

David E. Chibras Guillermo*

Sustentabilidad de la acuicultura en México: perspectivas desde un caso de estudio en la Costa Chica de Oaxaca

Resumen | De cara al actual contexto de crisis socio-ambiental, económica y alimentaria por el que cruza el país, el trabajo evalúa la sustentabilidad de dos procesos de acuicultura. Se utilizan herramientas de modelación ambiental —capacidad de carga ambiental y medición y visualización de flujos de energía y materiales— para comparar la sustentabilidad de la tecnología patentada de cultivo acuícola MultiCo (sistema multitrófico integrado o de incorporación explícita de especies de diferentes niveles nutricionales en el mismo sistema, y desdoblamiento de producción a jaulas flotantes) con el sistema predominante de cultivo acuícola en México (monocultivo intensivo de camarón). Se evalúa la viabilidad ambiental del modelo de transferencia (parques acuícolas) analizando los resultados de la prueba de la tecnología y la modelación de sus objetivos productivos. Al comparar los impactos potenciales por kilogramo producido, la tecnología evaluada resulta menos sustentable que el sistema de monocultivo de camarón. Por otro lado, considerando la capacidad de carga ambiental de los sitios evaluados, se concluye que los objetivos productivos no son viables técnica, económica y ambientalmente. El diseño de un sistema acuícola debe partir de la capacidad de carga del sitio donde se ubique y de sus indicadores de desempeño ambiental y no, esencialmente, de sus proyecciones financieras.

Se concluye que el enfoque en boga de la economía verde no es suficiente para responder ante la crisis ambiental y social del país, ni tampoco a la de nuestros sistemas de producción de alimentos. La acuicultura es un ejemplo de por qué no es correcto plantear proyectos productivos sin consideración previa de los límites ambientales y sociales a nivel local. En ese sentido se considera necesario desarrollar nuevas herramientas que, a partir del diálogo entre diferentes disciplinas, apoyen la toma de decisiones ambientales. El presente trabajo enfocado en el caso de la acuicultura es un ejercicio de dicha naturaleza.

Sustainability of Aquaculture in Mexico: Perspectives from a Case Study in the Costa Chica Region of Oaxaca

Abstract | Bearing in mind the current context of socio-environmental, economic and food crises facing this country, this paper assesses the sustainability of two aquaculture processes.

* Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. **Correo electrónico:** chibras@protonmail.com

We used environmental modeling tools—environmental carrying capacity, and measurement and visualization of energy and material flows—to compare the sustainability of patented MultiCo aquaculture technology (an integrated multi-trophic system, with the explicit incorporation of species from different nutritional levels in the same system, and breaking-up of production in floating cages), against the predominant aquaculture system in Mexico (intensive shrimp monoculture). We assess the environmental viability of the transference model (aquaculture parks) analyzing the results of the technology tests and modeling its production objectives. In comparing the potential impacts per kilogram produced, the technology we assessed proved to be less sustainable than shrimp monoculture. Furthermore, considering the environmental carrying capacity of the selected sites, we conclude that the production objectives are not viable, neither technically, nor economically, nor environmentally. The design of any aquaculture system should thus be based on the carrying capacity of the site where it is to be installed, and on its environmental performance indicators, and not, essentially, on its financial projections.

We conclude that the fashionable approach of green economy is not sufficient to respond to the environmental and social crises in this country, nor to provide a solution for our food-producing systems. Aquaculture is a good example of why it is not sensible to propose production projects without previously considering the local environmental and social limits. In this sense, we consider it is urgent to develop new tools that, building on a dialogue between different disciplines, are capable of supporting environmental decision making. This study, focused on the case of aquaculture, is an exercise of this sort.

Palabras clave | acuicultura – maricultura – sustentabilidad – flujos de energía y materiales – capacidad de carga – Laguna Corralero

Keywords | aquaculture – mariculture – sustainability – energy and material flows – burden capacity – Laguna Corralero

Introducción

EL ENTORNO NATURAL del país se encuentra profundamente dañado: 45% de la superficie del país está afectada por algún grado de degradación del suelo y sólo queda el 50% de la vegetación original del país. En el caso de los factores que afectan a las actividades acuícolas, destaca que 73% de los cuerpos de agua nacionales están contaminados, 22% de las pesquerías están sobreexplotadas y 63% ya llegaron a su límite (Carabias 2012).¹ Por otro lado, México se ubica entre los

¹ Tomando el máximo histórico registrado en 1996 (86.4 millones de toneladas) y los últimos datos de producción del 2010 (77.4 millones de toneladas) la producción pesquera mundial presenta una reducción del 10.4% en el volumen de las capturas (FAO 2012).

países con mayor vulnerabilidad al cambio climático, ya que 15% de su territorio, 68.2% de su población y 71% de su Producto Interno Bruto (PIB) se encuentran altamente expuestos a sus impactos adversos (SEMARNAT 2012).

A la par de esta gran afectación ambiental derivada del desarrollo económico, la pobreza en México continua en aumento: 3.2 millones de personas más entre 2008 y 2010, de acuerdo con las cifras del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval 2013). Actualmente existen en el país más de 53.3 millones de personas en situación de pobreza y 11.5 millones viven en pobreza extrema. En 2012, uno de cada cuatro mexicanos —alrededor de 28 millones de personas— sufrieron pobreza alimentaria, y alrededor de 11,900 personas murieron por causas relacionadas con la desnutrición (Coneval 2013).

En lo que toca a los 557 municipios que registran actividad pesquera y acuícola en México, la situación no es alentadora: 6 de cada 10 personas viven en situación de pobreza y 57% del total de los municipios cuentan con un riesgo nutricional extremo, muy alto y alto; así que, a diferencia de lo que comúnmente se cree, la pesca no garantiza una buena alimentación (Satinelli 2009). Esto se explica, en parte, por la baja capacidad productiva y la dependencia alimentaria del país respecto de las importaciones, lo que se ha reflejado en el aumento constante en los precios (FAO 2011). Estos precios permiten un estimado del valor de los productos, pero reflejan parcialmente —o no reflejan en absoluto— los costos a la sociedad por la degradación ambiental causada por producir dichos bienes (Bringezu *et al.* 2003).

El cultivo de especies acuáticas actualmente es el sistema de producción de alimentos con mayor crecimiento a nivel mundial, con un aumento en la producción de 9.3% en el 2012, y con una tasa media anual de 8% en los últimos 10 años (FAO 2012). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), la acuicultura seguirá creciendo a tasas significativas hasta el 2025, permaneciendo como el sistema de producción de alimento con mayor crecimiento en el mundo. Se plantea que en 2030 habrá un incremento en la demanda de productos pesqueros de 40 millones de toneladas (FAO 2012), lo que supone, entre otras cosas, una oportunidad de negocio y una solución potencial a la difícil situación que enfrentan las comunidades con actividad pesquera y acuícola en nuestro país.

Dentro de la producción pesquera nacional la industria del camarón presenta el mayor desarrollo acuícola y, desde el punto de vista económico, es la principal pesquería nacional. No obstante, según Rodríguez-Valencia *et al.* (2010), el desarrollo de la camaricultura ha producido importantes afectaciones en los ecosistemas estuarinos nacionales, con poca integración y beneficio social. En Sinaloa por ejemplo, se calcula que 583 ha de manglar fueron deforestadas para la construcción de 281 granjas camaronícolas (Ruiz-Luna *et al.* 2008). Esta industria

requiere grandes inversiones para alcanzar economías de escala y rentabilidad, lo que excluye a pequeños productores debido a las barreras de entrada.² Los problemas se ven acentuados por el bajo margen de ganancia (15%) de los sistemas intensivos que además vuelven vulnerables a los productores a enfermedades, a cambios en el mercado y en los costos de los insumos (FIRA 2009).

Actualmente el cultivo de camarón en México se encuentra en una crisis importante debido a la presencia recurrente de enfermedades.³ En Sonora, entre 2009 y 2012 la enfermedad de “Mancha Blanca” redujo la producción de 85,000 toneladas a 35,000 toneladas; y en el 2013 una nueva enfermedad, el síndrome de mortalidad temprana, redujo la producción nacional en 49%, pasando de 100,000 toneladas en el 2012 a 51,000 toneladas en el 2013 (Téllez 2014).⁴

Ante este panorama, cabe preguntarse si la sustentabilidad de una actividad económica puede alcanzarse a través del desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas, confiando en que las tecnologías más sustentables serán elegidas y propagadas por el mercado o, por el contrario, si la sustentabilidad de tal o cual actividad (incluyendo las tecnologías utilizadas) debe considerar diferentes limitaciones ambientales y sociales a diversas escalas, mismas que pueden impactar o incluso restringir la expansión ilimitada de la propia actividad económica.

A continuación se aborda esta problemática con una propuesta de integración de herramientas de modelación ambiental y visualización de flujos de energía y materiales. Partiendo de la experiencia del diseño, construcción y operación de la prueba de la tecnología “MultiCo”, se evalúa la sustentabilidad del sistema en comparación con el monocultivo intenso tradicional, ello considerando sus impactos potenciales por kilogramo producido de cara a la modelación de la capacidad de carga de dos sitios de estudio: las comunidades de La Noria y Minindaca, y Laguna Corralero; dentro del distrito de Jamiltepec, en el estado de Oaxaca en México.

Sistemas estudiados y alcances del estudio

En este trabajo nos limitamos a estudiar el eslabón de la engorda sin considerar

2 El costo de inversión promedio por hectárea de estanquería equipada para cultivo de camarón en la costa de Hermosillo es de \$15,000 USD/ha (FIRA 2009).

3 La presencia de enfermedades surge principalmente por aumentar la concentración de organismos en un área o región específica; los sistemas de monocultivo intensivo son especialmente vulnerables (De Silva 2010).

4 La falta de coordinación y la presencia de otras actividades en la franja costera, propician la pérdida de calidad del agua, la presencia y diseminación de enfermedades y la generación de conflictos entre usuarios, lo que en conjunto tiene efecto en la reducción de la productividad de los estanques y su posterior abandono (FAO, WFP y IFAD 2012).

los procesos previos de la cadena productiva acuícola (como la producción de alimento o semilla) y los procesos posteriores de la cadena de suministro, como su transporte y comercialización hasta el consumidor final. El análisis compara dos sistemas acuícolas con tecnologías contrastantes: por un lado, la tecnología integrada (MultiCo/Desdoblamiento)⁵ y, por el otro, el monocultivo (cultivo de camarón), partiendo de la hipótesis de que la primera tecnología es una alternativa viable en tanto que supone un uso más eficiente de los recursos en comparación con el sistema de monocultivo intensivo de camarón.

Cultivo de camarón

Se utiliza información bibliográfica del informe *Situación Actual y Perspectivas del Camarón en México* de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA 2009), que detalla los insumos utilizados en un sistema de monocultivo de camarón típico de la costa de Hermosillo, Sonora; una granja con una superficie de 100 hectáreas produciendo con estrategia de volumen.⁶

La granja de 100 hectáreas fue sembrada a una densidad de 30 organismos por metro cuadrado obteniendo sobrevivencias del 78% de los camarones. La duración del cultivo fue de 182 días, donde se suministró alimento balanceado consiguiendo un factor de conversión alimenticia⁷ de 2.2 kg, produciendo 560.3 toneladas de camarón, con un rendimiento de 5.6 toneladas/ha (FIRA 2009).

5 En años recientes la idea de la acuicultura integrada ha sido considerada desde un enfoque de "mitigación" del exceso de nutrientes y materia orgánica generada por las actividades acuícolas intensivas. En este contexto, la *acuicultura multitrófica integrada* ha emergido recientemente, donde multitrófico se refiere a la incorporación explícita de especies de diferentes niveles tróficos o niveles nutricionales en el mismo sistema (Soto, FAO 2009). En el proceso existe integración cuando "en una granja los productos de un subsistema, que en otras circunstancias serían desechados, ingresan a otro subsistema, aumentando de esa manera la producción de la tierra y de los cuerpos de agua bajo control del granjero de aquellos productos que para él tienen mayor importancia" (Edwards *et al.* 1988).

6 Consiste en realizar siembras a altas densidades, desarrollar el cultivo y efectuar cosechas parciales con el fin de cosechar camarones desde los 12 gramos de peso hasta los 18 gramos. Al realizar estas cosechas parciales se baja la población en cultivo y se mejoran las condiciones de cultivo logrando cosechas finales con tallas medianas y grandes. Esta estrategia brinda liquidez por la venta del camarón de las cosechas parciales; no obstante, el precio del producto por su talla es menor (FIRA 2009).

7 El factor de conversión alimenticio es un buen indicador de eficiencia en este sector pues nos indica cuántos kilogramos de alimento se requiere para producir un kilo de carne. El pollo por ejemplo tiene una conversión de 4:1 kilos de alimento por uno de producto final, la carne de res 10:1 si se trata de grano y 60:1 si se trata de pasto. Además, el consumo de agua dulce aproximado para producir un kilo de pollo es de 60 mil litros y de 150 mil litros para 1 kg de carne (Soto 2009). Producir un kilo de pescado requiere en promedio 1.6:1 kg de alimento y en el caso de las especies marinas, o resistentes a salinidad como la tilapia, no se utiliza agua dulce que serviría para consumo humano (Soto 2009).

Sistema MultiCo

El sistema acuícola multitrófico integrado y desdoblamiento de producción a jaulas flotantes (MultiCo) fue desarrollado en 2011 para intervenir comunidades altamente marginadas en los alrededores de la Laguna Corralero en el estado de Oaxaca (proyecto “Validación tecnológica de un sistema de policultivo acuícola sustentable y de alta eficiencia enfocado en especies marinas de alto valor -ECO-2010-C01-147232”). El proyecto fue resultado de la colaboración de actores privados con la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), la Universidad Ben Gurion de Israel (UBG) y la Universidad de Arizona (UA). La tecnología quedó sujeta a patente (Chibras *et al.* 2013) y se concibió tomando en cuenta tres elementos principales: 1. Potencial económico de la acuicultura; 2. Oportunidades para nuevas tecnologías acuícolas sustentables en México; 3. Necesidad de oportunidades de desarrollo y de un modelo de transferencia tecnológica para comunidades marginadas costeras de México. En este último punto se pretendió hacer uso de la clusterización⁸ para generar economías de escala, considerando otros casos de éxito en el sector acuícola (De Silva *et al.* 2010). El modelo propuesto de “parques acuícolas” agrega varias unidades productivas con el objetivo de optimizar costos de construcción, seguridad, mantenimiento, regulación, gestión ambiental y suministro. Se generan volúmenes competitivos agregando el esfuerzo de varias unidades productivas, controlando tallas y ciclos de producción dependiendo de las preferencias del mercado. Las unidades se transfieren como negocios “llave en mano” con micro financiamientos a productores locales que arrendan instalaciones y servicios del parque acuícola.

La tecnología multitrófica integrada patentada, contiene dos componentes de innovación fundamentales (Chibras *et al.* 2013):

MultiCo. Policultivo lineal de especies sinérgicas

Técnica de producción secuencial de especies marinas basada en la cadena alimentaria y las necesidades nutrimentales de cada especie. Se aprovechan los nutrientes del desperdicio de una especie para alimentar a otra (alimentos no consumidos, heces, fitoplancton, etc.) (Chibras *et al.* 2013). Las especies se colocan de manera secuencial en contenedores diferentes, donde el flujo de agua pasa de un nivel al siguiente. El agua de descarga de 4 tanques

⁸ Se entiende comúnmente por clúster, a una concentración sectorial y/o geográfica de empresas en las mismas actividades o en actividades estrechamente relacionadas, con importantes economías externas, de aglomeración y especialización —de productores, proveedores y mano de obra especializada, de servicios anexos específicos al sector— con la posibilidad de acción conjunta en búsqueda de eficiencia colectiva

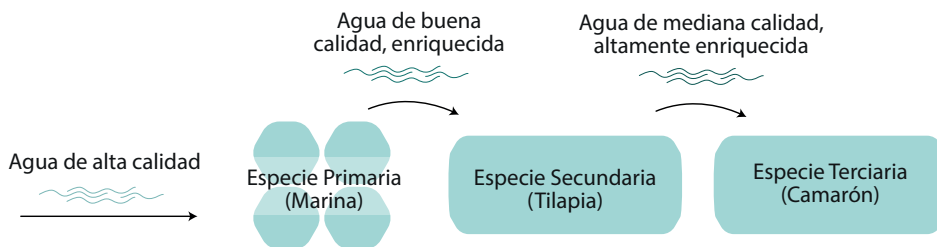


Figura 1. Sistema MultiCo Policultivo sinérgico de especies marinas (Chibras *et al.* 2013).

de la especie primaria (robalo), se aprovecha para abastecer al estanque de la especie secundaria (tilapia), y se introduce en el estanque de la especie terciaria (camarón) antes de salir del sistema (figura 1). El principal beneficio de esta técnica consiste en producir especies secundarias y terciarias aprovechando los insumos de las especies primarias. El aumento gradual en la disponibilidad de materia orgánica generada como desecho por las especies primarias es aprovechado por los organismos ubicados en el siguiente eslabón. Este aprovechamiento gradual se traduce en una reducción esperada de la tasa de conversión alimenticia y por lo tanto de los costos e impactos del alimento procesado (Chibras *et al.* 2013).

Se espera así que a través del policultivo sinérgico se incremente el volumen de producción y se disminuya el gasto al distribuirlo entre las diferentes especies. Además, la integración supone la optimización de la calidad de agua, uso de suelo, ciclo nutrimental y gasto de electricidad.

a) Desdoblamiento externo de la producción a jaulas flotantes en sistemas estuarinos

Consiste en trasladar la engorda de la especie primaria (robalo) de los tanques a jaulas flotantes dentro de sistemas lacustres con el objetivo de externalizar buena parte de los costos de la engorda (luz, bombeo, recambio de agua, entre otros), aprovechando así los “servicios ambientales” de los ecosistemas.

La engorda inicial se desarrolla en instalaciones intensivas en tierra (en los tranques secuenciales MultiCo) donde los peces engordan de 5 g a 50 g. En este punto los organismos son trasladados al sistema semi-intensivo de jaulas flotantes que proporciona los servicios ambientales para soportar la engorda de los peces juveniles hasta la talla comercial (500 g) (Chibras *et al.* 2013). Este eslabón permite reducir considerablemente los costos de energía y mantenimiento en la segunda mitad de la engorda y aumenta la capacidad productiva del sistema, lo que permite liberar las unidades de cultivo de la especie primaria cada 3 meses

en vez de cada 6 meses (como sucede en la mayoría de los sistemas acuícolas) lo que asimismo permite duplicar los ciclos productivos de la tecnología por año.

Alcances de los parques acuícolas

El sistema MultiCo plantea producir 10.2 ton de peces marinos cada tres meses, utilizando 24 jaulas por unidad MultiCo en un área aproximada de 426 m² dentro de la laguna costera. Esto implica que cuatro unidades MultiCo (con 96 jaulas) producirían lo equivalente a la pesca anual de la Laguna Corralero (165 ton/año) y un parque acuícola arrojaría hasta ocho veces la producción anual de dicha laguna (CONAPESCA 2010).

Asimismo, con base en proyecciones financieras, se estima que un parque acuícola comprendería 32 unidades MultiCo con 768 jaulas flotantes. El objetivo planteado para inversionistas y fondos de gobierno fue construir 10 parques acuícolas en 10 años, incluyendo a 6 mil productores que tendrían un ingreso mensual de \$8,500 pesos cada uno.

Se identificaron 240 mil beneficiarios potenciales en 160 comunidades marginadas alrededor de lagunas costeras en Guerrero, Oaxaca y Chiapas (INEGI 2008). En Oaxaca existen 5 lagunas costeras (125,758 ha (Castañeda *et al.* 2003)) con potencial para albergar desarrollos acuícolas, una de ellas es la laguna Corralero, que cuenta con una superficie de 3,158 ha, lo que representa el 3% del potencial total del estado.

La hipótesis del proyecto es que si el sistema propuesto es más sustentable que el sistema acuícola predominante a nivel nacional, la cantidad de impactos potenciales producidos por kilogramo de producto será menor. Así mismo, para considerarse sustentable, esta tecnología y sus objetivos de desarrollo deben estar alineados con la capacidad de carga de los ecosistemas donde se establezcan.

En este trabajo se utiliza el enfoque ecosistémico de la acuicultura (metodología para desarrollar pautas para la acuicultura sustentable) (Soto *et al.* 2008) que ha sido propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) para medir y evaluar la sustentabilidad de los objetivos productivos planteados.

Metodología y resultados

Para el análisis de la sustentabilidad de la tecnología se combinaron diferentes metodologías: medición de flujo de materiales (MFA) y energía (EA) (Brunner *et al.* 2004), selección del sitio (Huguenin 1997) y medición de capacidad de carga (Ross *et al.* 2013). Para manejar la complejidad del análisis se recurrió a tres herramientas diferentes de modelación:

- a) Productiva/tecnológica: AquaFarm (Ernst *et al.* 2000), Universidad Estatal de Oregón. AquaFarm es un software de simulación y soporte en la toma de decisiones para el diseño, planeación y manejo de granjas acuícolas. Incluye simulación de procesos físicos, químicos y biológicos; así como de manejo de las instalaciones y del sistema de cultivo.
- b) Capacidad de carga: CADS_TOOL (Halide H. 2009), basado en los criterios propuestos por John E. Huguenin (1997) y la metodología desarrollada por Halmar Halide (2008) para el Gobierno Australiano (Software for Marine and Freshwater Cage Aquaculture Managers). Este software es una herramienta para calcular la capacidad de carga de cuerpos de agua y para apoyar la selección de sitios adecuados para la instalación de jaulas flotantes para engorda de peces.
- c) Indicadores de desempeño, análisis y visualización de flujos de materiales y energía: Quantrix® (Cubo OLAP también llamados “hipercubos” de cálculo), un software de análisis y modelación multidimensional para toma de decisiones.

Adicionalmente se estimó el flujo de nutrientes considerando el alimento ingresado, basándose en los criterios propuestos por Islam (2005) para el Sistema MultiCo y las Jaulas Flotantes, y Miranda *et al.* (2009) para el cultivo de camarón en el norte de México.

No se realizó físicamente la engorda en jaulas flotantes, ya que la prueba de la tecnología sólo evaluó el primer eslabón con la unidad de tanques integrados en tierra. Por lo anterior, se utilizan proyecciones modeladas en AquaFarm (Ernst *et al.* 2000) para los resultados del cultivo en jaulas y los resultados de la unidad MultiCo para los parques acuícolas.

Medición de flujo de energía y materiales

Según el concepto de “metabolismo social”, las sociedades tienen que enfrentar dos problemas principales: la escasez de recursos, y la capacidad limitada de los ecosistemas para absorber los desechos de la sociedad (Schandl *et al.* 1999). Esto incluye, en el caso de la producción de alimento, nutrición, consumo de oxígeno y agua, excreción, salida de dióxido de carbono y agua, y también la deposición de cuerpos muertos.

El análisis de flujo de materiales y energía, es una evaluación sistemática de los flujos y stocks de materiales y energía dentro de un sistema definido en el tiempo y el espacio, que conecta los recursos, las rutas y los destinos finales de la materia (sumidero) y la energía degradada (Brunner *et al.* 2004). Mientras mayores sean estos stocks, mayor será el flujo futuro de materiales necesarios para reproducirlos y mantenerlos creciendo (Schandl *et al.* 2002). El balance de

entradas y salidas de energía y materiales hace evidentes los flujos de residuos y es posible identificar así la magnitud de los impactos ambientales y las fuentes de origen (Brunner *et al.* 2004). Este balance nos permite dimensionar los costos ocultos de los productos y servicios que consumimos (Gowing *et al.* 2007), apoyando la toma de decisiones en la gestión de recursos naturales, residuos y medio ambiente.

Los flujos se reportan en unidades físicas, usualmente toneladas métricas o joules por año, que pueden unirse conceptualmente con esquemas de medición económica (utilizando diagramas tipo Sankey sustentados con herramientas de visualización basadas en código abierto). La unidad funcional usada comúnmente para pesquería y acuicultura es “impactos potenciales por kilogramo o tonelada”.

El análisis incluye los flujos de energía y materiales para la prueba de la tecnología, la modelación de una unidad MultiCo en el software AquaFarm (Ernst *et al.* 2000) (incorporando las jaulas flotantes) y el sistema de monocultivo de camarón en Sonora, México (FIRA 2009).

Como se muestra en las figuras 2a, 2b y 2c, al visualizar proporcionalmente los flujos ingresados a los sistemas de cultivo, el agua domina sobre el resto de los materiales y energía, impidiendo ver el resto de los insumos y desechos. Los esquemas muestran de izquierda a derecha el sentido del flujo de energía y materiales: 1. Entrada materiales y energía, 2. Tipo y cantidad de insumos, 3. Consumo de insumos por sistema de cultivo (especie), 4. Desechos generados por sistema de cultivo, 5. Salida total de materiales y energía.

En general se ha calculado que el metabolismo de una sociedad industrializada se compone de 85% agua, 8% aire y 7% del resto de los materiales (Schandl *et al.* 1999). En los ejemplos estudiados 99% de los flujos representan agua utilizada para la engorda.

Resultados del flujo de materiales y energía para el sistema de monocultivo intensivo de camarón

En un sistema de monocultivo de camarón intensivo del norte del país (FIRA 2009), para producir un kilo de biomasa se consume en promedio 2.31 kg de insumos (incluyendo alimento) 37.5 toneladas de agua,⁹ generando 1.02 kg de CO₂ y 1.31 kg de desechos, y utilizando 17.2 millones de Joules de energía para mantener la infraestructura intensiva de soporte (principalmente bombeo de agua). Esto implica el ingreso de 874,120 kg de nutrientes de los cuales sólo el 12% es convertido en biomasa y el resto desechado al ambiente, en su mayoría fósforo (Miranda *et al.* 2009):

⁹ El flujo se obtiene con tres bombas de diesel de flujo axial con 36 pulgadas de diámetro y capacidad de 1.5 metros cúbicos por segundo (FIRA 2009).

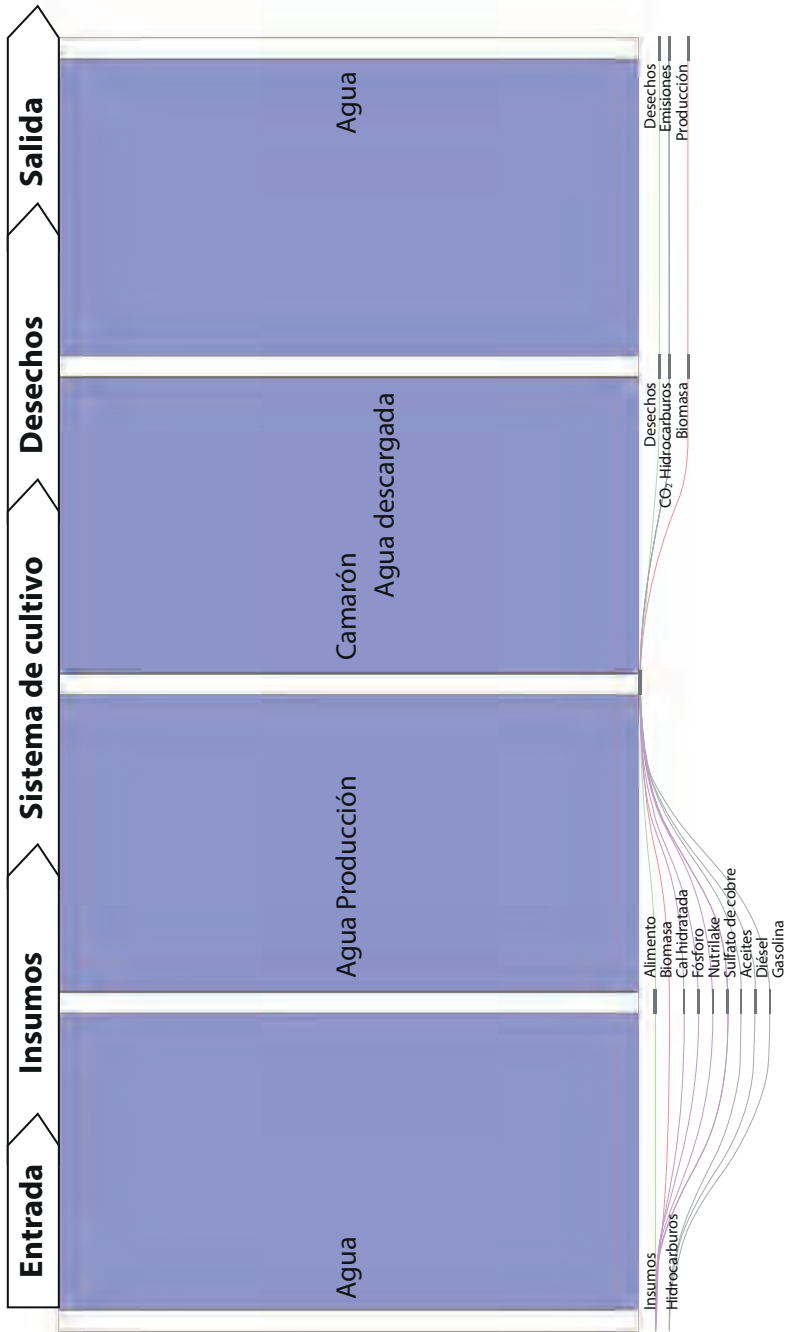


Figura 2a. Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados: Sistema de cultivo de camarón más común en México.*

* El modelo no contempla las pérdidas por evaporación, que llegan a ser importantes en estanques de cultivo de camarón (FIRA 2009).

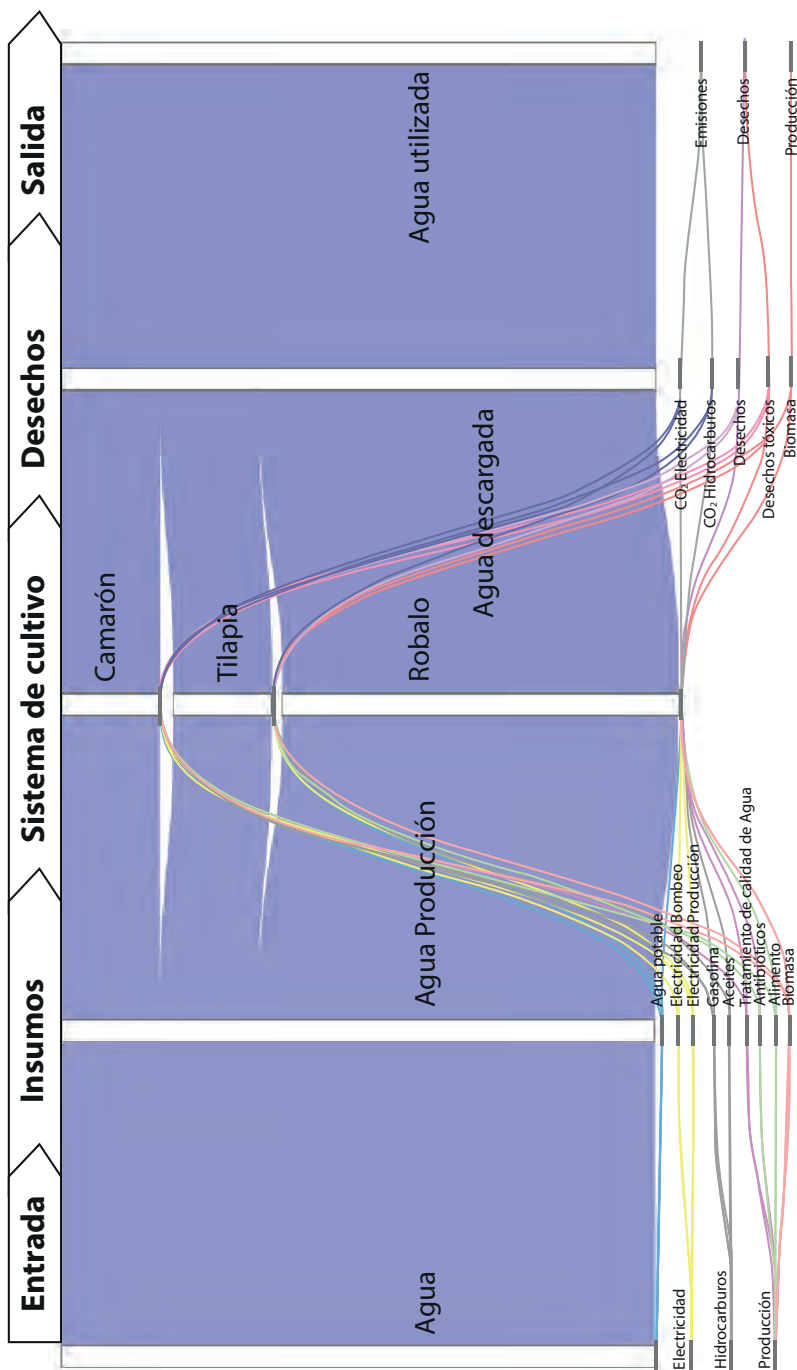


Figura 2b. Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados: Modelación MultiCo con Jaulas Flotantes en Aqua-Farm (Ernst *et al.* 2000).

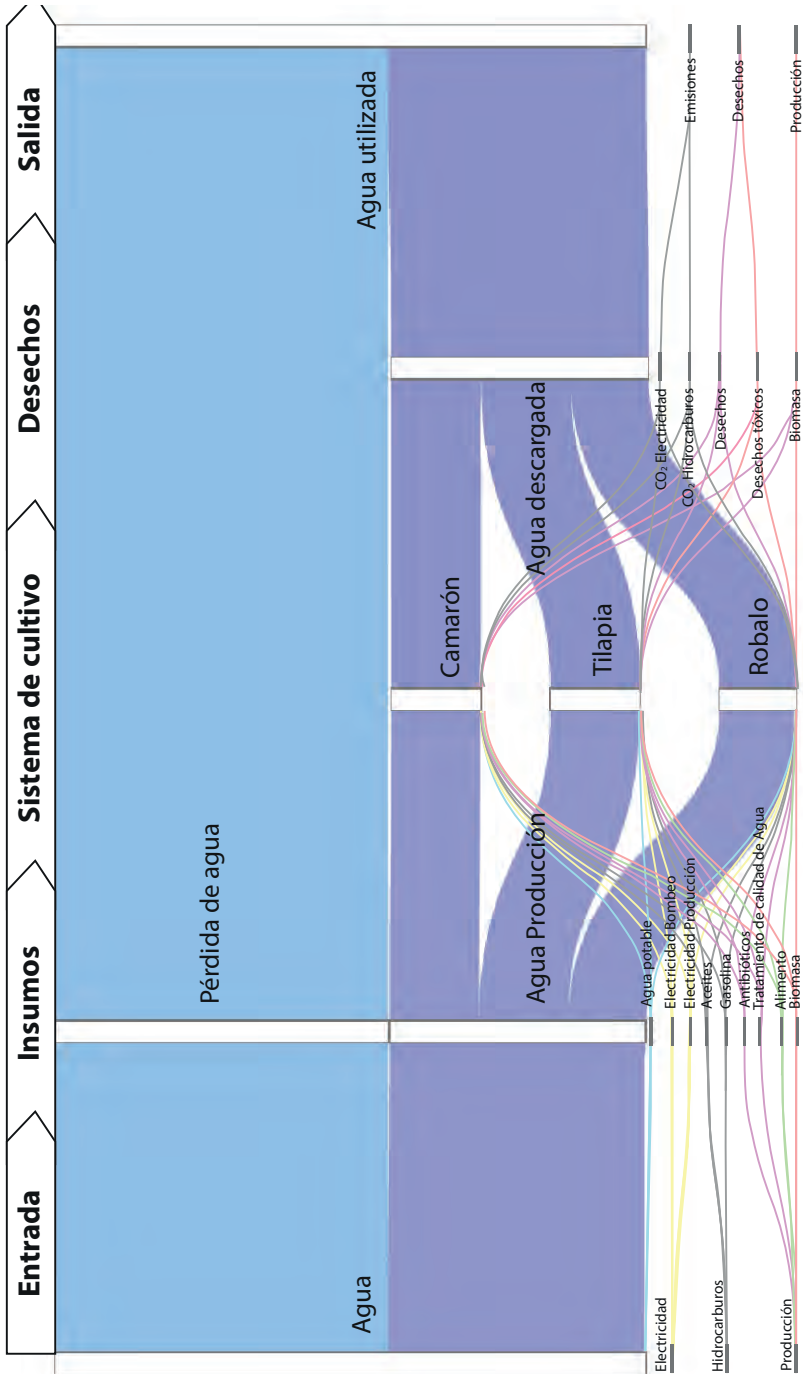
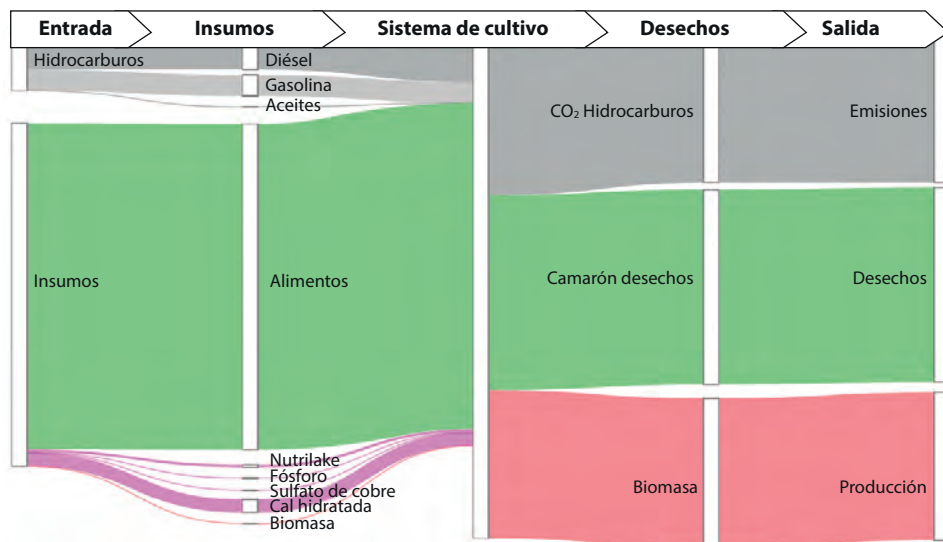


Figura 2c. Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados: Prueba de la tecnología. En azul fuerte se muestra el agua utilizada para la engorda (44% del total), en azul claro la pérdida de agua (56%) que se explica por la toma de agua a más de 4km de la granja. Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y en Joules (J) para la energía (los grososres de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación).



174
DOSSIER

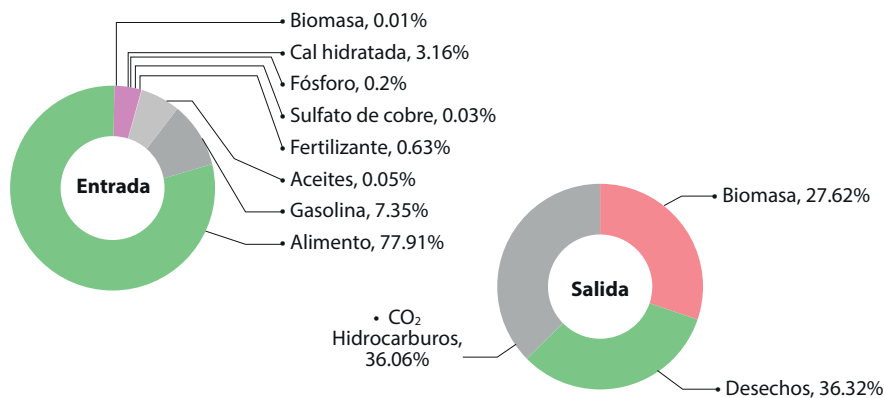


Figura 3. Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en el sistema de cultivo de camarón más común en México, sin considerar el agua utilizada. (Los grosores de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación.)

El análisis de los flujos del sistema de monocultivo de camarón muestra que la mayor parte de los insumos que entran al sistema son alimento (77.81%) y energía (diesel y gasolina: 17.9%); figura 3. El %72.4 de la salida del sistema corresponde a desechos (CO₂ y desechos orgánicos), lo que permite tener un indicador comparable de rendimiento de la tecnología.

Miranda *et al.* (2009) estimaron los nutrientes liberados por la industria del cultivo de camarón de los principales estados productores (Sonora y Sinaloa) en alrededor de 3,565 ton de nitrógeno y 620.7 ton de fósforo. Ello representa una

contribución superior a la emitida por las descargas municipales combinadas de ambas entidades. Y es que al finalizar un ciclo de cultivo, el agua residual de un estanque puede contener nitrógeno y fósforo en concentraciones comparables a las aguas negras producidas por 100 personas en un año. Esta descarga puede contribuir significativamente a la eutrofización de las aguas costeras, lagunas y bahías a nivel local (Páez-Osuna *et al.* 1997).

Resultados del flujo de materiales y energía de la prueba de la tecnología MultiCo

Para producir un kilo de biomasa en el sistema piloto MultiCo en la comunidad La Noria y Minindaca (Oaxaca) se requirió, en promedio, 4.2 kg de insumos (principalmente alimento) y 84.6 toneladas de agua, generando 17.3 kg de CO₂ y 3.5 kg de desechos, con la utilización de 90.7 millones de Joules de energía¹⁰ para mantener la infraestructura intensiva de soporte figura 4. Durante el proceso se liberarían al ambiente unos 17.97 kg de fósforo y 82.93 kg de nitrógeno por kilo de biomasa producido (Islam 2005).

En comparación con el sistema de cultivo intensivo de camarón más utilizado en México, la prueba piloto consiguió mayor producción por m³ y por ha/año y menos emisión de nutrientes (69.7% menos); sin embargo, la mortalidad y el factor de conversión alimenticia (FCA) fueron mayores (1.7 veces mayor), liberando 1.4 veces más desechos y consumiendo 9.3 veces más insumos. También el consumo de agua fue 1.2 veces mayor para cada kilogramo producido en la prueba piloto. En la prueba de la tecnología, considerando todos los flujos de salida, el sistema resultó muy poco eficiente ya que 95.4% son desechos, consiguiendo poca producción (4.6% biomasa) en comparación al sistema de monocultivo de camarón (27.2% biomasa).

Resultados de la modelación sin limitantes¹¹ del sistema MultiCo / jaulas flotantes

En la modelación del sistema MultiCo (sin limitantes), para producir 1 kg de biomasa se consumen en promedio 2.1 kg de insumos (principalmente alimento) y 2.8 toneladas de agua (debido a la eficiencia esperada de las jaulas), generando 1 kg de CO₂ y 1.1 kg de desechos, con la utilización de 11.4 millones de Joules de energía para mantener la infraestructura intensiva de soporte (figura 5). Por

¹⁰ El consumo diario promedio de energía en una mujer es de entre 5.44-6.28 MJ y de 6.69-7.53 MJ para un hombre (William 2004).

¹¹ Se modeló la unidad tal cual se diseñó para la construcción de los planes de negocio y la solicitud de patente, sin considerar limitantes en lo referente al suministro y calidad del agua, cantidad de organismos y alimentos para el sistema MultiCo y las jaulas flotantes.

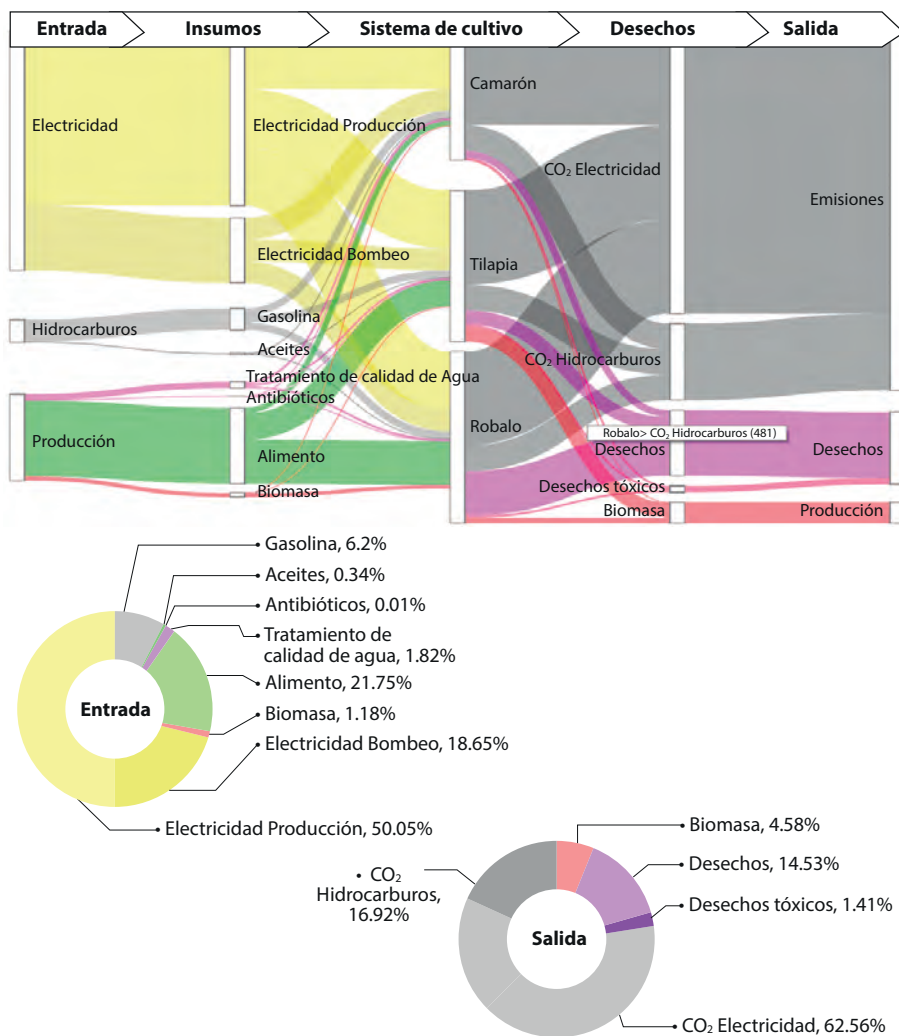


Figura 4. Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en la prueba de la tecnología MultiCo en La Noria; sin considerar los flujos agua. Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y en Joules (J) para la energía. Los grosores de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación.

el proceso anterior se liberan al ambiente 1.6 ton de nutrientes disueltos, principalmente nitrógeno (Islam 2005).

En la entrada de flujos, según la modelación de la tecnología, destaca el aumento en el consumo de alimento (78.6%), debido a que se contempla la

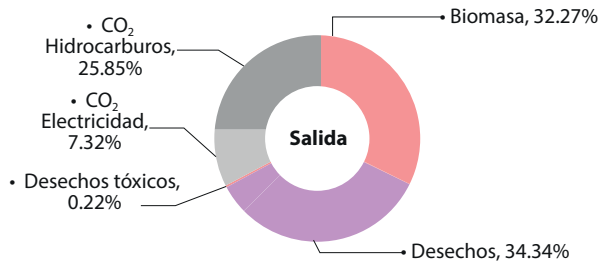
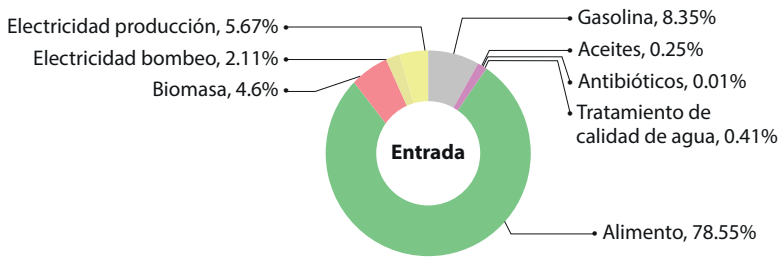
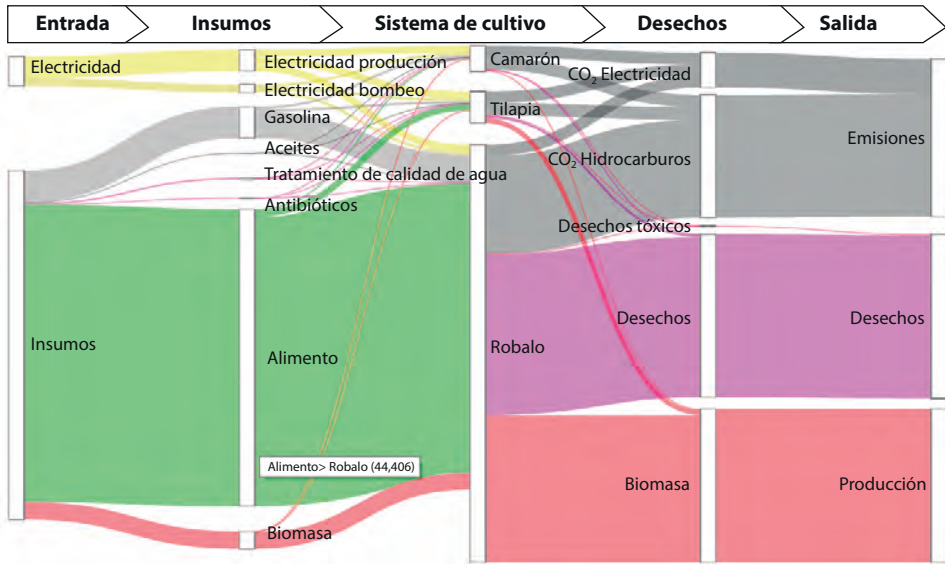


Figura 5. Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en la modelación de la tecnología MultiCo, sin considerar los flujos agua. (Los grosores de los fluxes en la imagen están dados por su porcentaje de participación). Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y en Joules (J) para la energía.

engorda dentro de jaulas flotantes que es donde se completa la mayor parte de la engorda de la especie primaria. Por el lado de los flujos de salidas, la modelación del sistema indica que es más eficiente que el sistema de monocultivo de camarón (FIRA 2009) pues genera 32.3% de producción en comparación al 27.2% del camarón.

Comparación del flujo de materiales y energía en ambos escenarios contra el sistema de monocultivo intensivo de Sonora

La prueba de la tecnología MultiCo, al contrario de lo que se esperaba al principio de su desarrollo, no tuvo un uso más eficiente de los recursos pues se consumió más agua por kilogramo producido y por hectárea, más energía y más alimento, generando mayor cantidad de desechos y emisiones por kg y por ha. Esto significa que en la mayor parte de los indicadores evaluados para estimar los impactos ecológicos potenciales, la prueba del sistema MultiCo resultó menos sustentable que el modelo más común de cultivo de camarón a nivel nacional, el cual, como se ha dicho, tiene importantes impactos ambientales.

De manera similar, al comparar la eficiencia en el uso de recursos de la modelación del sistema integrado contra el sistema más común de monocultivo nacional, se encontró que la tecnología propuesta consume menos agua por kilogramo, menos energía, y menos alimento, liberando menos nutrientes y desechos al ambiente. Sin embargo, el sistema MultiCo (considerando el desdoblamiento de la producción) consumiría más insumos y más agua por hectárea, generando más emisiones por kilogramo y por hectárea: hasta 24.4 veces más CO₂ por hectárea que el sistema de cultivo de camarón nacional.

Tabla 1. Indicadores de desempeño de las tecnologías evaluadas.

	Monocultivo de camarón	Prueba MultiCo	Modelación MultiCo / desdoblamiento
Ton/ha	5.6	3.0	67.8
Supervivencia	78%	47%	84%
FCA	2.2	6.1	1.4
Insumos (sin alimento) kg/kg	0.5	1.6	0.6
Agua L/kg	36,536	82,442	5,591
Desechos kg/kg	1.3	3.2	1.1
Energía MJ/kg	6.7	58.0	1.9
Emisiones kg CO ₂ /kg	1.0	17.3	2.1
Nutrientes kg/ha	8,741	138	1,650
Nitrógeno kg/ton	699.8	212.3	112.3
Fósforo kg/ton	861.2	46.0	24.3

Como muestran los indicadores de la tabla 1, el modelo MultiCo espera producir hasta 135.6 ton/ha/año, pero en su prueba no superamos las 6 ton/ha/año. Los resultados de la modelación sugieren un gran potencial; sin embargo, su materialización en la realidad requiere un proceso gradual de mejora que debe contemplarse en las proyecciones financieras para ajustar sus expectativas de rentabilidad. El sistema de monocultivo de camarón estudiado tiene, en principio, niveles de producción competitivos, difíciles sin embargo de obtener en campo.

Evaluación de la capacidad de carga de la Laguna Corralero desde el enfoque ecosistémico de la acuicultura

Desde hace dos décadas, diversos autores han demostrado que una fuente exógena de energía, como lo es el alimento, puede ocasionar impactos importantes en la materia orgánica y la carga de nutrientes en zonas costeras (Gowen *et al.* 1987; Folke *et al.* 1989; Chopin *et al.* 1999; Cromey *et al.* 2002) con efectos adversos en la biodiversidad local.

La capacidad de carga ecosistémica se define como “la capacidad de un ecosistema para asimilar una actividad particular o una tasa de actividad determinada sin impactos inaceptables” (GESAMP 1986). Por su parte Davies *et al.* (2003) la definen como “la producción potencial máxima que una especie o población puede mantener con relación a la cantidad de recursos disponibles”.

Se analizó la capacidad de carga de dos espacios distintos: la granja intensiva en tierra (unidad MultiCo) en la comunidad La Noria y Minindaca, y las jaulas flotantes dentro de la Laguna Corralero (desdoblamiento de la producción). De forma consistente con la metodología utilizada (Ross *et al.* 2013) se evaluaron tres tipos diferentes de capacidad de carga. Mismos que se describen a continuación:

a) Capacidad de carga física para la selección del sitio

Considera el acceso a un suministro constante de energía y agua de calidad (en los volúmenes y con las características necesarias), insumos, acceso, seguridad, certidumbre legal y social.

Utilizando la metodología de Huguenin (1997) se buscaron sitios alrededor de la Laguna Corralero para desarrollar proyectos acuícolas (por más de 1 año), encontrando que los sitios con potencial son muy limitados. Uno de los sitios evaluados fue la parcela escolar de la comunidad La Noria y Minindaca, lugar donde finalmente se estableció la prueba. Sin embargo, durante la selección del sitio no se garantizó el acceso a insumos, la disponibilidad de agua de calidad y la existencia de un sitio apropiado para descargarla a

lo largo de todo el ciclo productivo. Las instalaciones y el diseño operativo se modificaron varias veces conforme a las limitaciones, y el impacto de los problemas de suministro, diseño y construcción del sistema los cuales se manifestaron una vez iniciada la prueba. Finalmente la tecnología se evaluó con la mitad del flujo de agua con la que se modeló y con menos de una cuarta parte de los organismos de la especie primaria (robalos) que se tenían previstos. Los sitios con potencial acuícola para cultivo en jaulas flotantes también fueron muy escasos. Se identificaron cuatro limitantes principales: la profundidad, la calidad del agua, la seguridad (social) y la regulación ambiental (como la NOM-22) de zonas federales y la relativa a usos y costumbres locales. Destaca que la profundidad en la Laguna Corralero es menor a 2 metros (CONAPESCA 2010), y se considera que una profundidad deseable para el cultivo en jaulas es de 20 metros o más (Huguenin 1997), ya que existen interacciones importantes entre el sustrato del fondo y los desechos (como el alimento), que pueden conducir a bajas drásticas en el oxígeno disuelto (Halide 2008), cuestión que ocasiona mortalidades masivas. En este sentido, cabe destacar que la mayor parte de las lagunas en México son someras, y por lo general no superan los 6-9m de profundidad máxima (DOF 2004). Esto implica que la mayor parte de las lagunas contempladas en el plan de desarrollo de los parques acuícolas no cuentan con la profundidad suficiente para el cultivo en jaulas flotantes, o sólo en áreas muy limitadas. En el caso de la Laguna Corralero en Oaxaca, la superficie de la poligonal que cumple con las características para albergar jaulas para cultivo según la metodología de Huguenin (1997) y la evaluación del sitio con la herramienta CADS_TOOL (Halide 2009) es de 3.25 hectáreas. Esto representa 0.1% de la superficie total de la laguna. Los pocos sitios restantes que cuentan con la profundidad, seguridad, e intercambio suficiente de agua, quedaron descartados debido a que se encuentran demasiado cerca de poblaciones de manglar (NOM-22) o no fueron elegibles debido a regulaciones locales (sitios restringidos de pesca).

b) *Capacidades de carga productiva y ecológica*

Utilizando la herramienta de modelación CADS_TOOL (Halide 2009), se realizaron dos tipos de análisis diferentes sobre la capacidad de carga: uno a nivel local, evaluando el potencial de las 3.25 ha con capacidad de albergar jaulas flotantes, y otro considerando todo el cuerpo de agua de la Laguna Corralero, utilizando cuatro metodologías distintas: Stigebrandt *et al.* (2004), Tookwinas *et al.* (2004), Hanafi *et al.* (2006) y Pulatsü *et al.* (2003). Se encontró que los objetivos planteados no superan la capacidad anual (65,509.8 ton/año) o total (9,735.3 ton) de la Laguna Corralero desde los

modelos de Hanafi *et al.* (2006) y Pulatsü *et al.* (2003); sin embargo, a nivel local los modelos de Stigebrand *et al.* (2004) y Tookwinas *et al.* (2004) señalan que el diseño de la tecnología y sus objetivos superan la capacidad de carga sustentable en densidades (desde el diseño inicial) y biomasa, ello a partir de la operación de tan sólo dos unidades MultiCo.

El modelo MOM (Modeling – On growing – Monitoring) (Stigebrand *et al.* 2004) estima la producción máxima mensual de peces que puede soportarse dadas ciertas características ambientales, regímenes de alimentación y acomodo físico de las unidades en un área específica. La densidad de engorda objetiva para las jaulas fue de 20kg/m³. Esta densidad está ligeramente por encima de la capacidad de carga del sistema, según los resultados del modelo MOM (19.3kg/m³). Por tanto, es necesario reducir la intensidad del sistema considerando el principio precautorio, previendo contingencias por eventos de baja de oxígeno y los cambios de temperatura en la Laguna, que podrían conducir a mortalidades masivas.

Utilizando el modelo de Tookwinas *et al.* (2004), la biomasa máxima que soportaría el área seleccionada (3.25 Ha) es de 20.9 ton, considerando el presupuesto de oxígeno local. Estos resultados limitan el desarrollo del proyecto a poco más de dos unidades MultiCo (más sus jaulas flotantes) para toda la Laguna Corralero, cosa que trunca la posibilidad de establecer un parque acuícola, pues de las 32 unidades planteadas, sólo 2 podrían ser soportadas por el ambiente.

c) *Diagnóstico de la sustentabilidad del proyecto considerando las capacidades de carga*

El objetivo de construir un parque acuícola en la Laguna Corralero y cosechar más de 657 ton de peces marinos por ciclo (utilizando 768 jaulas flotantes), supera 16 veces la capacidad de carga de la laguna (física y ecológica). Esto pone en perspectiva la rentabilidad esperada de la tecnología, sus objetivos productivos y su potencial de transferencia a otras lagunas.

Las cantidades normales en la concentración de los nutrientes en las lagunas costeras de México sitúan a estos ecosistemas como tendientes a la eutrofia, por lo que un suministro adicional de nutrientes pone en serio peligro su ya relativa estabilidad (Contreras B. *et al.* 1996). No es posible suponer que existe un gran potencial de transferencia a otras lagunas hasta estudiarlas individualmente. No hay pues una receta de sistema de producción sustentable que aplique a todos los casos (o *fit-all*). Y es que la presencia de sitios con características físicas adecuadas para engorda no implica que tengan la capacidad de carga ecológica apropiada para soportar una producción económicamente rentable, y al mismo tiempo sustentable. De la misma

forma, una gran capacidad de carga ecológica a nivel lagunar no necesariamente implica que existan sitios donde las condiciones locales permitan engordar peces. Contrario a la idea inicial del proyecto, se encontró que no es posible sustentar los objetivos de producción con base en el emplazamiento de parques acuícolas. Los límites ambientales del sistema dejan entrever que el proyecto fue diseñado para generar flujos de dinero en hojas de cálculo, pero que dichas proyecciones se plantearon sin considerar las características de los sistemas ambientales.

Adicionalmente, la producción proyectada tendría otros impactos difíciles de evaluar, ya que los impactos negativos de una producción no solamente se manifiestan a lo largo de la engorda, sino que se acumulan y continúan meses después de la producción. Dichos efectos no son capturados en los sistemas de modelación o en análisis tradicionales de costo-beneficio, pues éstos suponen que con cada producción hay un “borrón y cuenta nueva” en términos ambientales, lo que podría limitar aún más la capacidad real de producción. Por ejemplo, Brooks *et al.* (2001) estimaron la pérdida de peces en el ambiente asociada con la disminución de la biomasa de macro invertebrados y la huella ecológica de siete granjas (sistemas de jaulas flotantes) de salmón en Canadá. Sus resultados sugieren que existe una pérdida de entre 309.6 - 484.5 kg de peces silvestres en la cercanía de granjas que producían entre 492.3 y 1,081.6 toneladas. En otro estudio Brook (2007) encontró también que el periodo para la remediación después de un ciclo de producción es de alrededor de 6 meses en la parte química y de 9-12 meses en la remediación biológica. Además sugiere que los sedimentos son afectados negativamente hasta por 44 meses. Esto devela nítidamente que los ciclos económicos y los ciclos biogeoquímicos suelen tener temporalidades distintas, mismas que en muchas ocasiones limitan la dimensión productiva de los proyectos cuando se quiere que éstos sean sustentables.

Discusión

Autores como Chopin y colegas (2001) han señalado que es probable que los sistemas multitróficos integrados sean más sustentables que los sistemas de monocultivo, ya que al depender de una fuente exógena de alimento y energía podrían generar un impacto ambiental menor, aun cuando no cuenten con procesos de mitigación. No obstante, como muestran los resultados de la medición de flujos de energía y materiales para nuestro caso de estudio, esto no es necesariamente cierto, más aún si el diseño inicial de la tecnología no contempla la optimización de dichos flujos. Lo que no se cuantifica no se puede mejorar o controlar, por lo que no existen evidencias que nos permitan suponer que los

beneficios de la integración estarán presentes en una tecnología si no es a través de un esfuerzo consciente y claramente asociado a la aplicación del principio precautorio y a nociones de sustentabilidad.

La tecnología MultiCo plantea márgenes de ganancia de hasta 25% por kilogramo en la especie marina sin considerar externalidades, por lo que, de pensar por la afectación ambiental, ¿qué margen de ganancia quedaría? Smearman *et al.* (1997) estimaron los costos externos de la producción de trucha en EEUU en un escenario de producción constante de 10 años. Con medidas de mitigación (es decir, unidades de filtración), los autores estimaron un costo equivalente al 5.6% del costo total de producción. Sin medidas de mitigación, los daños ambientales ascienden, en cambio, a 25.2% del costo total de producción. Otro estudio similar estimó el costo por eutrofización de la producción de una granja promedio (jaulas flotantes) de salmón noruego (100 toneladas) (Folke *et al.* 1994), encontrando que el daño ocasionado por la liberación de nutrientes equivale al 15-16% de los costos de producción de la granja.

Si el camarón producido en México se vende con un 15% de margen (FIRA 2009), de considerarse el costo por afectación ambiental en el precio —usando una perspectiva de economía ambiental, propiamente de sustentabilidad débil o que reduce todo valor ambiental a valor monetario—, el margen de ganancia podría no superar los costos ambientales ocasionados por la producción. El argumento de la compensación depende de la existencia de bienes alternativos que puedan adquirirse para sustituir lo que se ha perdido. Sin embargo, no es claro cuáles podrían ser los bienes sustitutos (Martínez Alier 2007). El objetivo por lo tanto no es castigar a quienes contaminan, sino evidenciar la importancia del entorno natural y la imprevisibilidad de su gestión y manejo (Krutilla *et al.* 1985). Desde el punto de vista social, el dinero también puede llegar a ser un factor disonante en el contexto de las comunidades marginadas en tanto que el aumento súbito del ingreso no necesariamente garantizará el bienestar de largo plazo de los actores involucrados. En 2008 la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) planteó la meta de llegar a una producción acuícola de 1 millón de toneladas para 2030, partiendo de una producción de 151 mil toneladas. Es difícil estimar el impacto de los objetivos de producción planteados; sin embargo, se espera un aumento en el esfuerzo pesquero (o importación) para la obtención de harinas de pescado, así como la emisión agregada de contaminantes (como nutrientes y dióxido de carbono). Y es que es necesario capturar entre 5 a 10 kg de peces de alto valor proteico (jurel, anchoveta, sardina, merluza) para transformarlo en 1 kg de harina de pescado (Cárdenas 2004), que será utilizada para producir alimento procesado. Por tanto, se puede suponer un aumento en la pesca de peces no comerciales para alimentar a peces de valor comercial, cuestión que acarrea todo un costo energético

y material considerable a lo largo de la cadena productiva que, si bien económicamente puede ser atractivo, ello no necesariamente es así visto desde la dimensión socio-ambiental.

Por otro lado, se puede prever que el desarrollo de nuevas tecnologías competirá por espacio y recursos con los sitios naturales de crianza de peces silvestres y con los pescadores que dependen de éstos. Es necesario, por lo tanto, desarrollar la regulación pertinente para el empuje de un manejo ambiental que ayude a mitigar los conflictos sociales y ambientales inherentes al desarrollo de la acuicultura en México. El gobierno y la academia tienen un rol crucial en garantizar la disponibilidad de información confiable para el desarrollo de nuevos modelos y de poner a disposición de las partes interesadas las herramientas necesarias para el monitoreo de la actividad. Uno de los riesgos de no contar con estas herramientas es que los proyectos acuícolas de desarrollo comunitario, que aparentan ser “sustentables” (y rentables), generen no sólo pérdidas económicas, sino daños ambientales y sociales, yendo de un sitio a otro y de una solución tecnológica a otra en busca de recursos para la concentración de riquezas, sin evitar o cuando menos reparar los daños.

Es pertinente preguntarse si bajo el paradigma actual tenemos las herramientas para filtrar los proyectos verdaderamente innovadores (en términos sociales y ambientales), o si estamos sesgados por una sola visión, esto es, la visión que justifica la búsqueda egoísta del bien individual para desde ahí eventualmente alcanzar el bien común.

No cabe duda de que la acuicultura constituye una importante alternativa para mitigar la pobreza y combatir la falta de alimentos, pero es necesario pensar a largo plazo y considerar que un proyecto mal planteado puede generar impactos graves a diferentes escalas, tanto espaciales como temporales; como hubiera sucedido con el sistema MultiCo y el modelo de parques acuícolas, de haber continuado.

Debido a la gran cantidad de insumos que moviliza la acuicultura, se puede afirmar que su metabolismo es equivalente al de las poblaciones humanas (Miranda *et al.* 2009) por lo que requiere de un flujo constante de insumos para mantenerlo y hacerlo crecer. Considero que es justo comunicar con oportunidad estos flujos y sus efectos a las personas que habitan en las comunidades que compartirán el uso de los denominados servicios ambientales con estas tecnologías.

Reflexiones finales

La humanidad enfrenta grandes retos ambientales, destacando el cambio climático, la escasez de recursos y la pérdida de biodiversidad. Desde el punto de vista social observamos un incremento en la desigualdad y la pobreza. Al mis-

mo tiempo, nuestra dependencia en el modelo de crecimiento económico, la innovación y las soluciones tecnológicas podrían generar una situación “sin salida” dentro del sistema; limitando la capacidad de respuesta frente a estos retos o inclusive contribuyendo a empeorar la situación actual (Lorek *et al.* 2007). Por ejemplo, aun cuando el mundo produce suficiente alimento para alimentar a 7 mil millones de personas¹² (toda la población mundial), una de cada ocho padece hambre. Por otro lado, en algunos países uno de cada tres niños padece obesidad (FAO, WFP y IFAD 2012).

Enfrentamos una inundación de alimentos industriales de bajo costo y deficiente calidad nutricional. El consumo inducido por la mercadotecnia de estos alimentos “chatarra” trae como consecuencia la otra cara de la desnutrición: la obesidad y la malnutrición (Rivera *et al.* 2012). El enfoque es producir dinero, no alimentos en tanto que, como *commodities*, todos los bienes son intercambiables bajo la escala única del valor monetario (Levins 2009). Bajo el enfoque productivo actual se considera que “más” implica “mejor”, sin embargo, como se muestra en este trabajo, el aumento en la productividad se traduce en mayor presión y riesgos ambientales (para abastecer recursos, absorber desechos y evitar enfermedades).

Debido a que es complejo evaluar los impactos reales de la generación de un producto, aun las tecnologías que buscan un uso más eficiente de los recursos deben partir del entendimiento de su interacción con los ecosistemas que afectarán.

En este sentido, la noción convencional de desarrollo sustentable supone que para que haya sustentabilidad es necesario también el crecimiento económico. Se acepta de manera generalizada la sustitución de recursos y/o especies y su valor intrínseco por otros “similares” o en su defecto por diferentes tipos de capital. Bajo esta lógica tiene sentido afectar el ambiente para generar recursos económicos. A su vez, estrictamente hablando se niega el valor o la existencia de diferentes tipos de órdenes ontológicos y de valores difícilmente cuantificables como la riqueza y diversidad genética de los sitios afectados. Así entonces, el desarrollo se plantea en un solo eje que va de más desarrollado a menos desarrollado. La tarea de los menos desarrollados es avanzar lo más rápido que puedan sobre este camino, de la misma forma que los países desarrollados lo hicieron en el pasado (Levins 2009); crecer primero y limpiar después.¹³ Este discurso propone la ‘despolitización’ de la vida social, al presentar los problemas desde una perspectiva técnica y al limitarse a plantear remedios

¹² Alimentar al mundo implica la liberación de aproximadamente 17 mil mega toneladas de CO₂ a la atmosfera anualmente, contribuyendo al cambio climático (CGIAR 2012).

¹³ Así definen autoridades Chinas su propio patrón de crecimiento, el mismo patrón que logró en su momento el desarrollo de Inglaterra, América y Japón (The Economist 2013).

de esta misma índole. Pocas veces pretende descubrir las causas de la pobreza que describe, sus orígenes (parece que ésta existiera desde tiempos inmemoriales o que se precipitara sin razón aparente). Sólo se detiene en sus consecuencias y en las posibles soluciones, las cuáles —incluso cuando las formulan ONGs— no escapan del marco exclusivo que definen la economía y la tecnociencia (Guadarrama Sánchez 2001). El desarrollo sustentable, en su versión dominante, es en esencia de modalidad arriba-abajo, lo que choca con las realidades locales que, lejos de ser uniformes, son heterogéneas y complejas. Tal vez una mirada más eficaz sea empujar procesos de arriba-abajo y de abajo-arriba en paralelo y con la misma relevancia.

Frecuentemente se asume que se puede alcanzar un consumo sustentable con mejoras en la eficiencia (energética) a través de soluciones tecnológicas, y que estas soluciones tecnológicas se esparcirán gracias a que serán demandadas por el mercado (Lorek *et al.* 2007). Dicho acercamiento, propio del discurso de la economía verde, es limitado en su capacidad de proveer soluciones a los retos actuales de sustentabilidad, por su incapacidad de asimilar el concepto de “límites” o fronteras ecológicas, de reconocer las limitaciones del *efecto rebote* (cuando las eficiencias ganadas a nivel relativo son sobrepasadas por el aumento en los patrones de consumo en términos absolutos), y por la falta de atención a temas como la justicia socio-ambiental.

La demanda de productos “verdes” o alimentos producidos éticamente puede forzar a los productores a implementar medidas para minimizar la contaminación y los daños ambientales de sus mercancías o servicios y de esta forma generar un estándar por encima de la regulación gubernamental (e incluso presionando a que ésta sea eventualmente más exigente). Sin embargo, este enfoque tampoco es suficiente ya que no plantea mecanismos para monitorear la salud de los ecosistemas considerando los impactos acumulados de las diferentes actividades productivas que soportan.

La conclusión que se hace más evidente cada día, es que la solución a esta situación de desequilibrio debe originarse en un cambio de paradigma basado en un nuevo contrato social, en el que se replanteen la relación y la jerarquía entre los derechos individuales y los derechos sociales; se entienda que los derechos y las responsabilidades deben ir de la mano, y se rescate y se ubique en el más alto nivel el valor del interés colectivo y el sentido de lo público (Guhl 2002), y en sí, de la vida misma.

La materialización de estos nuevos conceptos requiere cambios culturales profundos que permitan la transformación de las actitudes y comportamientos de la sociedad, mediante la apropiación de una visión diferente de su relación con la naturaleza y de su papel en ella: una tarea enorme y de largo plazo que debe emprenderse de inmediato.

En el corto plazo, se requiere una forma diferente de gestión ambiental mucho más proactiva, participativa, y con mejores herramientas, que permita una gestión y regulación más estricta; inspirada en la búsqueda de mejores condiciones de vida con justicia socio-ambiental a partir de lo local y lo regional, que es donde, al fin y al cabo, se materializan los problemas.

Agradecimientos

A los doctores Gian Carlo Delgado, Wilfrido Contreras, Samuel Appelbaum y Kevin Fitzsimmons.

Referencias

- Ariès, P. «Decrecimiento o Barbarie.» 2009. <http://www.decrecimiento.info/2009/03/paul-aries-decrecimiento-o-barbarie.html>.
- Bringezu, S., H. Schütz y S. Moll. «Rationale for and interpretation of economy-wide materials flow analysis and derived indicators.» *Journal of Industrial Ecology* 7, nº 2 (2003): 43-64.
- Brooks, K. M. *An evaluation of the relationship between salmon farm biomass, organic inputs to sediments, physicochemical changes associated with those inputs and the infaunal response*. Final Report for the Technical Advisory Group, British Columbia Ministry of Environment, Port Townsend, WA, EEUU: Aquatic Environmental Sciences, 2001, 210.
- . *Assessing the environmental costs of Atlantic salmon cage culture in the Northeast Pacific in perspective with the costs associated with other forms of food production*. *FAO Fisheries Proceedings*. Vol. 10, 137-182. Roma: FAO, 2007.
- Brunner, P. H. y H. Rechberger. *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Press LLC, Boca Raton, Florida, 2004. ISBN-10: 1566706041.
- Carabias, J. *México 2012: desafíos de la consolidación democrática*. Tirant Lo Blanch México, 2012. I.S.B.N. 978-607-95830-0-2.
- Cárdenas, J. C. «Pesca y salmonicultura. Acuerdos de Libre Comercio, Transnacionales y Soberanía Alimentaria en Chile.» *Globalización y Agricultura, Jornadas para la Soberanía Alimentaria, Ponencias*. Barcelona-España: Àgora Nord-Sud, 2004. 76-91.
- Castañeda L., O. y E. F. Contreras. «El Centro de Documentación “Ecosistemas Litorales Mexicanos” como una herramienta de diagnóstico.» *ContactoS* 48 (2003): 5-17.
- Chibras, D., D. Russek, K. Fitzsimmons, W. Contreras y S. Appelbaum. Us2013055960 (a1)–Method and system for aquaculture. Patente US 13/406,091. 2013.

- Chopin, T., C. Yarish, R. Wilkes, E. Belyea, S. Lu y A. Mathieson. «Developing Porphyra/salmon integrated aquaculture for bioremediation and diversification of the aquaculture industry.» *Journal of Applied Phycology* 11 (1999): 463-472.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). Manifestación de Impacto Ambiental para el proyecto de dragado y escollera en Banco de Oro, Laguna Corralero, Oaxaca. 2010. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/oax/estudios/2012/200A2012H0008.pdf>.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. *Informe de pobreza en México*. México, DF: CONEVAL, 2013.
- Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). *CGIAR Annual Report 2012*. 2012. <http://www.cgiar.org/ar2012/>.
- Contreras, B. F., O. Castañeda L., R. Torres-Alvarado y F. Gutiérrez M. «Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas.» *Rev. Biol. Trop.* 44, n° 2 (1996): 417-425.
- Cromey, C. J., T. D. Nickell, K. D. Black, P. G. Provost y C. R. Griffiths. «Validation of a fish farm waste resuspension model by use of a particulate tracer discharged from a point source in a coastal environment.» *Estuaries*, 2002: 916-929.
- Davies, I. M. y D. McLeod. *Scoping study for research into the aquaculture (shellfish) carrying capacity of GB coastal waters*. Final report, Londres: The Crown Estate, 2003, 76.
- De Silva, S. S. y F. B. Davy (eds.). *Success Stories in Asian Aquaculture*. Springer Science+Business Media B.V., 2010.
- Departamento de Pesca y Acuicultura de la Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma: FAO, 2012.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). *Carta Nacional Pesquera*. México: Diario Oficial de la Federación, 2004.
- Edwards, P., R. S. V. Pullin y J. A. Gartner. «Research and Education for the Development of Integrated Crop-Livestock-Fish Farming Systems in the Tropics.» *ICLARM Studies and Reviews* 16 (1988): 53.
- Ernst, D. H., J. P. Bolte y S. S. Nath. «AquaFarm: simulation and decision support for aquaculture facility design and management planning.» *Aquacultural Engineering* 23, n° 1-3 (2000): 121-179.
- FAO, WFP e IFAD. *The State of Food Insecurity in the World 2012. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition*. Roma: FAO, 2012.
- FIRA. «Situación Actual y Perspectivas del Camarón en México.» *Boletín Informativo Nueva Época*, n° 3 (2009).
- Folke, C., N. Kautsky y M. Troell. «The costs of eutrophication from salmon far-

- ming: implications for policy.» *Journal of Environmental Management*, 1994: 173-182.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *The State of Food Insecurity in the World. "How does international price volatility affect "domestic economies and food security?"* Roma: FAO, 2011.
- GESAMP. «Environmental Capacity, An Approach to Marine Pollution Prevention.» *GESAMP Reports and Studies*, n° 30 (1986): 62.
- Gestión e Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Bióticos de Oaxaca, S. C. (GICABO). «Ampliación y modernización del camino Entronque Palma de Coyul-Barra de: Corralero; Tramo Entronque Palma de Coyul-La Noria y Minindaca; subtramo km: 0+000 al km. 14+520.» 2009.
- Gowen, R. J. y N. B. Bradbury. «The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review.» *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 1987: 563-575.
- Gowing, J. y P. Ocampo-Thomason. «Exploratory analysis of the comparative environmental costs of shrimp farming and rice farming in coastal areas. FAO/WFT Expert Workshop.» *FAO Fisheries Proceedings* (FAO), n° 10 (2007): 201-220.
- Guadarrama Sánchez, G. *Entre la caridad y el derecho: un estudio sobre el agotamiento del modelo nacional de asistencia social*. Zinacantepec: El Colegio Mexiquense, Consejo Estatal de Población del Estado de México, 2001.
- Guhl Nannetti, Ernesto. «La Huella Ecológica.» *El Tiempo*, Mayo de 2002.
- Halide, H. *CADS_TOOL – A cage aquaculture decision support tool*. Noviembre de 2010. <http://data.aims.gov.au/cads>.
- . *Technical Guide to CADs_Tool. A Cage Aquaculture Decision Support Tool*. Australia: Australian Centre for International Agricultural Research, 2008.
- Hanafi, A., W. Andriyanto, D. Syahidah y B. Sukresno. «Characteristics and carrying capacity of Kaping Bay, Buleleng Regency, Bali for marine aquaculture development (en indonesio).» En *Kajian Keragaan dan Pemanfaatan Perikanan Budidaya*, editado por T. Ahmad, R. Syah y A. Mustafa, 83-95. 2006.
- Huguenin, J. E. «The design, operations and economics of cage culture systems.» *Aquacultural Engineering* 16, 1997: 167-203.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. México, 2008. ISSN 0188-8692.
- Islam, M. S. «Nitrogen and Phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development.» *Marine Pollution Bulletin* 50 (2005): 48-61.
- Krutilla, J. V. y Fisher, A. C. *The Economics of Natural Environments: Studies in*

- the Valuation of Commodity and Amenity Resources*. Washington DC: Resources for the Future, 1985.
- Levins, R. *Branching Pathways of Development. Presentation to the symposium "Sustainability in the Balance"*. 2009.
- Lorek, S. y D. Fuchs. *Strong sustainable consumption governance e precondition for a degrowth path?* Overath, Germany: Sustainable Europe Research Institute, Schwimmbadstr. 2e, 51491, 2007.
- Martínez Alier, J. «El ecologismo popular.» *Ecosistemas* 16, nº 3 (2007). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016315> (último acceso: 27 de enero de 2013).
- Miranda, A., D. Voltolina, M. G. Frías-Espericueta, G. Izaguirre-Fierro y E. Rivas-Vega. «Budget and discharges of nutrients to the Gulf of California of a semi-intensive shrimp farm (NW Mexico).» *Hidrobiológica* (Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa) 19, nº 1 (2009): 43-48. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57814161005>
- Páez-Osuna, F., S. R. Guerrero-Galván, A. C. Ruiz-Fernández y R. Espinoza Angulo. «Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in Northwestern Mexico.» *Marine Pollution Bulletin* 34, nº 5 (1997): 290-297.
- Pulatsü, S. «The application of a phosphorus budget model estimating the carrying capacity of Kesikköprü dam.» *Turkish Journal of Veterinary Animal Sciences*, 2003: 1127-1130.
- Rivera Dommarco, Juan Ángel, Mauricio Hernández Ávila, Carlos Aguilar Salinas, Felipe Vadillo Ortega y Ciro Murayama Rendón. *Obesidad en México. Recomendaciones para una política de Estado*. México: UNAM, 2012.
- Rodríguez-Valencia, J. A., D. Crespo y M. López-Camacho (WWF). *La camaronicultura y la sustentabilidad del Golfo de California*. 2010. <http://www.wwf.org.mx>.
- Ross, T. C., Telfer, Falconer L., Soto D. y J. Aguilar-Manjarrez (eds.). «Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture.» *FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings* (FAO), nº 21 (2013): 282.
- Ruiz-Luna, A. y J. Berlanga Robles, C. A. Acosta-Velázquez. «On the reliability of the data of the extent of mangroves; a case study in Mexico.» *Ocean. Coast. Manag* 51 (2008): 342-351(F.I. 1.554).
- Santinelli, J. B. *Indicadores Socio-Económicos del Sector Pesquero y Acuícola*. Comisión de Pesca Comité del Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, México: Cámara de Diputados LX Legislatura/Congreso de la Unión, 2009.
- Schandl, Heinz, Walter Hüttler y Harald Payer. «Delinking of Economic Growth and Materials Turnover. Innovation.» *The European Journal of Social Sciences* 12, nº 1 (1999): 31-45.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

- (SAGARPA). «Programa Rector Nacional de Pesca y Acuicultura.» *Diagnóstico y Planificación Nacional de la Pesca y Acuicultura en México*. 2008. http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/version_extendida.
- SEMARNAT. *Cambio climático: Una reflexión desde México*. México, 2012.
- Smearman, S. C., G. E. D'Souza y V. J. Norton. «External cost of aquaculture production in West Virginia.» *Environmental and Resource Economics* 10 (1997): 167-175.
- Soto, D. (ed). «Applying an ecosystem-based approach to aquaculture: principles, scales and some management measures. Building an ecosystem approach to aquaculture.» Palma de Mallorca, España: FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings, nº 14 (2007): 15-35.
- Stigebrandt, A., J. Aure, A. Ervik y P. K. Hansen. «Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming III. A model for 27 estimation of the holding capacity in the Modelling – Ongrowing fish farm – Monitoring system.» *Aquaculture* 234 (2004): 239-261.
- Téllez Castañeda, M. «Camarón que se duerme... Inicio del ciclo de cultivo de camarón.» *El Economista*. 2004. <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2014/04/24/camaron-que-se-duerme-inicio-ciclo-cultivo-camaron-2014-i> (último acceso: 2014).
- The Economist. «The East is grey.» 2013. <http://www.economist.com/news/briefing/21583245-china-worlds-worst-polluter-largest-investor-green-energy-its-rise-will-have>.
- Tookwinas, S., P. Songsangjinda, S. Kajonwattanakul y C. Singharachai. *Carrying capacity estimation of marine finfish cage culture at Pathew Bay, Chumphon Province, Southern Thailand*. Southeast Asian Fisheries Development Centre, 2004. TD/RES/91 LBCFM-PD nº 34.
- Turner, R. K., D. Pearce y I. Bateman. *Environmental Economics*. The Johns Hopkins University Press, 1990.
- William K, Purves y David Sadava (eds.). *Life: The Science of Biology*. Séptima edición. Vol. 962. Nueva York: Freeman, 2004.