplancton, las microalgas también sirven para ayudar a estabilizar y mejorar la calidad del medio de cultivo. De hecho, para numerosas especies, la introducción de fitoplancton en estanques de cría (técnica del agua verde) conduce a mejores resultados en términos de supervivencia, crecimiento e índices de conversión, en comparación con la técnica del agua clara. Las bases de esta diferencia pueden residir en la mejora de la calidad del agua por el oxígeno generado por las algas y estabilización del pH, el mantenimiento del valor nutritivo de las presas vivas, la acción de algunos compuestos excretados, así como diferencias de comportamiento en relación a la captura inicial de presas, la regulación de la población bacteriana, efectos probióticos, y la estimulación del sistema inmune.

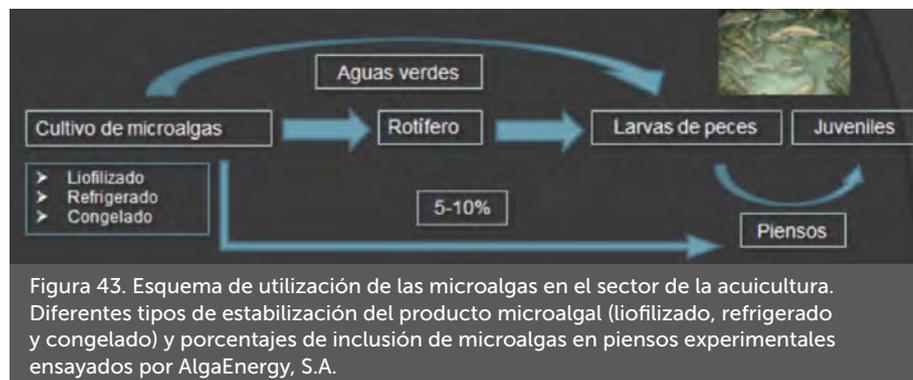


Figura 43. Esquema de utilización de las microalgas en el sector de la acuicultura. Diferentes tipos de estabilización del producto microalgal (liofilizado, refrigerado y congelado) y porcentajes de inclusión de microalgas en piensos experimentales ensayados por AlgaEnergy, S.A.

A pesar de que el fitoplancton es la base de la cadena trófica acuícola, el número de especies que está siendo cultivado a nivel mundial es muy limitado. Una revisión de las principales bases de datos disponibles (ISI Web of Science y ASFA) revela que las especies microalgales para las que existen datos de crecimiento y valor nutritivo superan sólo ligeramente la veintena, de las que casi la mitad son diatomeas. Las revisiones disponibles en este campo (Brown et al., 1989; Brown et al., 1997; Renaud et al., 1999; Volkman et al., 1989; Wikfors y Ohno 2001), además de las búsquedas individualizadas de las microalgas utilizadas para las distintas especies, confirman que el número de especies que son utilizadas en la actualidad en la cría de moluscos, crustáceos y alimento vivo tanto a nivel experimental como a nivel industrial se limitan a las reportadas en los Manuales FAO para el cultivo de moluscos bivalvos en criadero (Helm y Bourne, 2006) y para el cultivo de alimento vivo (Lavens y Sorgeloos, 1996).

Sin embargo, el conocimiento del sector indica que en realidad, el número de especies que se cultivan y utilizan en acuicultura a nivel industrial es aún mucho menor que el

descrito en las revisiones bibliográficas, limitándose a un máximo de 5-6 especies en todo el mundo. Un buen indicador de este hecho se puede encontrar en las especies ofertadas por las principales colecciones de cultivo de microalgas para el sector de la acuicultura. En el caso de la CCAP (Culture Collection of Algae and Protozoa), la oferta para acuicultura se limita a los géneros de flagelados *Isochrysis*, *Pavlova* y *Tetraselmis*, una Criptófita (*Rhinomonas*), dos diatomeas (*Skeletonema* y *Thalassiosira*), y varias cepas de *Nannochloropsis* y *Nannochloris* de aplicación exclusiva en el cultivo de alimento vivo. En el caso de la colección de Roscoff, la oferta para acuicultura es todavía más limitada, incluyendo tan solo dos diatomeas, una criptófita y dos flagelados.

Otra de las razones por las cuales esta fuente nutricional está consiguiendo en el mercado mundial cada vez mayor relevancia es porque no se ve afectada por las importantes fluctuaciones de precios que sufren en el mercado las fuentes proteicas comunes. En efecto, la inclusión de microalgas en piensos para acuicultura, además de aportar una calidad nutricional extra a los mismos, evita parcialmente la dependencia del sector pesquero extractivo y las posibles limitaciones de harinas y aceites de pescado, respetando al tiempo las recomendaciones de la Unión Europea relativas a la Sostenibilidad en Acuicultura.

b. Biofertilizantes

Las microalgas poseen un elevado contenido en aminoácidos y proteínas, por lo que tienen un alto valor añadido como fertilizantes o biofortificantes en el sector de la agricultura (Critchley y Ohno, 1998).

TABLA 36 Fuentes de biocombustibles de 1^a (cultivos tradicionales) vs fuentes de 2^a generación (microalgas) (Prof. Yusuf Chisti –Massey University)

Cultivo	Aceite (l/ha)	Superficie(Mha) ^a
Maíz	172	1.540
Soja	446	594
Jatropha	1.892	140
Coco	2.689	99
Aceite de Palma	5.950	45
Microalgas (20% de lípidos)	35.202	15
Microalgas (40% de lípidos)	70.405	7

a. Para cubrir el 50% del combustible necesario para el transporte en EE.UU.



c. Bioenergía

La producción de biocombustibles líquidos para vehículos (biodiesel y bioetanol), a partir de la biomasa de ciertas microalgas y cianobacterias, se presenta como una alternativa muy prometedora por cuanto su producción representa un proceso sostenible y escalable, que puede a priori utilizar aguas residuales, salobres o marinas y que no compete en ningún caso con la alimentación humana, al no precisar terrenos aptos para la agricultura convencional. En la **Tabla 36** se muestra una comparativa de rendimientos entre cultivos tradicionales y microalgas, en relación a la capacidad de producción de aceites que puedan emplearse para su transformación en biodiesel:

- El **bioetanol** es un biocombustible líquido obtenido a partir de la hidrólisis y posterior fermentación, mediante levaduras, de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo, biomasa microalgal, etc. El bioetanol se produce por fermentación alcohólica de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. Las microalgas pueden representar una alternativa como fuente de carbohidratos para la producción de etanol.
- El **biodiesel** es otro biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales, mediante procesos industriales de transesterificación, y que se aplica como sustituto total o parcial del gasóleo obtenido del petróleo. Como se ha comentado más arriba, algunas microalgas son ricas en lípidos que podrían emplearse como materia prima para su transformación en biodiesel.
- Puede obtenerse **biogás** rico en metano mediante la digestión anaeróbica de biomasa húmeda de diversa procedencia. Los residuos de la biomasa de microalgas tras su tratamiento para la extracción de productos de valor podría servir para la obtención de biogás.

d. Cosmética

Varias especies de microalgas –principalmente y *Chlorella*– son utilizadas en productos de cosmética y cuidado corporal. Reputadas marcas internacionales incluyen ya en sus fórmulas extractos de estos microorganismos unicelulares.

Dichos extractos se presentan en productos destinados al cuidado facial y corporal, en particular cremas anti-edad, productos regeneradores y anti-irritantes. Igualmente se pueden encontrar en productos relacionados con la protección solar, cuidado capilar, colorantes para maquillaje y productos para higiene.

e. Nutrición humana

La composición de las microalgas es idónea para su empleo en alimentación animal y humana. Además de poseer elevado contenido en proteínas, lípidos e hidratos de

carbón, estos microorganismos son ricos en vitaminas, y oligoelementos. La composición en ácidos grasos de algunas especies es óptima, con contenidos elevados de ácidos grasos poliinsaturados omega 3 (Pulz et al.2004; Borowitzka 1995; Masjuk 1973).

Algunas microalgas proporcionan productos con interesantes aplicaciones en el campo de la nutrición humana. Hoy ya tienen mercados de gran volumen *Spirulina (Arthrospira)*, *Chlorella*, *Dunaliella* y *Haematococcus*, las cuales se comercializan en diferentes formatos: tabletas, encapsulados y fluidos líquidos.

No solo tienen gran relevancia como alimento dietético sino que, en algunos casos, cuando la concentración de moléculas específicas es suficientemente elevada, éstas pueden ser aisladas a partir de la biomasa. De esta manera se obtienen productos de alto valor añadido, como son ácidos grasos específicos o pigmentos. Además, está cobrando fuerza el uso de las microalgas como materia prima para la elaboración de los denominados alimentos funcionales.

Entre los compuestos de interés y alto valor añadido que pueden obtenerse a partir de microalgas se encuentran los **carotenoides**, pigmentos liposolubles. Dentro de este amplio grupo son de destacar los siguientes:

- **Betacaroteno:** provitamina con una amplia variedad de aplicaciones.
- **Astaxantina:** con multitud de aplicaciones en productos nutracéuticos, cosméticos y para la industria de alimentos y piensos. Tradicionalmente usado como pigmento en la acuicultura de salmónidos.
- **Luteína:** presenta efectos terapéuticos en la prevención y tratamiento de enfermedades degenerativas asociadas a la edad, en particular la degeneración macular, cataratas y arterioesclerosis. La luteína está catalogada como una de las 10 sustancias "sanas" recomendadas por la FDA norteamericana, por su interés nutricional.

f. Compuestos bioactivos

Algunas sustancias presentes en determinadas especies de microalgas son compuestos activos de gran interés para su uso farmacológico en diversas aplicaciones, tales como antivirales, antibacterianos o antitumorales (Muller-Feuga et al. 2003).

9.4 Cultivo de microalgas

El éxito de la producción de microalgas en cultivos intensivos depende de un conjunto de factores, entre los que se encuentran la eficiencia del fotobiorreactor empleado, la dinámica de fluidos, la automatización y control del proceso de cultivo, el aporte de



nutrientes, el cosechado y la estabilización de la biomasa y, en general, el adecuado diseño de los procesos, así como el control de todos los parámetros determinantes en los sistemas de cultivo, recogida y procesamiento de la biomasa.

Fases de producción:

a. Tecnologías de cultivo

El cultivo de microalgas se lleva a cabo en reactores biológicos, denominados genéricamente **fotobiorreactores**, cuya función es permitir el crecimiento intensivo de las microalgas en medio líquido.

Estos reactores deben estar fabricados con material transparente a la luz solar, tal como vidrio o plástico. Su objetivo principal es albergar los cultivos, que contienen microalgas y los nutrientes necesarios disueltos en agua, pudiendo ser esta última dulce, salobre, salada o, eventualmente, incluso procedente de efluentes industriales o de aguas residuales urbanas.

El cultivo, en sus primeros estadios, está poco concentrado (niveles bajos de densidad celular), pero gracias a la rápida división celular, la concentración de biomasa aumenta progresivamente hasta alcanzar el punto de densidad óptimo, momento en el cual se realiza el cosechado, parcial o total, dependiendo del régimen de cultivo elegido. Los cultivos masivos suelen manejarse en modo semicontinuo o continuo.



Figura 44. Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTM). AlgaEnergy.

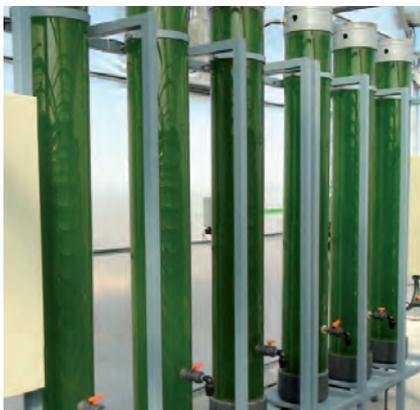


Figura 45. Columnas de Burbujeo. Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTM). AlgaEnergy, S.A.



Figura 46. Fotobiorreactor Tubular Cerrado. Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTM). AlgaEnergy, S.A.

En el actual estado de la técnica, existen diversos tipos de fotobiorreactores, cada uno de los cuales se caracterizan tanto por su diseño como por su eficiencia, en términos de productividad de biomasa y biofijación de CO_2 . A continuación se describen los diseños más implementados en la actualidad:

- **Columnas de burbujeo:** en las plantas de Algaenergy representan el primer eslabón a la intemperie en la cadena de escalado de inóculo. Se trata de reactores verticales cerrados de geometría cilíndrica, construidos en material plástico transparente. Dichas columnas necesitan de una aireación constante para facilitar el mezclado del cultivo, evitar su sedimentación y favorecer la desorción del oxígeno generado en la fotosíntesis. La aireación del cultivo se lleva a cabo por la base de la columna de burbujeo, permitiendo el ascenso libre de las burbujas de aire o CO_2 a lo largo de todo el cultivo.
- **Fotobiorreactor tubular cerrado:** se trata de reactores de alta eficiencia y mayor volumen que las columnas de burbujeo. Están formados por un receptor solar, dónde tiene lugar la fotosíntesis, construido con tubos cilíndricos transparentes y por un desgasificador tipo columna de burbujeo construida con un tubo cilíndrico vertical también transparente. El cultivo es impulsado mediante bombeo o por medio de un sistema airlift, desde la base de la columna de burbujeo a una velocidad determinada, permitiendo que recorra la totalidad del lazo cerrado durante un tiempo de residencia preestablecido. El desgasificador debe estar dimensionado, en altura y diámetro, para asegurar la liberación del O_2 disuelto en el cultivo, antes de que el cultivo vuelva a circular por el lazo.
- **Fotobiorreactor vertical plano:** son fotobiorreactores semiabiertos compuestos de una estructura metálica soporte y una bolsa de material plástico, la cual se alberga en el interior de la mencionada estructura. En la base del fotobiorreactor se suministra un aporte continuo de aire y CO_2 a demanda, que mantiene a su vez el cultivo en constante agitación, favoreciendo la mezcla y su homogeneidad y evitando la sedimentación de la biomasa. Además, la aireación facilita la liberación del oxígeno, disuelto en el cultivo, a la atmósfera.
- **Estanque (reactor tipo raceway):** son reactores abiertos, donde el cultivo circula en circuito cerrado, con bajos valores de concentración de biomasa, inferiores a las usuales en los fotobiorreactores anteriormente descritos. Este sistema está expuesto a contaminaciones y a diluciones en caso de lluvia; por otro lado, el nivel de cultivo no puede sobrepasar una determinada altura, ya que, de lo contrario, la radiación no llegaría a todas las células, de forma homogénea. Como consecuencia, las tasas de eficiencia de captación de CO_2 son más reducidas, siendo también inferiores los valores de productividad en términos de generación de biomasa.



Figura 48. Reactor Raceway. Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTEM). AlgaEnergy, S.A.



Figura 47. Fotobiorreactor Vertical Plano. Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTEM). AlgaEnergy, S.A.

b. Nutrientes y condiciones de operación

El medio de cultivo consiste en una solución acuosa de nutrientes, fundamentalmente nitrógeno, fósforo y azufre, que forman parte de formas sólidas (sales sódicas o potásicas) de compuestos en los que estos bioelementos aparecen en sus formas oxidadas (nitrato, fosfato, sulfato). Aunque el carbono puede aparecer en el medio disuelto como carbonato o bicarbonato, la forma en que suele aportarse a los cultivos es como CO_2 gaseoso. El medio se suplementa también con micronutrientes y metales que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las microalgas.

Para proceder a la fase de cultivo masivo, es necesario que los fotobiorreactores se inoculen debidamente con una carga adecuada de biomasa de microalgas previamente desarrollada en un sistema de menor volumen. Es importante que la concentración celular al inicio del cultivo sea suficiente para su adecuado desarrollo, ya que si la concentración celular inicial es baja, el cultivo puede sufrir fenómenos de fotoinhibición.

El proceso suele desarrollarse de forma secuencial, siguiendo un escalado progresivo en términos de volumen, que se inicia en cámara de cultivo iluminada y con temperatura controlada, a partir de cultivos en soporte sólido (agar), que se transfieren inicialmente a tubos o matraces de pequeño volumen. Progresivamente se aumenta el volumen del cultivo inoculado con inóculo concentrado, que se añade al medio de cultivo dispuesto en el correspondiente fotobiorreactor. Para el desarrollo de inóculos en el exterior, la tecnología más habitualmente empleada es la columna de burbujeo.

En el medio acuático donde se desarrollan los cultivos, las microalgas, al igual que las plantas superiores en el medio terrestre, tienen la capacidad de sintetizar materia orgánica a partir de compuestos inorgánicos oxidados y la energía de la luz solar (fotosíntesis). En estas condiciones, y siempre dentro de unos parámetros de temperatura y pH adecuados, las microalgas se reproducen rápidamente por división celular.

El CO₂ a aportar puede provenir de gases de combustión, como son los emitidos por centrales eléctricas de carbón, gas o fuel, calderas alimentadas por gasóleo o gas natural, centrales de cogeneración, etc. En todo caso, cuando se trata de cultivos de microalgas para acuicultura o nutrición humana, debe cuidarse la limpieza del CO₂ que se aporta al cultivo, por lo que en ese caso sólo se recomiendan mezclas gaseosas de composición controlada y calidad garantizada.

Una vez el cultivo ha llegado a su fase de crecimiento óptima se procede a su cosechado.

c. Cosechado

El cosechado consiste en la separación de una parte del cultivo de microalgas para recoger la biomasa de microalgas contenida en el mismo. Habitualmente se realiza diariamente. El cosechado puede realizarse de forma continua durante un determinado número de horas al día o en régimen discontinuo. Es objetivo importante en esta tarea cosechar siempre en el momento más adecuado del día y al valor óptimo de densidad celular.

En épocas de elevada irradiancia solar (mayor energía luminosa incidente), las células del cultivo crecerán más rápidamente, la productividad será mayor y diariamente se podrá cosechar mayor cantidad. Por el contrario, en épocas de baja irradiancia luz solar la cantidad cosechada será menor.

El cultivo extraído de los fotobiorreactores ha de procesarse para separar la biomasa. Cuando se trata de grandes volúmenes, en una etapa intermedia se conduce el medio separado a los depósitos de almacenamiento temporal habilitados a tal fin. Bien directa-



mente, o tras su paso por el depósito, se procede a la concentración del cosechado, cuyo objetivo es retirar la mayor cantidad de agua posible, reduciendo así el volumen a tratar en los posteriores procesos de estabilización y valorización de la biomasa. Los métodos de concentración más extendidos son centrifugación, sedimentación-floculación y filtración, entre otros. Una vez concentrado el cosechado, se obtiene una pasta húmeda, con un contenido en biomasa del 15-20% aproximadamente. Esta pasta o biomasa concentrada es susceptible de ser estabilizada en distintos formatos: refrigeración, congelación o deshidratación, en función de los usos o aplicaciones que se vayan a efectuar a posteriori.

9.5 Cálculo de la huella de carbono

9.5.1 Metodología

Según la EPA (United States Environmental Protection Agency), la huella de carbono es la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera, cada año, por una persona, familia, edificio, organización o compañía.

Este enfoque, aceptado internacionalmente, permite a las organizaciones calcular la huella de carbono de sus productos e identificar oportunidades de reducción de emisiones, consumo de energía y otras materias primas.

Actualmente existen diferentes metodologías y programas para el cálculo de la huella de carbono a nivel corporativo:

- Marco normativo: ISO 14044
- Especificaciones: PAS 2050
- ISO 14067
- WRI-WBCSD-Producto

Para la elaboración del presente estudio se ha implementado la metodología y especificaciones recogidas en PAS 2050. Revisada desde su edición en 2008, la PAS 2050 (2011) es una especificación disponible públicamente, la cual proporciona una metodología de evaluación del ciclo de vida de GEI de bienes y servicios (conjuntamente denominados "productos"). Puede ser utilizada por organizaciones de todo tipo y tamaño, y en cualquier lugar, con el objeto de evaluar el impacto del cambio climático de los productos que ofrecen.

Adapta los principios de análisis de ciclo de vida (ACV) siguiendo la norma ISO 14040/44, analizando únicamente los GEI. El cálculo de la huella de carbono se refiere a las emisiones de GEI que ocurren a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio analizando, considerando:

- Extracción de las materias primas
- Producción
- Distribución
- Uso
- Disposición final

Los límites contemplados en PAS 2050, son:

- Insumos humanos de energía (como por ejemplo, si la fruta se recoge a mano en lugar de por la maquinaria)
- Transporte de los consumidores hacia y desde el punto de compra al por menor
- El transporte de los empleados hacia y desde su lugar de trabajo
- La prestación de servicios de transporte por parte de animales
- Las emisiones debidas a la producción de los bienes capitales a menos que se diga lo contrario mediante requisitos adicionales.

Asimismo, existen dos tipos de alcance que se pueden aplicar al cálculo de la huella de carbono basado en su ciclo de vida:

- ACV “from cradle to grave”: incluye todas las etapas del ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta la gestión de los residuos de fin de vida.
- ACV “from cradle to gate”: incluye únicamente las etapas de extracción, procesamiento y transporte de materias primas y fabricación del producto (hasta la puerta de la fábrica).

En el presente estudio se ha utilizado el alcance de “cuna a puerta” (from cradle to gate) contemplando las etapas que se describen en las líneas siguientes.

Se pretende, por tanto, en el presente estudio, evaluar la huella de carbono correspondiente al proceso de cultivo de microalgas o cianobacterias, con aplicación en el sector acuícola.

9.5.2 *Materiales y métodos*

Según lo anteriormente expuesto, se pretende determinar la cantidad de dióxido de carbono emitida (balance negativo) o biofijada (balance positivo) por cada unidad de peso de biomasa producida. Para su expresión se utilizan unidades de kg CO₂ (equivalentes)/kg biomasa generada.

Con este fin, un equipo pluridisciplinar de ingenieros de diversas especialidades y biólogos del equipo de AlgaEnergy, S.A., han realizado ensayos y mediciones en las instalaciones de la Plataforma Tecnológica de Experimentación con Microalgas (PTM), empleando distintas estirpes de microalgas.



La experimentación se ha llevado a cabo con las siguientes estirpes microalgales, de interés para el sector acuícola:

- ***Isochrysis sp.***: microalga fitoflagelada perteneciente al filo *Haptophyta*, orden *Chrysomonadales*. Es una especie muy rica en ácidos grasos poliinsaturados, por lo que se utiliza en acuicultura tanto para alimentación larvaria o de semillas de moluscos y crustáceos. Es común en hábitats marinos (Kaplan et al. 1986).
- ***Nannochloropsis sp.***: microalga verde del filo *Heterokontophita* que suele estar presente en hábitats marinos. Presenta un elevado contenido en ácidos grasos poliinsaturados, siendo por esta razón que su uso en acuicultura está mundialmente extendido, para alimento de zooplancton, generalmente de acuerdo con la técnica de las aguas verdes.
- ***Tetraselmis sp.***: microalga marina ampliamente usada como fuente de lípidos y aminoácidos. Se comercializa en el sector de la acuicultura para alimentación larvaria y de semillas de crustáceos y moluscos. Microalga verde de forma oval y con cuatro flagelos isodinámicos. Pertenece a la clase *Prasinophyceae*. (Morineau et al, 2001; Fábregas. et al, 2001).

TABLA 37 Perfil de ácidos grasos de *Isochrysis sp.* y *Nannochloropsis sp.*

	<i>Isochrysis sp.</i> (%)	<i>Nannochloropsis sp.</i> (%)
C14	10.5	5
C16	14	22
C16:1n7	18	25
C16:3n4	1.6	
C18:1n9	1.5	4
C18:2n6	2.5	4.2
C18:3n3	2.1	
C18:4n3	10.5	
C20:4n6	3	9
C20:5n3	24	26.8
C22:6n3	7.5	
Otros	4.8	4



Figura 49. Cultivo de microalgas en columnas de burbujeo de 0,1 m³ volumen unitario, ubicadas en la PTEM.

a) Cálculo de la productividad de biomasa

Como se ha indicado anteriormente, para el cálculo de la huella de carbono de diferentes estirpes de microalgas, se han realizado ensayos en columnas de 100 l (preliminares), así como ensayos a escala piloto en reactores de mayor volumen, al objeto de determinar en cada caso la productividad que se alcanza con cada una de las especies objeto de estudio.

Para obtener el valor de productividad volumétrica (expresado como g peso seco biomasa/l-día) se ha seguido diariamente la evolución de la biomasa en los cultivos, habiéndose tenido en cuenta, asimismo, el valor de la tasa de dilución aplicada para mantener el cultivo viable, tras realizar el cosechado de parte del cultivo en cada fotobiorreactor.

Las experiencias se han realizado entre los meses de febrero y septiembre del año 2013, habiéndose efectuado muestreos y medidas de absorbancia diariamente, con el fin de obtener los valores de concentración celular de cada cultivo.

TABLA 38 Perfil de ácidos grasos de *Tetraselmis sp.*

<i>Tetraselmis sp.</i> (%)	
16:0	22,3
16:1	3,7
16:4n3	17,2
18:0	1,0
18:1n9	10,0
18:2n6	5,4
18:3n3	21,4
18:4n6	13,0
20:1n9	1,2
20:3n3	0,7
20:5n3	6,4

Ensayo preliminar en columnas de burbujeo de 100 l

Los ensayos se han realizado empleando seis columnas de burbujeo de 0,1 m³ de volumen unitario, en las que se lleva a cabo la puesta a punto del método de cultivo y generación de cultivo con densidad suficiente para inocular los fotobiorreactores de mayor volumen. Dichas columnas están situadas bajo invernadero y con control de pH mediante inyección automática de CO₂ a demanda del cultivo, mediante un sistema de pH-stato que



abre la válvula de entrada de CO₂ cuando el pH supera un valor prefijado, restableciendo el valor de consigna establecido para el pH óptimo. Los valores de estas variables fueron registrados y controlados en todo momento por un sistema de control, tipo “SCADA”.

Las productividades obtenidas en este sistema, cuyo ensayo ha sido realizado por triplicado, son:

TABLA 39 Valores de productividad de biomasa (g/l-día) para cada una de las diferentes especies ensayadas, de uso habitual en acuicultura

	<i>Nannochloropsis sp.</i>	<i>Isochrysis sp.</i>	<i>Tetraselmis sp.</i>
Productividad (Pb), g/l-día	0,33	0,24	0,32

Ensayo a escala piloto

En el ensayo preliminar, los cultivos se han realizado en columnas de burbujeo, sistemas similares a los empleados en las instalaciones acuícolas. Sin embargo, estos fotobiorreactores, siendo apropiados para la generación de un inóculo de buena calidad, no son los más idóneos para el cultivo microalgal en condiciones de gran volumen. Por ello, se ha escalado el volumen de cultivo y se han utilizado fotobiorreactores planos verticales de 1,5 m₃ de volumen unitario para las experiencias que permitan el cálculo de la productividad de cada especie planteada, en condiciones de producción a escala piloto.

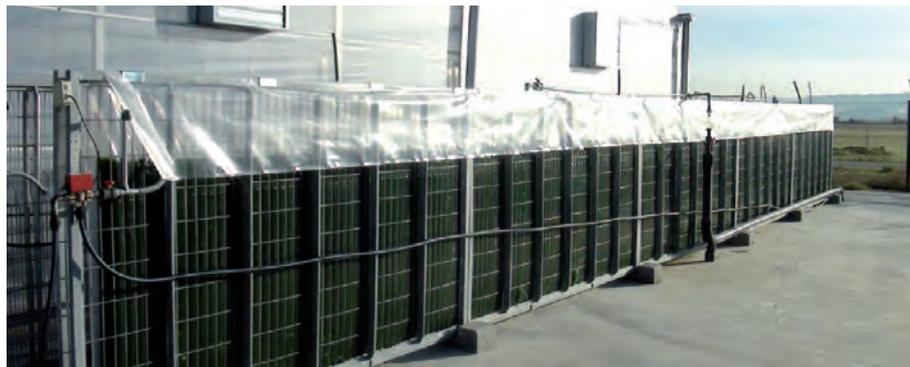


Figura 50. Fotobiorreactores planos verticales de 1.500 l situados a la intemperie (PTEM, AlgaEnergy, S.A.)

Los ensayos se han realizado en la PTEM, a la intemperie y con control de pH mediante inyección automática de CO₂, a demanda del cultivo. Los valores de productividad obtenidos para cada una de las especies, son:

TABLA 40 Valores de productividad) en reactores planos verticales de 1500 l de las diferentes especies ensayadas, de uso habitual en acuicultura

	<i>Nannochloropsis sp.</i>	<i>Isochrysis sp.</i>	<i>Tetraselmis sp.</i>
Productividad (Pb), g/l-día	0,42	0,30	0,40

b) Cálculo de la productividad de captura de dióxido de carbono

Con el fin de evaluar la cantidad real de CO₂ capturada o biofijada por los cultivos de microalgas, es necesario conocer, a partir de los valores de productividad calculados en los apartados anteriores, la relación existente entre generación de biomasa y captura de CO₂.

El análisis elemental de las distintas microalgas empleadas, en una variedad de condiciones experimentales, revela que el carbono representa aproximadamente el 50% de su biomasa seca, conteniendo cada gramo de biomasa alrededor de 0,5 g de carbono. A partir de este valor, y considerando la relación entre el peso molecular del CO₂ y el elemental del carbono, se deriva la cantidad de CO₂ biofijado por cada gramo de biomasa obtenida:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ g biomasa} \rightarrow 0.5 \text{ g carbono} \\ 0.5 \text{ g C} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{12 \text{ g C}} = 1.83 \text{ g CO}_2 \end{array} \right\} 1 \text{ g biomasa} \rightarrow 1.83 \text{ g CO}_2$$

Para la síntesis de 1 g de biomasa seca, han de fijarse 1,83 g de CO₂

Por tanto, a partir de las productividades obtenidas, se procede al cálculo de la cantidad de dióxido de carbono fijada:

TABLA 41 Valores de fijación de CO₂ (g/l-día) de las diferentes especies ensayadas en distintos sistemas de cultivo

Tasa de Fijación de CO ₂ , gCO ₂ /l-día	<i>Nannochloropsis sp.</i>	<i>Isochrysis sp.</i>	<i>Tetraselmis sp.</i>
Columna burbujeo 0,1 m³	0,60	0,44	0,57
RPV 1,5 m³	0,76	0,55	0,72

A partir de la tasa de biofijación de CO₂ y el volumen de cultivo considerado, se obtiene el valor total de CO₂ capturado en cada reactor plano vertical.



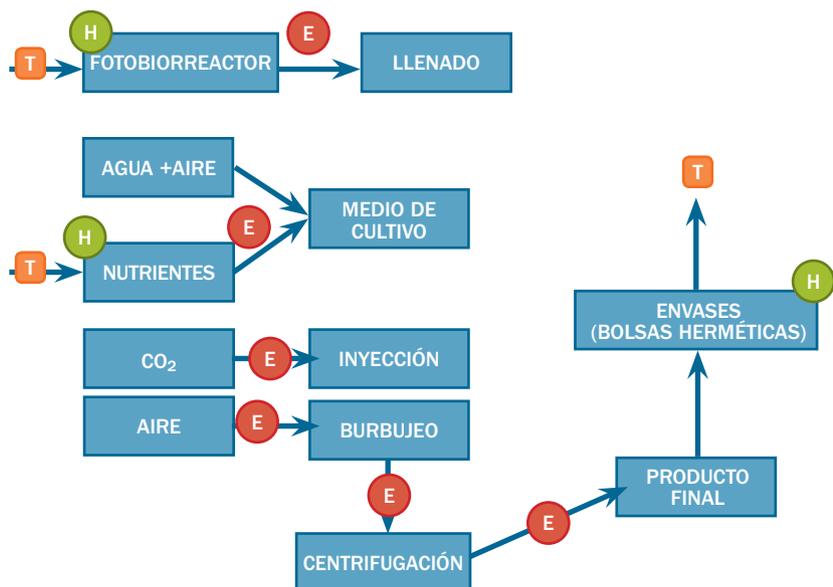
9.5.3 Mapa del ciclo de vida

En este apartado se consideran cada una de las etapas y otros elementos del proceso de producción de microalgas que conllevan producción de CO₂, bien directamente, o en función del consumo energético asociado.

Así, como se puede observar en el siguiente diagrama, una serie de etapas del proceso de producción de biomasa de microalgas requiere energía, a cuya generación se asigna la emisión de CO₂ que le corresponde. Por otra parte, hay un conjunto de elementos que intervienen de manera directa o indirecta en el proceso y cuya producción está asociada a la emisión de CO₂, siendo igualmente necesaria su consideración. Este es el caso de los nutrientes componentes del medio de cultivo o de los envases en los que se almacena la biomasa producida.

La unidad de producto elegida para el cálculo de la huella de carbono es **1 kg de biomasa microalgal seca**.

FIGURA 51 Mapa de ciclo de vida. T: asignación de emisiones por transporte. E: Asignación de emisiones por consumo energético; H: Materias primas y productos que poseen una Huella de carbono asignada en su proceso productivo. AlgaEnergy, S.A.



a) Consumo energético

Para llevar a cabo el cultivo y procesado de las microalgas y cianobacterias, se necesitan, además de los fotobiorreactores, equipos adicionales que permitan llevar a cabo el proceso en su conjunto. Estos equipos basan su funcionamiento en generar energía mecánica a partir de energía eléctrica.

La energía consumida en la planta de cultivo se produce en centrales industriales de generación eléctrica, que, salvo en el caso de energías de carácter renovable o nuclear, operan con combustibles fósiles, con la consecuente liberación a la atmósfera de dióxido de carbono.

Los principales equipos empleados en el proceso de producción de biomasa microalgal y sus funciones, son los siguientes:

- **Bombas soplantes:** equipos capaces de capturar un gas a presión atmosférica y comprimirlo (a baja presión) para suministrarlo mediante inyección directa a los fotobiorreactores. El burbujeo de aire es necesario para mantener los cultivos en continuo movimiento, favorecer la mezcla, evitar la decantación de la biomasa, así como para ayudar a eliminar el oxígeno gaseoso generado por fotosíntesis que se acumula en el cultivo en forma disuelta.
- **Bombas centrífugas de impulsión:** equipos capaces de transmitir la energía necesaria (en forma de caudal y presión) a un líquido con el fin de conseguir su trasiego entre dos puntos. En el caso del cultivo de microalgas, las bombas centrífugas son necesarias para realizar la impulsión del medio de cultivo (agua y nutrientes disueltos), así como la del cosechado.
- **Centrífuga:** equipo tiene el objetivo de concentrar con los sólidos en suspensión presentes en una corriente líquida de entrada, obteniendo a su vez dos corrientes de salida: concentrado y clarificado. Durante el procesado de las microalgas, la centrífuga es un elemento esencial para conseguir que la concentración del producto (biomasa) alcanza valores entre 15-20% (pasta húmeda).

Las experimentaciones llevadas a cabo en la PTEM han permitido calcular el consumo de electricidad de una instalación de cultivo de microalgas en proceso de producción. A partir de los datos obtenidos, se calcula a su vez las emisiones que la correspondiente generación de energía eléctrica conlleva.

El factor de emisión asociado a la generación de energía peninsular publicado por Red Eléctrica de España (REE), tiene un valor de **0,3 kg de CO₂ equivalentes (eq)/kWh**.



Teniendo en cuenta el factor de emisión y el consumo energético⁵, las emisiones asociadas a la generación de 1 kg de biomasa se calculan con la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kWh}} \times \frac{\text{kWh}}{\text{kg biomasa}} = \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg biomasa}}$$

b) Fotobiorreactores

Los fotobiorreactores verticales planos utilizados para la producción de biomasa en el Proyecto están formados por una estructura metálica soporte, en la que se aloja una bolsa de material plástico translúcido que contiene el cultivo. En el presente estudio se considera como fungible el material plástico utilizado, siendo su tasa de reposición de seis meses, debido al “fouling” producido por las microalgas en el interior del fotobiorreactor.

En concreto, en la PTEM, la relación de consumo de plástico es de 0,12 kg material plástico/kg biomasa.

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2006), el factor de emisión para el material plástico utilizado es de **0,00259 kg CO₂ eq/kg material plástico**.

$$\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg mat. plástico}} \times \frac{\text{kg mat. plástico}}{\text{kg biomasa}} = \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg biomasa}}$$

Al igual que sucede en el caso anterior, el peso de material plástico utilizado depende de la productividad de cada especie.

c) Fertilizantes

El medio de cultivo en que se desarrollan las microalgas está formado por agua, con macro y micronutrientes disueltos. Estos nutrientes se adicionan al cultivo en forma de solución acuosa de sales aptas para su posterior consumo por parte de los microorganismos. La producción de estos nutrientes, que son productos químicos de síntesis, conlleva unas emisiones asociadas que se deben tener en cuenta en el cómputo total de emisiones de CO₂.

El gasto medio estimado de nutrientes, común al cultivo de las distintas estirpes objeto de estudio, calculado a partir de datos obtenidos experimentalmente en la PTEM, es de 0,21 kg nutrientes/kg biomasa.

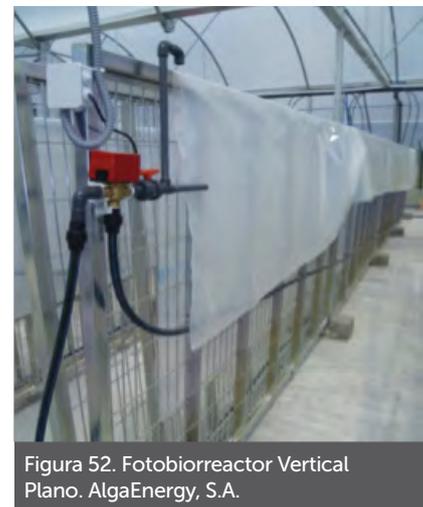


Figura 52. Fotobiorreactor Vertical Plano. AlgaEnergy, S.A.

5. Las microalgas necesitan de un aporte energético permanente. En función de la productividad de la estirpe cultivada, este aporte o consumo eléctrico tendrá un mayor o menor rendimiento; a mayor productividad alcanzada, mayor rendimiento energético, y viceversa.

BLOQUE IV

IX. CULTIVO DE MICROALGAS Y HUELLA DE CARBONO



Figura 53. Bolsas de plástico utilizadas para el almacenamiento de la biomasa.

Según la Agence de l'Environnement et de la Maitrise de L'Energie (ADEME) en 2010, el factor de emisión asignado a los nutrientes es de **1,67 kg de CO₂ eq. por kg de fertilizante**. Por tanto, el valor de las emisiones de CO₂ vinculadas al empleo de nutrientes para el cultivo es de 0,35 kg CO₂/kg de biomasa producida:

$$1,67 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg fertilizante}} \times 0,21 \frac{\text{kg fertilizante}}{\text{kg biomasa}} = 0,35 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg biomasa}}$$

d) Envasado

La biomasa resultante del proceso de cultivo, recogida y concentración se almacena en bolsas de material plástico para su posterior suministro.

De la experimentación llevada a cabo en la PTEM, se ha estimado que son necesarios 0,04 kg de material plástico para el almacenamiento de 1 kg de biomasa.

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2006), el factor de emisión para el material plástico utilizado es de **0,00259 kg CO₂ eq/kg material plástico**.

$$1,0,00259 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg mat. plástico}} \times 0,04 \frac{\text{kg mat. plástico}}{\text{kg biomasa}} = 0,0001 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg biomasa}}$$

9.5.4 Resultados

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se ha calculado la huella de carbono correspondiente a la producción de 1 kg de biomasa de cada una de las microalgas seleccionadas. Los valores obtenidos, se reflejan en las siguientes tablas:

TABLA 42 Cálculo final de la huella de carbono, particularizada para cada elemento, para cada una de las especies estudiadas

	Energía Eléctrica		Nutrientes		Fotobiorreactor		Envasado	
	TOTAL, kWh/kg biomasa	Emisiones, kg CO ₂ eq/kg biomasa	kg nutrientes/kg biomasa	Emisiones, kg CO ₂ eq/kg biomasa	kg mat. plástico/kg biomasa	Emisiones, kg CO ₂ eq/kg biomasa	kg mat. plástico/kg biomasa	Emisiones, kg CO ₂ eq/kg biomasa
Nannochloropsis sp.	9,55	2,86	0,21	0,35	0,08	0,00021	0,04	0,0001
Isochrysis sp.	13,14	3,94	0,21	0,35	0,11	0,00029	0,04	0,0001
Tetraselmis sp.	10,02	3,00	0,21	0,35	0,09	0,00022	0,04	0,0001



TABLA 43 Cálculo final de la huella de carbono para cada una de las especies estudiadas

Resultados			
	TOTAL emisiones, kg CO ₂ eq/kg biomasa	TOTAL consumido, kg CO ₂ /kg biomasa	Huella de Carbono, kg CO ₂ eq/kg biomasa
Nannochloropsis sp.	3,21	1,80	1,41
Isochrysis sp.	4,29	1,80	2,49
Tetraselmis sp.	3,36	1,80	1,56

FIGURA 54 Gráfico resumen de la huella de carbono para cada una de las especies estudiadas

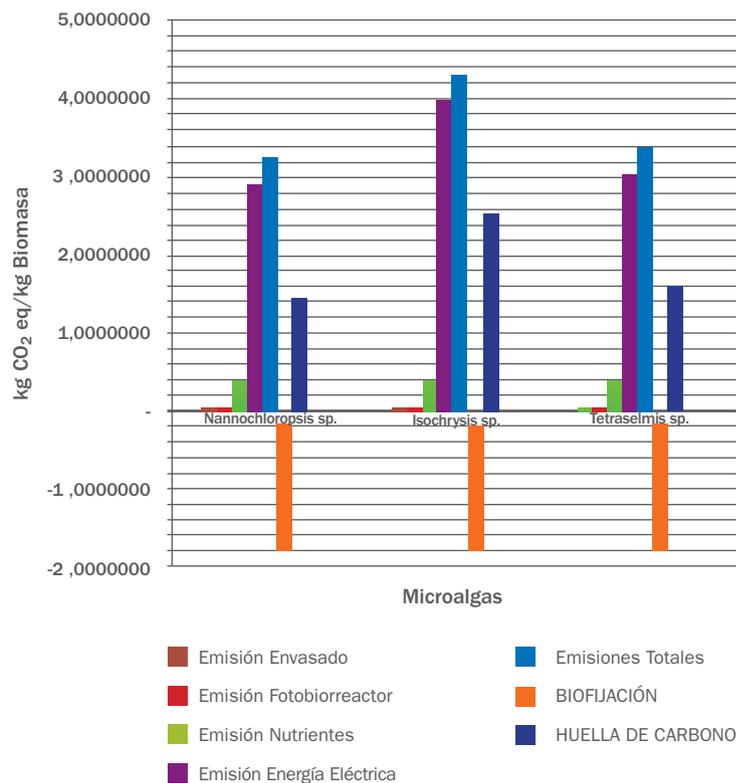
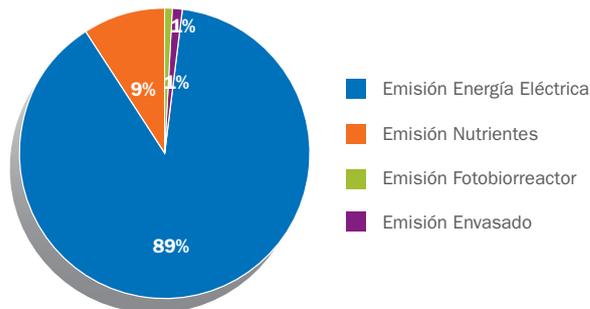


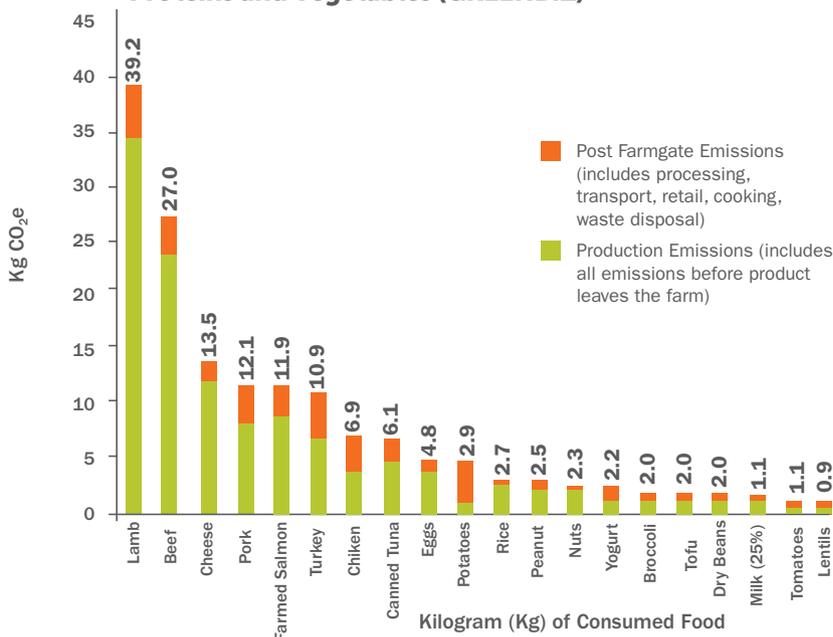
FIGURA 55 Gráfico resumen del porcentaje que representa cada elemento en la huella de carbono para cada una de las especies estudiadas



9.6 Conclusiones

Como se puede deducir de los datos obtenidos, **en el actual estado de la técnica y utilizando energía eléctrica derivada principalmente de combustibles fósiles, las microalgas contempladas en este estudio no podrían considerarse en términos estrictos como especie sumidero**, aunque sí tendrían una reducida huella de carbono en comparación con cultivos tradicionales y otros productos de carácter alimentario:

FIGURA 56 Full Lifecycle Greenhouse Gas emissions form Common Proteins and Vegetables (GREENBIZ)





Los resultados muestran que existe una estrecha relación entre la huella de carbono de las estirpes de microalgas estudiadas y la productividad de las mismas en su fase de cultivo. **A mayor productividad microalgal de los cultivos, el valor de la huella de carbono es menor, y viceversa.**

En trabajos posteriores se prevé **la implantación de medidas correctoras** que reduzcan el consumo, como el cambio en la técnica de procesado de la biomasa, empleando procesos que sean menos costosos energéticamente, tal como la concentración de la biomasa por floculación, así como mejorando las técnicas de cultivo, con aumento de la productividad de los cultivos.

Ha de tenerse en cuenta que estos datos se refieren a la **producción correspondiente a una planta piloto**. Es de esperar que el escalado de la planta resulte en menores consumos energéticos por unidad de biomasa producida. Una vez esté finalizada la puesta en marcha de la planta semi-industrial que AlgaEnergy está construyendo en Arcos de la Frontera (Cádiz) se realizará un nuevo cálculo en la que se prevé que las microalgas cultivadas a gran escala actúen como especie sumidero.

La introducción de sistemas de energías renovables (eólica, fotovoltaica,...) para la generación de la electricidad necesaria para el funcionamiento de las plantas de producción de microalgas, supondría un elemento de extraordinaria influencia sobre el valor de la correspondiente huella de carbono.

9.7 Emplazamientos óptimos para el cultivo de microalgas

La eficiencia y viabilidad, en términos de construcción y operación, de una planta de cultivo de microalgas depende de una diversidad de factores, los cuales han de ser considerados en la toma de decisiones relativa a la selección de la localización o del emplazamiento de la misma. Se han de tener en cuenta dos tipos de factores: **internos y externos**. La relevancia asociada a cada factor será concluyente para determinar los riesgos asociados al desarrollo de este tipo de tecnología, a escala piloto o industrial, en un lugar específico.

Así, el éxito o fracaso de una instalación de cultivo de microalgas depende en gran medida de la idoneidad de la zona en la que se elija cultivar la microalga de interés. Por esta razón, resulta de gran utilidad la consideración de las diferentes zonas de la Península Ibérica aptas a priori para la construcción de una planta de cultivo de microalgas, en relación a los diferentes parámetros que describen su clima y condición geográfica, así como su situación estratégica vinculada a la disponibilidad de fuentes de CO₂ adecuadas.

Se ha realizado la localización de zonas terrestres peninsulares idóneas para el cultivo de microalgas, aunque no se debe olvidar que tecnologías emergentes, aún en fase experimental, contempladas en el actual estado de la técnica (incluyendo algunas de las consideradas por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA) contemplan la superficie marina como potencial zona de cultivo de microalgas. No es, sin embargo, objeto de este estudio la consideración de zonas marinas o portuarias ya que, además de ser tecnologías con desarrollo muy incipiente, en España existen limitaciones de tipo legal y logístico que reducen la posibilidad de abarcar desarrollos industriales en dichas zonas.

En consecuencia, en este estudio se consideran todos aquellos parámetros que puedan influir, en mayor o menor medida, en la determinación de una ubicación terrestre idónea para el cultivo de microalgas en la Península Ibérica. Para ello, se integran los requerimientos de las diferentes cepas con los distintos parámetros determinantes de las zonas estudiadas, así como posibles factores que favorezcan o desfavorezcan en emplazamiento en una u otra ubicación.

9.7.1 Factores internos

Los factores internos se contemplan como factores de tipo secundario, en cuanto a su nivel de importancia se refiere. Si el efecto combinado de los factores externos o principales es adecuado, podrá desarrollarse el cultivo de microalgas en el emplazamiento considerado. Para elegir la especie a cultivar será entonces necesario tener en cuenta todos los factores internos, que dependen en gran medida del mercado al que se destine la biomasa.

En primer lugar, se requiere un análisis específico y detallado de cada uno de los factores que se consideran relevantes en el proceso de la elección de la cepa idónea, en función del uso al que ésta se destine.

Estos factores son:

- a)** Composición bioquímica
- b)** Condiciones de cultivo
- c)** Usos y aplicaciones

Para la recogida y consideración de toda la información referida a cada especie, recopilada tras una rigurosa búsqueda bibliográfica y resultados experimentales propios, AlgaEnergy cuenta con una base de datos, de la que se incluye un aspecto parcial en la siguiente ilustración:



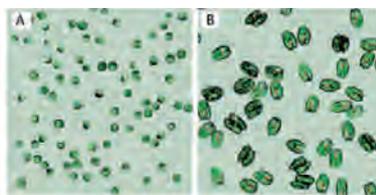
ID	5
Género	<i>Isochrysis</i>
Especie	<i>sp.</i>

pH óptimo	7,80
Tª óptima	22,00 °C

Proteínas	35,40%
Carbohidratos	30,60%
Lípidos	21,50%
Cenizas	12,50%

Haloficidad	1,80 %
Demanda de CO₂	1,83 kg _{CO₂} /kg biomasa
Productividad	0,30 g/l/día

Industria alimenticia	
Industria nutricional	
Industria cosmética	
Industria acuícola	X
Otras Industrias	



C14	11,00 %
C16	14,00 %
C16:1n7	18,00 %
C16:3n4	1,60 %
C18:1n9	1,50 %
C18:2n6	2,50 %
C18:3n3	2,10 %
C18:4n3	10,50 %
C20:4n6	3,00 %
C20:5n3	24,00 %
C22:6n3	7,50 %
Otros	4,80 %
TOTAL	100,00 %

Figura 57. Aspecto parcial de la base de datos de microalgas desarrollada por ALGAENERGY.

a) Composición bioquímica

La composición bioquímica de las microalgas es un factor de vital importancia para la viabilidad y rentabilidad del proyecto a realizar. Este parámetro está estrechamente ligado al factor usos y aplicaciones, ya que dependiendo de su composición bioquímica, la biomasa producida tendrá interés para unos u otros mercados. Cabe destacar, que la composición bioquímica de una microalga o cianobacteria no es constante, ya que depende a su vez de los factores externos, modo de operación, etc. Por tanto, este parámetro también estará afectado por los siguientes factores externos: radiación solar y temperatura y variación térmica.

Los principales componentes de la biomasa de microalgas son proteínas, carbohidratos y lípidos. En condiciones de suficiencia en la nutrición nitrogenada, el contenido en proteínas se aproxima al 50% de la biomasa seca, siendo los correspondientes

a carbohidratos y lípidos variables entre las distintas microalgas, si bien en conjunto suman alrededor del 40% del peso seco total. Cuando la disponibilidad de nitrógeno se encuentra limitada, decrece el contenido proteico, aumentando bien el de carbohidratos, el de lípidos, o ambos.

Algunos componentes de la biomasa presentan especial interés. Entre ellos se encuentran los pigmentos carotenoides (especialmente beta-caroteno, astaxantina y luteína), los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga como los ácidos eicosapentaenoico (20:5n-3, EPA), araquidónico (20:4n-6, ARA) o docosahexaenoico (22:6n-3, DHA)), o las vitaminas (A, B1, B2, B6, C, y E).

b) Condiciones de cultivo

La productividad del cultivo es un factor fundamental a la hora de determinar la especie a cultivar. Junto a la composición bioquímica y, por tanto, a usos y aplicaciones, representa un factor indispensable en la selección de la estirpe. Algunas estirpes de microalgas capaces de sintetizar compuestos de alto valor añadido no pueden explotarse comercialmente en el actual escenario de conocimientos, debido a su baja productividad. Por ello, debe existir un equilibrio adecuado entre los parámetros productividad y composición (o aplicación).

La productividad está estrechamente ligada a los siguientes factores externos: radiación solar, temperaturas y variación térmica y fuente de CO₂.

A través del proceso fotosintético, las microalgas sintetizan compuestos orgánicos de carbono a partir del CO₂. De esta forma, transforman un compuesto potencialmente perjudicial (gas de efecto invernadero) en productos de elevado interés para el hombre, en forma de biomasa. Si la única fuente de CO₂ que se aporta a los cultivos de microalgas es el aire (400 ppm o 0,04% de CO₂), el crecimiento se encuentra limitado por carbono y la productividad del cultivo es muy baja. Los cultivos intensivos de microalgas requieren un aporte extra de CO₂, como puede ser la corriente de gases de combustión emitida por una planta de energía eléctrica que utilice un combustible “limpio”, que al quemarse no genere cantidades sustanciales de óxidos de N o S, tal como una central de ciclo combinado que queme gas natural, la cual genera gases de combustión con un contenido en CO₂ en torno al 4%. Así, puede aprovechar una corriente de gases de combustión para su inyección directa en cultivos de microalgas, aumentando la productividad de los mismos y reduciendo los costes de operación en términos de nutrientes, en paralelo a conseguir una reducción de las emisiones de CO₂.

Es por tanto muy importante contar con una adecuada fuente estacionaria emisora de CO₂ en las proximidades de una instalación de cultivo de microalgas.



La productividad de un cultivo depende en gran medida de la energía solar que recibe, por lo que la irradiancia es un parámetro de extrema importancia. Si bien a bajos valores de irradiancia corresponden valores bajos de productividad, los niveles muy elevados de radiación solar recibida por el cultivo pueden ocasionar problemas de fotoinhibición, disminuyendo la eficiencia de la instalación. Por ello, es muy importante conocer el efecto de la irradiancia sobre las cepas de interés, con el fin de evitar efectos no deseados. A este respecto, ha de tenerse en cuenta que, independientemente de la irradiancia que incide sobre el cultivo, el valor determinante a efectos de crecimiento y productividad es la irradiancia promedio, o nivel de irradiancia que recibe una célula promedio del cultivo, que se afecta también por la geometría del reactor y por la densidad celular.

Cada microalga presenta una temperatura óptima para su crecimiento, en la que la productividad de sus cultivos alcanzará valores más elevados. Por norma general, suelen tolerar un amplio intervalo de temperatura sin que se llegue a la muerte celular, si bien su productividad se afecta notablemente. Para poder llevar a cabo un buen control del cultivo, es necesario conocer la temperatura óptima de crecimiento de la estirpe en cuestión, así como sus límites inferior y superior.

El intervalo de pH en el que pueden cultivarse las microalgas varía considerablemente dependiendo de la estirpe. Normalmente, son capaces de desarrollarse en márgenes de pH de cierta amplitud, aunque para cada una de ellas existe un valor de pH óptimo, en el que su productividad es máxima. No obstante, pequeñas variaciones de pH, aunque no ocasionen la muerte del cultivo, pueden provocar reducciones sustanciales de la productividad del mismo. Por esta razón es de gran importancia mantener un riguroso control de este parámetro.

En la generalidad de los cultivos masivos de microalgas, el suministro de CO_2 se modula en función del pH del medio, de manera que se utiliza un sistema de pH-stato, que controla una válvula solenoide que se abre o cierra en función del pH del medio. El consumo de carbono inorgánico por fotosíntesis provoca una subida de pH, cuando el valor de éste sube sobre un valor prefijado (que suele corresponder al del pH óptimo de la microalga) se inyecta CO_2 al cultivo hasta recuperarse el valor de consigna, en cuyo momento se cierra la válvula solenoide, cesando el aporte de CO_2 .

Es importante conocer cuáles son los nutrientes y las concentraciones idóneas de los mismos en las que deben estar presentes en el medio de cultivo de las diferentes cepas que se pretendan cultivar. Cuando se trata de producciones de gran volumen, estas cantidades deben de estar estrictamente ajustadas, para no incurrir en un incremento adicional de los costes de producción.

BLOQUE IV

IX. CULTIVO DE MICROALGAS Y HUELLA DE CARBONO

Se pueden hallar microalgas en cualquier tipo de ecosistema: hipersalino, salino, aguas salobres y dulces. Cada una de las cepas que se pretendan cultivar puede presentar diferentes requerimientos salinos.

El agua del lugar donde se establezca el cultivo debe de tener unas características de salinidad acordes a la demanda propia de la cepa a cultivar. De no ser así, implicaría un aumento de los costes por la adición o retirada de sal del medio.

c) Usos y aplicaciones

Este parámetro se considera importante como factor post-selección ya que, en base a la información recopilada en este apartado, es posible identificar cuáles van a ser los objetivos, usos y mercados a los que se dirigirá la biomasa producida en la instalación diseñada.

Como ya se ha comentado, los usos y aplicaciones de la biomasa microalgal están relacionados con el factor interno de composición bioquímica. En función de la orientación comercial que se le quiera dar a la biomasa, se debe realizar la selección de la estirpe.





9.7.2 Factores externos

Se consideran factores externos o primarios aquellos que dependen de las condiciones climatológicas e industriales de la zona. Es decir, son aquellos factores sobre los que se va a clasificar el conjunto de la Península Ibérica, dividiendo el territorio en zonas óptimas y zonas de implantación. Estos factores pueden estar vinculados a los factores internos mencionados anteriormente o ser independientes de ellos. De entre todos los parámetros considerados, se tendrán en cuenta para el modelo que se desarrolla en el presente estudio, los siguientes:

a) Pluviosidad

Es la cantidad de lluvia que recibe una zona en un periodo determinado de tiempo. Los niveles de pluviosidad de una zona son influyentes debido a valores elevados de este parámetro suelen corresponderse con bajos valores de irradiancia, y por tanto, de productividad.

Además, este factor deberá ser tenido en cuenta cuando en la instalación existan reactores abiertos, lo cuales podrían tener problemas de dilución del cultivo en caso de que la zona de implantación se caracterice por elevados índices de pluviosidad.

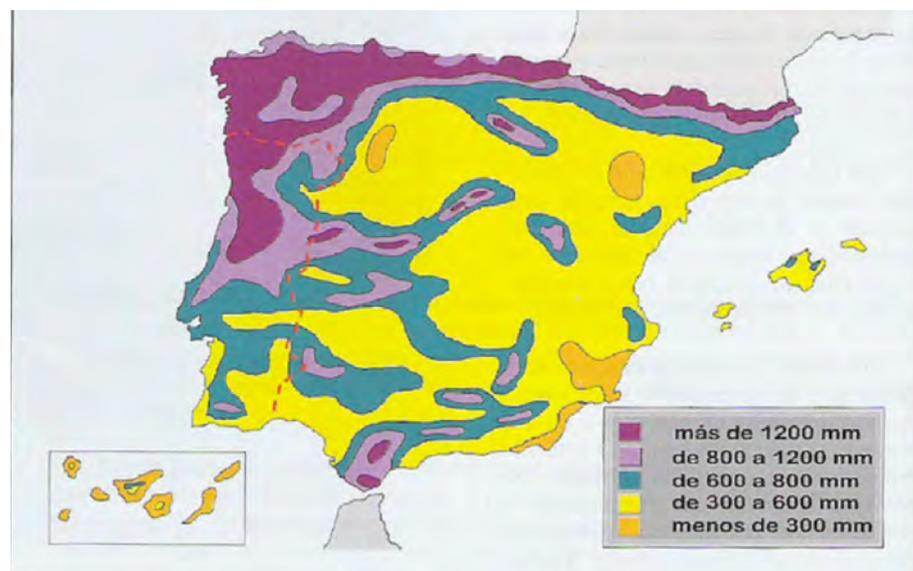


Figura 58. Distribución de las precipitaciones en la Península Ibérica.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

b) Temperaturas y variación térmica (temperatura máxima, mínima y media; variaciones medias)

Este factor tiene una fuerte incidencia con el control de temperatura en la instalación. Para el cultivo microalgal son preferibles pequeñas oscilaciones de temperatura a lo largo del año, entre los valores más elevados de verano y los más bajos invernales. Es recomendable un clima templado, con temperaturas que no sean extremas.



Figura 59. Media anual de la oscilación térmica diaria en la Península Ibérica.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional.



c) Radiación solar (tasa diaria y tasa anual)

Es ventajoso, a priori, implantar las instalaciones de cultivo de microalgas donde los valores de radiación solar sean máximos (sur de la Península Ibérica, entre 1.700 y 2.000 kWh/m²·año).



Figura 60. Mapa de irradiancia (kWh/m²) de la Península Ibérica.
Fuente: Photovoltaic Geographical Information System, Comisión Europea.

d) Disponibilidad de agua

Los cultivos de microalgas son de naturaleza acuosa, siendo necesario un considerable aporte de agua. Es posible trabajar con distintas bases acuosas, entre las que podemos destacar las que siguen:

- **Aguas residuales industriales y/o agrícolas:** poseen nutrientes disponibles en solución (amonio, nitrato, fosfato). Escasamente apropiadas para la producción de biomasa con fines alimentarios (nutrición humana o animal).
- **Aguas procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR):** la posible presencia de toxicidad o microorganismos en este tipo de aguas limita los campos de aplicabilidad de la biomasa obtenida exclusivamente a fines energéticos, excluyendo la utilización para alimentación humana y/o animal.
- **Aguas marinas o salobres:** adecuadas para el cultivo de estirpes marinas.
- **Agua dulce:** en el caso de desarrollar cultivo de microalgas de estirpes de agua dulce, como es obvio, se tratará de la base acuosa más apropiada. En el caso de cultivos de especies marinas es necesario aportar las correspondientes sales al agua dulce.

e) Focos de emisión estacionarios de CO₂

Como ya se ha indicado anteriormente, es preferible aprovechar directamente una corriente de gases de combustión para su inyección en cultivos de microalgas como nutriente principal de estos microorganismos. Por lo tanto, es prioritario situar el emplazamiento del cultivo de microalgas en las cercanías de una fuente estacionaria emisora.

Las principales fuentes emisoras estacionarias de gases de combustión son las centrales de generación eléctrica basadas en la quema de combustibles fósiles. Los compuestos emitidos como resultado de la combustión dependen tanto del tipo de combustible como de la tecnología empleada. Las centrales habituales de generación energética en la Península Ibérica y que desprenden emisiones, son las centrales térmicas con quema de carbón, fuelóleo o gas natural (centrales de ciclo combinado o centrales de cogeneración).

f) Otros factores

Adicionalmente, y en un orden terciario de importancia, se podrían llegar a considerar los siguientes factores externos:

- Tipo de terreno
- Extensión o superficie de la instalación
- Contaminación del terreno
- Altitud del terreno
- Factores socioeconómicos



9.7.3 Particularidades del sector acuícola

Como ya se ha considerado anteriormente, uno de los parámetros principales que debe considerarse en la localización de un emplazamiento óptimo de cultivo de microalgas, es la aplicación y segmento de mercado al que se dirigirá la biomasa microalgal producida. En el caso de que esta biomasa se destine al sector acuícola, marco en el que se desarrolla este estudio, deben considerarse los siguientes factores:

- La fuente de gases de combustión empleada debe ser lo más “limpia” posible. Es decir, las emisiones que se utilicen como nutriente principal en el cultivo de microalgas (fuente de CO_2), no deben contener concentraciones elevadas de NO_x , SO_x ni partículas en suspensión. Por ello es conveniente que la fuente emisora sea una central en la que el combustible utilizado sea gas natural. El gas natural está exento en azufre, por tanto, los gases resultantes del proceso de combustión están libres de sus derivados, si bien pueden contener cantidades traza de este compuesto debido a la adición de mercaptanos al gas natural, originalmente inodoro, como odorizante. Asimismo, no existen partículas en suspensión en los humos, al carecer de ellas el gas natural. Por todo esto, se hace viable el uso de una fracción de los gases emitidos para su inyección en los cultivos de microalgas. El contenido en CO_2 está en torno al 4-5%, lo que supone un gas más diluido en CO_2 que los gases de combustión de carbón convencionales. En cualquier caso, puede contemplarse la operación de la planta de cultivo con utilización de CO_2 sintético, cuya pureza garantiza la inexistencia de las sustancias indeseables anteriormente comentadas.
- Del mismo modo, la disponibilidad del agua es uno de los factores clave. Aunque la utilización de aguas residuales como base acuosa en la composición del medio de cultivo puede reducir sensiblemente el coste de operación de la instalación, debido a los nutrientes ya contenidos en este tipo de aguas, se desaconseja su empleo en el caso considerado, ya que puede perjudicar el estado y pureza de la biomasa microalgal obtenida.
- El tipo de tecnología empleada para el cultivo de microalgas es importante cuando el sector de aplicación es el acuícola, ya que la biomasa debe tener una elevada calidad, lo cual se consigue únicamente en determinados fotobiorreactores, concretamente en fotobiorreactores tubulares cerrados y fotobiorreactores verticales planos semiabiertos. Estos reactores biológicos permiten obtener biomasa de excelente calidad debido al reducido o nulo nivel de contaminación. La buena eficiencia de estos reactores permite conseguir óptimas productividades con excelente y constante perfil bioquímico de la biomasa.

9.7.4 Resultados

Teniendo en cuenta todos los factores anteriormente descritos y la importancia relativa de cada uno de ellos, se resaltan como de mayor influencia en la selección del emplazamiento óptimo los siguientes:

- **Radiación solar:** considerando el territorio peninsular, y como se ha indicado anteriormente, se seleccionan en el presente estudio las localizaciones con tasas de irradiancia entre 1.700 y 2.000 kWh/m²-año, es decir, las situadas al sur de la Península Ibérica:



Figura 61. Mapa de irradiancia (kWh/m²) de la Península Ibérica.

Fuente: Photovoltaic Geographical Information System, Comisión Europea.



- **Focos de emisión estacionarios de CO₂:** una vez seleccionado el sector con mejores tasas de radiación solar, los emplazamientos deben quedar definidos por la cercanía con una central de generación eléctrica que permita el aprovechamiento de los gases de combustión.

9.7.5 Conclusiones

- Algunas zonas del territorio español cuentan con excelentes condiciones climáticas para la implantación de plantas de cultivo de microalgas, principalmente aquellas situadas en la región meridional de la Península Ibérica.
- Para la óptima localización del emplazamiento de una planta de cultivo de microalgas han de tenerse presente los factores internos y externos descritos en el presente estudio.
- De entre los factores considerados para el caso de la Península Ibérica resultan especialmente determinantes tanto la radiación solar como la existencia de focos estacionarios de emisión de CO₂.

Además de localizar emplazamientos óptimos para la implantación de plantas de cultivo, para que España pueda conseguir estar a la cabeza del desarrollo industrial de la biotecnología de microalgas deben enfrentarse los siguientes retos:

- Crear plantas de producción de microalgas de escala suficiente para su aplicación específica a procesos de abatimiento y secuestro de CO₂ (y componentes tóxicos) de gases de combustión de grandes industrias emisoras (cementeras, refinerías, vidrieras, centrales térmicas, etc.).
- Integrar empresas de cultivos marinos (peces, crustáceos y moluscos) y de energías renovables convencionales en la producción de biocombustibles y energía hidráulica marina a gran escala. Siendo necesario fomentar el desarrollo de una acuicultura y cultivos marinos intensivos sostenibles y versátiles.
- Desarrollar plantas de producción de microalgas para aplicaciones de alto valor añadido en territorio español, impulsando el desarrollo de un nuevo sector industrial y la generación de nuevos puestos de trabajo asociados al mismo.
- Avanzar en el acceso a la mayor fuente de biodiversidad de moléculas inéditas que aún están por explorar en el planeta (microalgas y cianobacterias) a efectos de potenciar las industrias biomédica, nutracéutica y dermocosmética.
- Alcanzar la competitividad tecnológica de este sector de tanto potencial, a nivel internacional.

REFERENCIAS

Borowitzka, M.A. (1995). Microalgae as source of pharmaceuticals and other biologically active compounds. *Journal of Applied phycology* 7, 3–15.

Brown, M. R., Jeffrey, S.W., Volkman, J.K. and Dunstan, G. A. (1997). Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture* 151, 315-331.

Brown, M. R., Jeffrey, S. W. and Garland, C. D. (1989). Nutritional Aspects of Microalgae used in Mariculture; a literature Review. CSIRO Marines Laboratories Report 205.

Fábregas J, Otero A, Domínguez. A, Patiño M. (2001). Growth rate of the microalga *Tetraselmis suecica* changes the biochemical composition of *Artemia* species. *J Mar Biotechnol* 3:256–263.

Helm, M.M. and Bourne N. (2006). Cultivo de Bivalvos en criadero. Un manual práctico. FAO Documento Técnico de Pesca 471. FAO, Roma, 184 pp.

Kaplan, D. (1986). Optimal growth conditions for *Isochrysis galbana*. *Biomass* 9. 37-34.

Lavens, P. and Sorgeloos, P. (1996). Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper 361, Rome, FAO, 295p.

Masjuk, N.P. (1973). Morphology, taxonomy, ecology, geographical distribution and utilization of *Dunaliella*. Naukova, Kiev.

Morineau, T.O., Legentilhomme, P., Jaouen, P., Lepine B. and Rince Y. (2001). Influence of a swirl motion on the interaction between microalgal cells and environmental medium during ultrafiltration of a culture of *Tetraselmis suecica*. *Biotechnology Letters*, 23: 1539-1545.

Muller-Feuga, A., Moal, J. and Kaas, R. (2003). The microalgae for aquaculture. In: Stottrup J.G. and Mc Evoy, L.A. (eds) *Life feeds in marine aquaculture*. Blackwell, Oxford.

Pulz, O. and Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology* 65, 635-648.

Renaud, S. M., Thinh, L. and Parry, D. L. (1999). The gross chemical composition and fatty acid composition of 18 species of tropical Australian microalgae for possible use in mariculture. *Aquaculture* 170: 147-159.



Richmond, A. (2004). Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phy-cology. Blackwell Science Ltd.

Volkman, J.K., Jeffrey, S.W., Nichols, P.D., Rogers, G.I. and Garland, C.D. (1989). Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 128: 219-240.

Wikfors, G. H. and Ohno, M. (2001). Impact of algal research in aquaculture. *Journal of Phycology*. 37: 968-974.

Williams, P.J.B. and Laurens, L.M.L. (2010). Microalgae as biodiesel & biomass feeds-tocks: Review & analysis of the biochemistry, energetics & economics. *Energy & Envi-ronmental Science* 3: 554-590.





ANEXOS

ACRÓNIMOS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AMTI	Acuicultura multitrófica integrada
CFC	Clorofluorocarbonos
CMCCNU	Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas
EROI	Energy Return On Investment
FAN	Floraciones Algales Nocivas
FAO	Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación
FEAP	Federación Europea de Productores de Acuicultura
FMAM	Fondo Fiduciario del Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HC	Huella de Carbono
HFC	Hidrofluorocarbonos
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
MDL	Mecanismo para un Desarrollo Limpio
OECC	Oficina Española de Cambio Climático
PAS	Publicly Available Specification
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

GLOSARIO

El presente glosario esta basado en el publicado en el Cuarto Informe del IPCC de 2007.

➤ **Acidificación del océano:** Disminución del pH del agua de mar por incorporación de dióxido de carbono antropogénico.

➤ **Adaptación:** Iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático. Existen diferentes tipos de adaptación; por ejemplo: preventiva y reactiva, privada y pública, y autónoma y planificada. Algunos ejemplos de adaptación son la construcción de diques fluviales o costeros, la sustitución de plantas sensibles al choque térmico por otras más resistentes, etc.

➤ **Antropogénico:** Resultante de la actividad del ser humano o producido por este.

➤ **Balance de energía:** Diferencia entre los valores totales de energía entrante y saliente del sistema climático. Si el balance es positivo, se produce un calentamiento; si es negativo, sobreviene un enfriamiento. Promediado a nivel mundial y durante largos períodos de tiempo, este balance ha de ser igual a cero. Como el sistema climático obtiene virtualmente toda su energía del Sol, un balance nulo implica que a nivel mundial la cantidad de radiación solar entrante debe ser, en promedio, igual a la suma de la radiación solar reflejada saliente más la radiación infrarroja térmica saliente emitida por el sistema climático. Toda alteración del balance de radiación mundial, ya sea antropogénico o natural, se denomina forzamiento radiativo.

➤ **Biocombustible:** Combustible producido a partir de materia orgánica o de aceites combustibles de origen vegetal. Son biocombustibles el alcohol, la lejía negra derivada del proceso de fabricación de papel, la madera, o el aceite de soja.

➤ **Cambio Climático:** según el artículo 1 de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas, “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

➤ **Cambio de nivel del mar/Aumento de nivel del mar:** El nivel del mar puede cambiar, tanto en términos mundiales como locales, por efecto de:

- i) cambios de conformación de las cuencas oceánicas,
- ii) cambios de la masa total de agua, o

iii) cambios de la densidad del agua. En condiciones de calentamiento mundial, el aumento de nivel del mar puede estar inducido por un aumento de la masa de agua total procedente del deshielo de la nieve y hielo terrestres, o por un cambio de densidad del agua debido al aumento de la temperatura del agua del océano o a una mayor salinidad. El aumento de nivel del mar es relativo cuando el nivel del océano aumenta localmente respecto del terrestre, debido a una elevación del océano y/o al hundimiento de la tierra.

➤ **Ciclo del carbono:** Término utilizado para describir el flujo del carbono (en diversas formas; por ejemplo, como dióxido de carbono) en la atmósfera, los océanos, la biosfera terrestre y la litosfera.

➤ **Clima:** El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años. El período de promediación habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes correspondientes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos.

➤ **Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas:** Fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y rubricada ese mismo año en la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, por más de 150 países más la Comunidad Europea. Su objetivo último es “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático”. Contiene cláusulas que comprometen a todas las Partes. En virtud de la Convención, las Partes incluidas en el Anexo I (todos los miembros de la OCDE en el año 1990 y países de economía en transición) se proponen retornar, de aquí al año 2000, a los niveles de emisión de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal que existían en 1990. La Convención entró en vigor en marzo de 1994.

➤ **CO₂-equivalente:** Una emisión de CO₂-equivalente es la cantidad de emisión de CO₂ que ocasionaría, durante un horizonte temporal dado, el mismo forzamiento radiativo integrado a lo largo del tiempo que una cantidad emitida de un GEI de larga permanencia o de una mezcla de GEI. Para un GEI, las emisiones de CO₂-equivalente se obtienen multiplicando la cantidad de GEI emitida por su potencial de calentamiento mundial para un horizonte temporal dado. Para una mezcla de GEI, se obtienen sumando las emisiones de CO₂-equivalente de cada uno de los gases. Las emisiones de CO₂-equivalente constituyen un valor de referencia y una métrica útil para comparar emisiones de GEI diferentes, pero no implican respuestas idénticas al cambio climático.



➤ **Desarrollo sostenible:** El concepto de desarrollo sostenible se introdujo por primera vez en la Estrategia Mundial para la Conservación (UICN, 1980), y se asienta en el concepto de sociedad sostenible y en la gestión de los recursos renovables. Fue adoptado por la CMCC en 1987 y por la Conferencia de Río en 1992 como un proceso de cambio que armoniza la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y el cambio institucional, y que acrecienta las posibilidades actuales y futuras de satisfacer las necesidades y aspiraciones de los seres humanos. El desarrollo sostenible integra dimensiones políticas, sociales, económicas y medioambientales.

➤ **Dióxido de carbono (CO₂):** Gas que existe espontáneamente y también como subproducto del quemado de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono de origen fósil, como el petróleo, el gas o el carbón, de la quema de biomasa, o de los cambios de uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el gas de efecto invernadero antropogénico que más afecta al equilibrio radiativo de la Tierra. Es también el gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero y, por consiguiente, su potencial de calentamiento mundial es igual a 1.

➤ **Efecto invernadero:** Los GEI absorben eficazmente la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera debido a esos mismos gases, y por las nubes. La radiación atmosférica es emitida en todas direcciones, en particular hacia la superficie de la Tierra. Por ello, los GEI retienen calor en el sistema superficie-troposfera. Este fenómeno se denomina efecto invernadero. La radiación infrarroja térmica de la troposfera está fuertemente acoplada a la temperatura de la atmósfera a la altitud en que se emite. En la troposfera, la temperatura suele disminuir con la altura. De hecho, la radiación infrarroja emitida hacia el espacio proviene de una altitud cuya temperatura promedio es de -19°C, en equilibrio con la radiación solar entrante neta, mientras que la superficie de la Tierra se mantiene a una temperatura mucho más alta, de +14°C en promedio. Un aumento de la concentración de GEI da lugar a una mayor opacidad infrarroja de la atmósfera y, por consiguiente, a una radiación efectiva hacia el espacio desde una altitud mayor a una temperatura menor. Ello origina un forzamiento radiativo que intensifica el efecto invernadero, suscitando así el denominado efecto invernadero intensificado.

➤ **Eficiencia energética:** Cociente entre la energía útil producida por un sistema, proceso de conversión o actividad y su insumo de energía.

➤ **Emisiones antropogénicas:** Emisiones de GEI, de precursores de GEI y de aerosoles aparejadas a actividades humanas, como la combustión de combustibles de origen fósil, la deforestación, los cambios de uso de la tierra, la ganadería, la fertilización, etc.

➤ **Escenario:** Descripción plausible y frecuentemente simplificada de un futuro verosímil, basada en un conjunto consistente y coherente de supuestos sobre las fuerzas originantes y sobre las relaciones más importantes. Los escenarios pueden estar basados en proyecciones, pero suelen basarse también en datos obtenidos de otras fuentes.

➤ **Estrés hídrico:** Se dice que un país padece estrés hídrico cuando la cantidad de agua dulce disponible en proporción al agua que se detrae constriñe de manera importante el desarrollo. En las evaluaciones a escala mundial, se dice frecuentemente que una cuenca padece estrés hídrico cuando su disponibilidad de agua por habitante es inferior a 1.000 m³/año (sobre la base del promedio de la escorrentía por largos períodos). Un indicador de estrés hídrico utilizado también en ocasiones es un volumen de detracción de agua superior al 20% del agua renovable disponible. Un cultivo experimenta estrés hídrico cuando la cantidad de agua disponible en el suelo, y por ende la evapotranspiración real, son menores que la demanda de evapotranspiración potencial.

➤ **Evaluación de impacto (del cambio climático):** Identificación y valoración, en términos monetarios y/o no monetarios, de los efectos del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos.

➤ **Fuente:** Suele designar todo proceso, actividad o mecanismo que libera un GEI o aerosol, o un precursor de un GEI o aerosol, a la atmósfera. Puede designar también, por ejemplo, una fuente de energía.

➤ **Gas de efecto invernadero (GEI):** Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el Ozono (O₃) son los GEI primarios de la atmósfera terrestre. La atmósfera contiene, además, cierto número de GEI enteramente antropogénicos, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, del N₂O y del CH₄, el Protocolo de Kyoto contempla los GEI hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

➤ **Impactos (del cambio climático):** Efectos del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos. Según se considere o no el proceso de adaptación, cabe distinguir entre impactos potenciales e impactos residuales:



- **Impactos potenciales:** Todo impacto que pudiera sobrevenir en relación con un cambio proyectado del clima, sin tener en cuenta la adaptación.
- **Impactos residuales:** Impactos del cambio climático que sobrevendrían tras la adaptación.

➤ **Mitigación:** Cambios y reemplazos tecnológicos que reducen el insumo de recursos y las emisiones por unidad de producción. Aunque hay varias políticas sociales, económicas y tecnológicas que reducirían las emisiones, la mitigación, referida al cambio climático, es la aplicación de políticas destinadas a reducir las emisiones de GEI y a potenciar los sumideros.

➤ **Protocolo de Kyoto:** El Protocolo de Kyoto de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas fue adoptado en el tercer período de sesiones de la Conferencia de las Partes (COP) en la CMCC, que se celebró en 1997 en Kyoto. Contiene compromisos jurídicamente vinculantes, además de los señalados en la CMCC. La mayoría de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos y de los países de economía en transición acordaron reducir sus emisiones de GEI antropogénicos (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre) en un 5% como mínimo por debajo de los niveles de 1990 durante el período de compromiso de 2008 a 2012. El Protocolo de Kyoto entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

➤ **Proyección:** Evolución potencial de una magnitud o conjunto de magnitudes, frecuentemente calculada con ayuda de un modelo. Las proyecciones se diferencian de las predicciones en que las primeras están basadas en determinados supuestos –por ejemplo, sobre el futuro socioeconómico y tecnológico, que podrían o no cumplirse– y, por consiguiente, adolecen de un grado de incertidumbre considerable.

➤ **Resiliencia:** Capacidad de un sistema social o ecológico para absorber una alteración sin perder ni su estructura básica o sus modos de funcionamiento, ni su capacidad de autoorganización, ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio.

➤ **Sumidero:** Todo proceso, actividad o mecanismo que detrae de la atmósfera un GEI, un aerosol, o alguno de sus precursores.

➤ **Vulnerabilidad:** Grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.



Publicado por:



Con la colaboración de:

