

### *Short Communication*

## **Enfoque sistémico para el diseño de sistemas energéticos acuícolas resilientes: discusión aplicada al caso de una empresa de cultivos**

**Marcelo Concha<sup>1</sup>, Claudia Cerda<sup>2</sup> & Mariana Zappi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>TEBAL Consultores, Alcántara 200, Oficina 601, Las Condes, Santiago, Chile

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile  
Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile

<sup>3</sup>Magíster en Gestión y Planificación Ambiental, Universidad de Chile  
Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile

**RESUMEN.** El presente trabajo documenta experiencias en la aplicación del enfoque sistémico a un proceso productivo en el campo de la acuicultura. Particularmente, se analiza el modelo de producción de energía, orientado a la resiliencia y baja emisión de carbono, implementado en un hatchery privado. Lo anterior pretende contribuir con una herramienta que apoye a disminuir los impactos ambientales y consecuentemente sociales y económicos, a escala local, regional y global, asociados a la producción y gestión energética, incrementando la eficiencia en el uso de recursos, la competitividad y resiliencia de la actividad acuícola. Adicionalmente, se presenta un enfoque de modelo de negocios sistémico, que podría ser adaptado a cualquier proceso productivo, extendiendo el campo de aplicación a diversos rubros.

**Palabras clave:** enfoque sistémico, resiliencia, energía, acuicultura, Chile.

## **Systematic approach to design resilient energy systems to aquaculture: discussion applied in a private hatchery**

**ABSTRACT.** This paper documents the experiences of applying the systemic approach to a production process in the field of aquaculture. Particularly, we analyze the energy production model, oriented to resilience and low carbon emission, implemented in a private hatchery. This intends to contribute a tool to support lessen environmental, and consequently social and economic impacts at local, regional and global production and associated energy management, increasing efficiency in the use of resources, competitiveness and resilience of aquaculture. Additionally, we present an approach for systemic business model that could be adapted to any production process, extending the scope to diverse areas.

**Keywords:** systemic approach, resilience, aquaculture, Chile.

---

Corresponding author: Marcelo Concha (mconcha@tebal.cl)

Los efectos combinados del crecimiento poblacional y el constante incremento en la demanda de bienes y servicios, ha provocado un incremento exponencial de la demanda por electricidad. Según datos oficiales publicados por el INE (2008), históricamente cerca del 70% de la producción de electricidad chilena ha sido generada mediante el uso de combustibles fósiles. Las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI), que se generan como subproducto, son la principal causa del mayor y más generalizado fracaso del mercado: el cambio climático (Stern, 2006). Se genera también impactos locales y de corto plazo,

siendo las enfermedades bronco-pulmonares, asociadas a la combustión incompleta, las más frecuentes (Ferrís *et al.*, 2001). Debe sumarse también los impactos locales inherentes a la extracción y transporte de combustibles fósiles, y al tendido eléctrico necesario para distribuir la energía a lo largo del país, y otros no son evidentes.

No obstante, a pesar de la incertidumbre sobre la provisión de electricidad, la demanda no parece cesar. Por el contrario, de acuerdo al INE (2008), las tendencias históricas apuntan a un incremento del 100% en los próximos 10 años, del cual casi un 30%

se empleará en el sector industrial, siendo el segundo consumidor después de la minería (33%).

Lo anterior, expone la inminente necesidad de implementar medidas que aporten al desacoplamiento productivo, no sólo a nivel de políticas públicas, sino como una iniciativa desde las propias empresas, como una forma de controlar las variables que influyen -algunas potencialmente- sobre el proceso productivo y por consiguiente en la evolución del modelo de negocio. Además, es cada vez mayor la evidencia que respalda el uso de energías alternativas, a escala de proyectos, ya que suelen disminuir significativamente los costos asociados al consumo eléctrico, y en caso que se combustione algún tipo de residuo, a su transporte y disposición final (Van der Velde & Meijer, 2003).

Se discute la aplicación del enfoque sistémico para la conceptualización, diseño, desarrollo y optimización de sistemas de energía en la industria acuícola, preferentemente en los cultivos marinos en tierra. Se expone la experiencia de Marine Faros S.A., en su centro de producción acuícola instalado en Laguna Verde, Valparaíso, y su sistema energético desarrollado bajo un enfoque sistémico, centrado en la heterogeneidad energética, reciclaje, reutilización de los desechos productivos, y la utilización de las energías primarias (eólica y solar), disponibles en el paisaje ecológico de Punta Curaumilla, en Laguna Verde.

## Marco teórico

### Enfoque sistémico y resiliencia

La teoría general de sistemas (TGS) es un método de aproximación y entendimiento científico, que tiene como eje principal la comprensión de las múltiples interacciones de sus componentes (McNeill & Freiburger, 1993), como condición necesaria para explicar y predecir el comportamiento de un fenómeno bajo estudio. Esta teoría, atribuible a Ludwig von Bertalanffy, surgió ante la incapacidad de explicar los procesos sociales y biológicos desde el clásico enfoque analítico/reduccionista, considerando la incompatibilidad entre los principios mecánico/causales que lo sustentan y la complejidad de los sistemas naturales (Arnold & Rodríguez, 1990). El enfoque reduccionista, -también llamado paradigma newtoniano o cartesiano- fue el método de abordaje analítico que marcó el desarrollo de la ciencia clásica convencional (Ángel-Maya, 2001). Basado en el principio de causalidad fuerte, asume que para comprender las leyes que gobiernan un sistema basta con conocer sus partes individuales, focalizando el problema en su nivel inferior en la jerarquía de la complejidad. Sin embargo, en la historia de la

investigación y del conocimiento, se percibe que los comportamientos de la naturaleza y del ser humano son más complejos, y que tal complejidad no está solamente determinada por la heterogeneidad de los elementos (o subsistemas) que lo componen (García, 2011). Ante esto, y como contraparte al enfoque reduccionista, la TGS postula que dos sistemas compuestos por los mismos elementos, pueden evolucionar en forma diferente, debido a que: i) existe mutua dependencia entre los componentes, por lo que si un componente "A" se relaciona con uno "B", este generará un cambio en "A", que nuevamente responderá modificándolo y, por lo general, la magnitud y el sentido de muchas de las relaciones entre componentes de un sistema resultan poco evidentes y poco predecibles, ii) los sistemas no son cerrados, sino que están abiertos a las influencias del contexto, que pueden alterar las relaciones entre componentes, y iii) como consecuencia de i) y ii) el sistema siempre reaccionará globalmente, y el efecto total de ese cambio se presentará como un ajuste de todo el sistema, muchas veces difícil de predecir y explicar (Sarabia, 1995).

Lo anterior demuestra cómo la TGS reconoce y aborda la naturaleza orgánica e impredecible de los sistemas, lo cual la hace sumamente útil para abordar la complejidad y multi-escalaridad espacial y temporal, característica de las problemáticas socio-ambientales como fueron descritas. Es preciso mencionar que el concepto de sistema como conjunto de elementos y sus interacciones, no impone los límites de análisis. En este sentido, un sistema bajo estudio puede recibir influencias "externas" que, a su vez, son resultados de la evolución de otros sistemas, y analizado desde un foco mayor, ambos sistemas se comportan como subsistemas de un gran sistema, denominado por los teóricos de la materia como supra-sistema. Estas relaciones pueden ser tales que abarquen al universo en su totalidad, ejemplo de esto son las actividades antrópicas que tienen impactos a escala global o planetaria, como el cambio climático y en todos los casos, discriminar también las escalas temporales del análisis.

El concepto de resiliencia fue introducido al campo de la ecología por Holling (1973), y se refiere a las dinámicas y procesos mediante los cuales los ecosistemas se auto-mantienen y persisten frente a perturbaciones y cambios. Por su parte, Asbjornslett & Rausand (2003) y Peck (2005) amplían el concepto de resiliencia, definiéndola como una propiedad de los sistemas en general, para resistir desórdenes, y retornar a sus estados originales o moverse a uno nuevo más deseable después de ser perturbado, respectivamente. Pese a que existen diferentes

definiciones, en términos generales, todas concuerdan en que la resiliencia de un sistema es una propiedad que depende de muchos factores, entre los que destaca su composición, y también de la magnitud del impacto o perturbación. Esto es clave de considerar a la hora de analizar cuando se evalúa el impacto antrópico sobre los sistemas sociales y naturales, en el corto, mediano y largo plazo.

### **Enfoque sistémico aplicado a procesos productivos**

Existe una dependencia de los recursos naturales para desarrollar cualquier actividad antrópica, vinculada con la satisfacción de las necesidades fisiológicas, morales y éticas, individuales y sociales, no solamente como fuente de insumos, pero también como sitio de disposición final de residuos (Zappi & Cerda, 2011). Particularmente, los sistemas productivos tienen una intrínseca relación con el supra-sistema natural, puesto que consumen grandes volúmenes de materia, energía y generan cantidades proporcionales de residuos. Esto ofrece una oportunidad para el uso de conceptos y metodologías provenientes de la TGS para su diseño, incluyendo en ello las limitaciones impuestas por el sistema natural a diferentes escalas.

La aplicación del enfoque sistémico a los procesos productivos implica un análisis exhaustivo de los flujos de materia y energía interno (sistema productivo propiamente dicho) y los *inputs* externos, ante la búsqueda de relaciones no lineales entre componentes, que contribuyan a su sustentabilidad y resiliencia del proyecto, y también a escalas mayores. Adicionalmente, el enfoque sistémico exige reconocer el estrecho vínculo que existe entre los sub-sistemas físico natural, económico y social, en busca de soluciones integrales (Fjerbaek *et al.*, 2010).

El concepto de resiliencia puede aplicarse al sistema productivo en sí mismo, considerando en su diseño su capacidad de adaptarse a factores externos, - como es en el caso de estudio, el potencial detrimento en la provisión de energía-, e incorporando sistemáticamente los avances tecnológicos que permanentemente suceden, y que podrían mejorar su desempeño económico, ambiental y social. Además, en lo que respecta al supra-sistema, un sistema productivo resiliente es aquel que perturba lo menos posible a su entorno, respetando los ciclos biogeoquímicos y evitando así la sobrecarga de residuos y la sobre-demanda por materia y energía, que en definitiva, si estos no son capaces de recuperarse, se perderá su capacidad de provisión en el largo plazo, con implicancias sociales y económicas (Escobar, 2001).

El desarrollo de sistemas energéticos bajo el modelo de crecimiento guiado por el “desacoplamiento productivo” es un ejemplo de la aplicación

del enfoque sistémico al sector de la industria. Básicamente, el desacoplamiento productivo se refiere a modelos de gestión -en este caso de negocios- en que el crecimiento económico o productivo de la empresa es independiente de la demanda energética externa al sistema, típicamente intensiva en el uso de carbono. El análisis sistémico y conjunto del sistema productivo y del supra-sistema, permite identificar las oportunidades internas de optimización en el uso de sus insumos -materia y energía-, así como las fuentes de energía que proporciona el entorno físico-geográfico (suelo, aire, agua, geología, cuencas). Como consecuencia, se generan impactos positivos que se manifiestan a nivel regional y nacional, que contribuyen con la resiliencia del sistema y del supra-sistema. A nivel sistema, éste se independiza de ciertas variables inherentes al supra-sistema país, principalmente de las medidas que se tomen respecto a la disponibilidad y precio de la energía. A nivel supra-sistema, se quita presión a la matriz energética, y como consecuencia, se contribuye a la seguridad energética nacional, al cumplimiento de las políticas públicas en materia de energía y a la reducción en las externalidades negativas mencionadas, siendo las más relevantes, las referentes a la salud y bienestar humano.

Desde el punto de vista económico, estas medidas se traducen en un incremento en la productividad del proyecto, dado que disminuyen los costos por consumo de energía y disposición de residuos, e incrementa su competitividad en mercados internacionales, los que generalmente consideran la sustentabilidad de sus proveedores como un criterio de selección. A nivel supra-sistema, los impactos económicos se relacionan con la disminución en costos de salud, consecuentes a la disminución en las emisiones.

### **Estudio de caso: aplicación del enfoque sistémico para el diseño del sistema energético de Marine Farm**

Resilience Alliance (2010) es una organización orientada a la investigación, compuesta por una red de científicos y tomadores de decisiones de múltiples disciplinas. que cree en la resiliencia social y ambiental de los sistemas productivos como un paso básico para la sustentabilidad de la institución o empresa. Su misión es apoyar a la toma de decisiones respecto de la gestión de recursos naturales, entregando para esto una serie de herramientas que permiten conceptualizar y poner en práctica el enfoque de sistemas resilientes, entre las que destaca una metodología de cinco etapas para desarrollar, evaluar e implementar sistemas resilientes. El primer paso

consiste en una descripción detallada del sistema que se quiere implementar, siendo relevante determinar sus objetivos, definir sus límites, principios éticos, propósitos y pretensiones, a fin de evitar confusión y ambigüedad (Gallopín, 2003). En segundo lugar, se debe estudiar la dinámica del sistema y su comportamiento frente al (potencial) cambio, y su vinculación y compatibilidad con las dinámicas y oportunidades del entorno tecnológico, económico y social. Según Brooks (1992) no pueden existir sistemas en equilibrio estático. Permanentes modificaciones ecosistémicas, avances tecnológicos y cambios sociales hacen del desarrollo de sistemas y su sustentabilidad un proceso dinámico (Froger & Zyla, 1998). En tercer lugar, se debe simular y proyectar respuestas ante crisis internas y/o del entorno, considerando escenarios complejos, probables y cambiantes. Finalmente, la última etapa se refiere al diseño, evaluación e implementación del sistema. Metodológicamente, se trata de un proceso iterativo, que procede de una reflexión y decisión para cada etapa, y requiere de retroalimentación permanente y, en ocasiones, de revisión completa del sistema y sus objetivos.

### Descripción del supra-sistema

En términos de la TGS, el sistema energético fue considerado un subsistema dentro del supra-sistema compuesto por el sistema productivo y el sistema natural-social, representado por el paisaje ecológico donde se emplaza el proyecto y la comunidad local. A continuación se describe este supra-sistema enfatizando aquellos elementos que fueron efectivamente incorporados al sistema energético resiliente.

Marine Farms S.A., es una empresa dedicada al cultivo de semillas de abalón, para la posterior producción orgánica de carne, investigación aplicada y ecoturismo marino. Su hatchery de abalón y las instalaciones de investigación marina se localizan en Laguna Verde, Valparaíso, específicamente en la península de Curaumilla.

La estructura geológica de la península corresponde a un bloque tectónico elevado, que limita con otros hundidos por efecto de la acción de grandes fallas normales, formación que se conoce como “macizo horts” (Oyarzún, 2009). Lo anterior implica que el paisaje se encuentra por sobre el nivel del mar: el hatchery a 35 m, el área de investigación a 50 m, y las instalaciones administrativas y de personal sobre los 60 m sobre el nivel del mar (Fig. 1).

El hatchery posee una capacidad instalada para producir 500.000 semillas de abalón rojo (*Haliotis rufescens*), que posteriormente son enviadas a Chiló

para la engorda y exportación. Para su mantención, se requiere tres estanques de agua de mar de 50.000 L cada uno, que son bombeados por equipos que se abastecen de gas natural; con un consumo mensual de 900 kg. Los abalones se alimentan de algas pardas (*Lessonia* sp., *Ulva* sp., *Porphyra columbina* y *Gracilaria chilensis*), que son adquiridos a algueros de la zona, en el contexto de un “faire trade” (o trato justo). Este acuerdo refleja la vinculación con el supra-sistema social, ya que implica la contratación de personal local (aproximadamente siete personas).

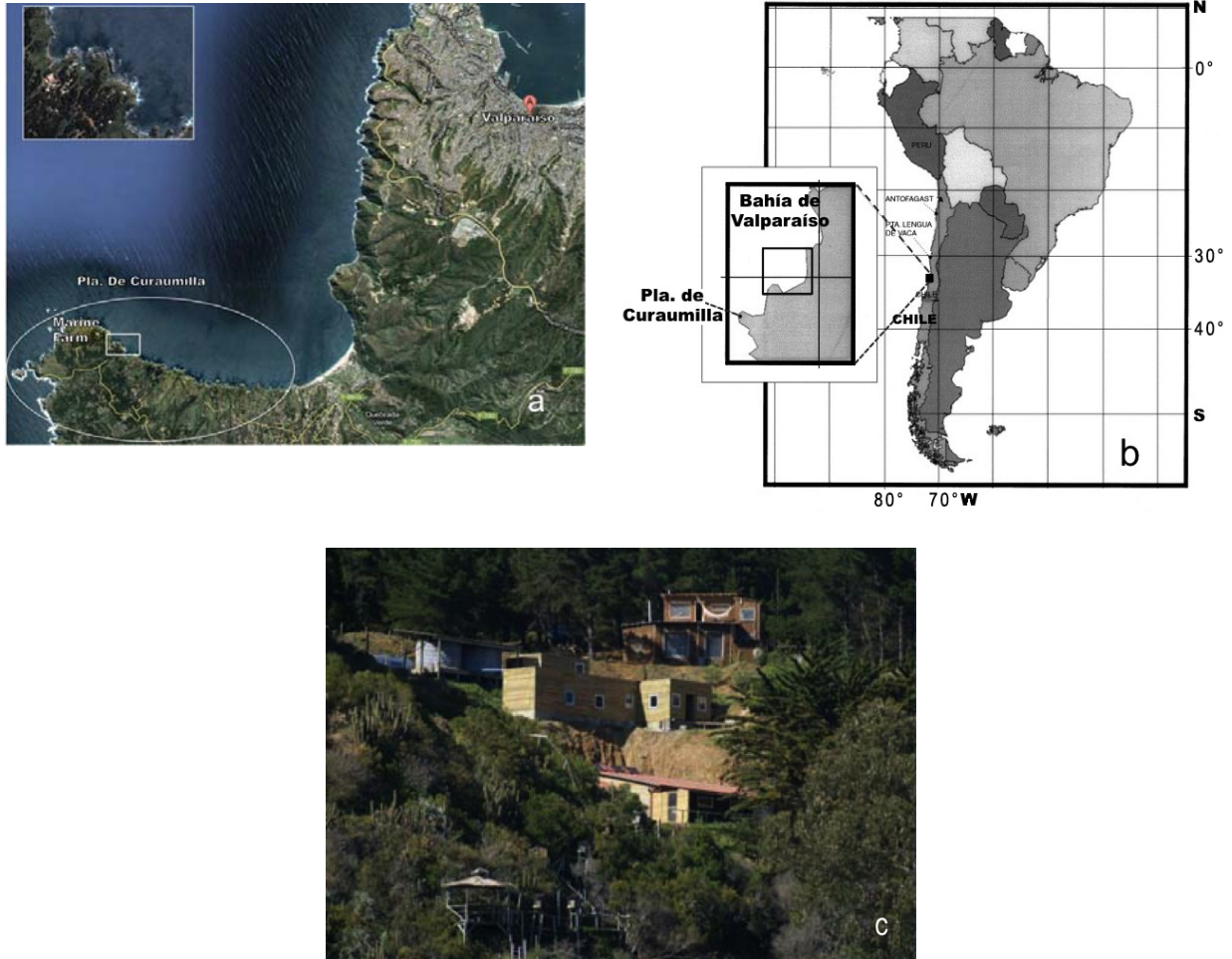
Por otro lado, las instalaciones dispuestas para los operarios, consisten básicamente en dormitorios, oficinas y un comedor con cocina. Dos estanques de agua potable de 5.000 L son usados para consumo humano, con autonomía de 1,5 días de consumo. Al igual que el agua de mar, el agua dulce es bombeada desde la costa.

Respecto del entorno físico-natural, la península de Curaumilla forma parte del macrobioclima templado mediterráneo, característico de la zona central de Chile (Amigo & Ramírez, 1998; Luebert & Pliscoff, 2006), con una marcada estacionalidad de precipitaciones, siendo el período de mayo a septiembre el más lluvioso (con 90,9% del total de las precipitaciones). La temperatura promedio es de 12,3°C entre mayo y septiembre, y de 15,3°C entre octubre y abril (Marek & Rush, 2010).

La condición oceánica de Curaumilla, permite la disposición de vientos desde el sur, fuertes y estables. Según Muñoz *et al.* (2003), la península es el punto de la franja de terreno costero de la región de Valparaíso donde se registra la mayor velocidad promedio del viento, siendo de 9 m s<sup>-1</sup> a 10 m del suelo. Los patrones diarios evidencian un incremento en la velocidad del viento aproximadamente desde las 18:00 h, disminuyendo al anochecer (Marek & Rush, 2010).

En lo que respecta a la intensidad de la radiación solar total, de acuerdo a monitoreos horizontales realizados *in situ* por la empresa desde 2010, con un equipo Mac-Solar SLM018c-2 con sensor integrado, este parámetro alcanza su mayor valor entre diciembre y enero, con un promedio de 144,4 KW m<sup>-2</sup>, mientras que la mayor radiación horaria en estos meses se alcanza a las 12 h, con 536 W m<sup>-2</sup> (Marek & Rush, 2010).

En cuanto a las características edáficas, la zona está ubicada en la serie de suelos Lo Vásquez, de textura franco arcillo arenosa en la superficie y arcillosa en profundidad (CIREN, 1997). Su profundidad efectiva promedio en el área del cultivo varía entre 50 y 100 cm (Rodríguez, 2010). Ambas



**Figura 1.** Localización de la empresa. a) Imagen satelital, ubicación de la península de Curaumilla respecto a Valparaíso, Chile. Soporte en línea: “google maps”, b) ubicación de Curaumilla. Cartografía adaptada de Rutllant *et al.* (2004), c) instalaciones de Marine Faros S.A.

**Figure 1.** Project emplacement. a) satellite image, location of Curaumilla Peninsula referred to Valparaíso, Chile. Online resource: “google maps”, b) location of Curaumilla. Adapted from Rutllant *et al.* (2004), c) Marine Farms S.A. facilities.

características se combinan y dan como resultado suelos con deficiente potencial agrícola en el área del hatchery.

### Descripción del sistema energético resiliente

#### Objetivos y propósitos

Una vez descritas las potenciales oportunidades, y siguiendo con la metodología propuesta por Resilience Alliance (2010), el sistema se definió en términos de sus objetivos y propósitos que se describen a continuación:

- 1) Disminución de emisiones de carbono: se favoreció el uso de generadores renovables.
- 2) Heterogeneidad de fuentes de energía: se otorgó flexibilidad y estabilidad al sistema, incre-

mentando su capacidad de adaptación frente a cambios.

- 3) Uso de fuentes de energías autóctonas: dentro del abanico de posibilidades de energías renovables, se identificó aquellas con más potencial dentro del proceso productivo-desechos orgánicos de producción y del paisaje ecológico de Laguna Verde, –que fueron las energías eólica y solar.
- 4) Almacenamientos de energía: una de las fuentes de energía potencial identificada fue la energía cinética potencial acumulada en los estanques de agua de mar, que como se mencionó, se encuentran a 30 m sobre el nivel del mar, que es transformada a electricidad mediante micro-turbinas. Con esto se pretende otorgar estabilidad

y seguridad de abastecimiento energético al sistema productivo del hatchery.

- 5) Sincronización energética: se refiere a la coordinación del consumo con la disponibilidad cíclica de energía. Se buscó un sistema energético con actividad y descanso periódico, por ejemplo, sincronizando horarios de trabajo y descanso de los operarios en función de la energía lumínica disponible, así como también optimizando la tasa de recambio de agua estanques de cultivo con los requerimientos de los abalones.

### Descripción del sistema y sus componentes

Una vez que se determinaron los propósitos del sistema, se identificó la dinámica e interacciones que lo definen -etapas 2 y 3 de la metodología Resilience Alliance (2010). Se comenzó por conceptualizar las interacciones en términos de flujos de energía desde el paisaje ecológico al sistema productivo.

El modelo puede ser descrito de forma matemática a través de un conjunto de cinco ecuaciones de balance e interacción energética:

$$Et = (Epe+Etc+Edtp+Enu1) \quad (1)$$

$$Etu = Etc+Etd+Eta+Etr+Enu3 \quad (2)$$

$$Epe = Etd+Eta+Etr+Enu2 \quad (3)$$

$$Dtp = Etu-(Os+Enu3) \quad (4)$$

$$Edtp = Edr+Enu4 \quad (5)$$

donde:

Et: energía total

Epe: energía proveniente del paisaje ecológico (solar y eólica)

Etc: energía total comprada (gas natural)

Etd: energía transformada disponible (generador conectado a microturbinas)

Eta: energía transformada acumulada (potencial hídrica)

Etu: energía total utilizable (efectivamente inyectada al sistema)

Etr: energía total reciclada (gas generado por el biodigestor)

Edtp: energía de desechos totales de producción

Edrp: energía de desechos orgánicos del casino

Este modelo se representa en forma esquemática y conceptual en la Figura 2.

Finalmente, se desarrolla el diseño conceptual del sistema de energía, dimensionando detalladamente sus componentes, considerando los *feedback* de las etapas anteriores, más las consideraciones provenientes del medio, la tecnología, necesidades socioeconómicas y redes sociales disponibles (Fig. 3).

Así, el sistema energético diseñado se presenta como una red de interrelaciones con el supra-sistema productivo, y natural-social, perdiéndose incluso los límites entre ambos. Desde el punto de vista del sistema productivo, existen cuatro *inputs* relevantes destacados en color verde (Fig. 3). El primero de ellos es el gas natural, utilizado para el bombeo de agua de mar y dulce, cuyo consumo mensual aproximado es de 900 kg. Los tres restantes provienen directamente del paisaje ecológico de Laguna Verde: i) agua (de mar y dulce), ii) electricidad (obtenida desde la energía eólica/solar), y iii) alimentos para los abalones (fundamentalmente algas pardas) y para los operarios (vegetales cultivados en la operación).

Los *outputs* del sistema se destacan en azul: se realiza una filtración para extraer las fecas de los abalones, que son vendidas para la elaboración de productos cosméticos, dado su alto contenido de yodo y sales orgánicas. Los residuos líquidos, antes de ser descargados al mar, pasan por una serie de acuarios demostrativos, que tienen por objetivo vincular a la empresa con la sociedad escolar. Posteriormente, pasan por un sistema de filtración mecánico y biológico, que consta de un sistema de microturbinas que alimentan un generador eléctrico que inyecta energía constante las 24 h del día al sistema energético, para finalmente ser evacuados al mar.

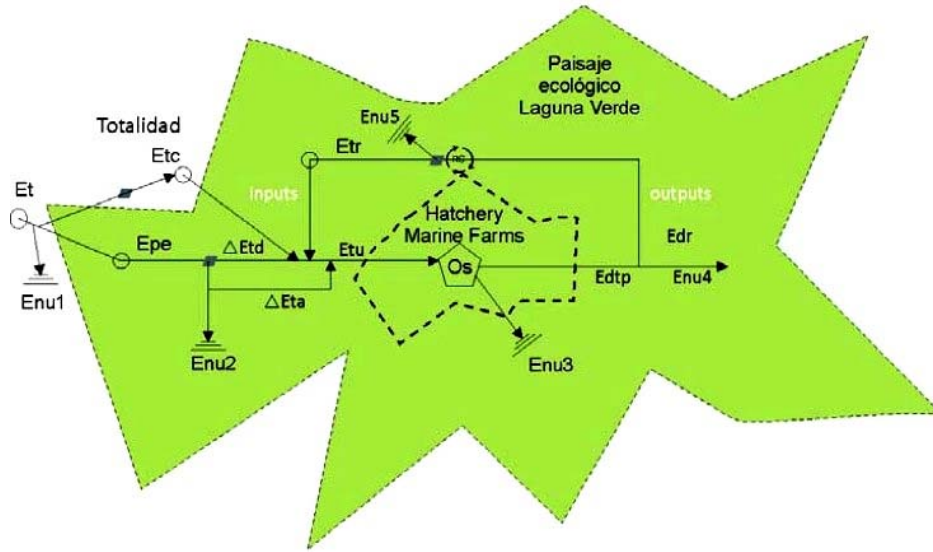
Los residuos sólidos orgánicos son dispuestos en un sistema de biodigestión, que produce mensualmente 10 kg de biogás utilizado para la cocina de los operarios, y 35 kg de compost con el que se abona el suelo -de baja fertilidad-, para los cultivos de vegetales que abastecen a los operarios.

Finalmente, el *output* objetivo del sistema es la producción de semillas de abalón para abastecer el mercado de engorda de abalones en el sur de Chile.

### Consideraciones finales

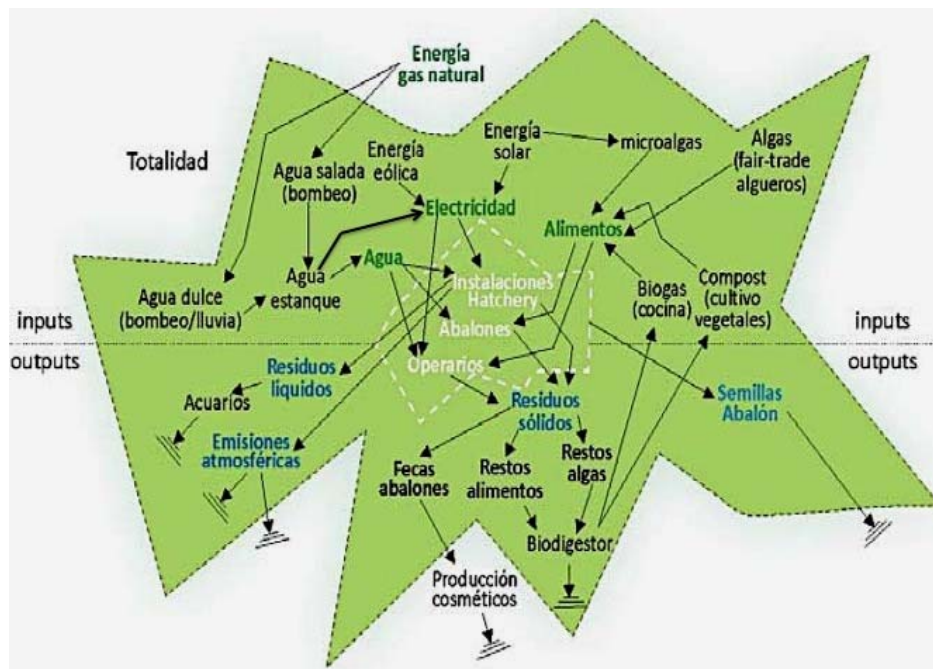
El suministro de energía representa un factor clave en la factibilidad técnica y económica de los proyectos acuícolas. Además, constituye uno de los costos variables de mayor importancia en la operación de la acuicultura (Pfeiffer, 2005) y es el principal precursor de emisiones de gases de efecto invernadero. Marine Farms S.A., empresa con una unidad de negocio dedicada al cultivo del abalón, decidió desarrollar e implementar un sistema energético, que permita generar resiliencia y estabilidad a su operación, disminuir costos y emisiones de carbono, en una localidad donde no existe conexión eléctrica y que permanece aislada durante parte del invierno. Para el logro de estos objetivos, el entendimiento sistémico de las relaciones y flujos de energía entre los componentes del sistema productivo acuícola





**Figura 2.** Modelo conceptual de los flujos energéticos.

**Figure 2.** Conceptual model of energetic flows.



**Figura 3.** Diseño del sistema energético del hatchery de Marine Farms S.A.

**Figure 3.** Energetic system design at Marine Farms S.A. hatchery.

y su entorno ambiental, ha demostrado facilitar el uso de los recursos energéticos disponibles y, por consiguiente, heterogeneizar la matriz de suministro, otorgando robustez y flexibilidad al sistema frente a fallas y frente a usuales aumentos de precios de combustibles fósiles en Chile. Asimismo, ha permitido la adaptación e incorporación de tecnologías en forma de componentes nuevos, en el entendido de comple-

mentación de un sistema ya integrado, con claros objetivos sistémicos.

De manera general, para disminuir incertidumbres de abastecimiento y favorecer la estabilidad de la producción, los sistemas energéticos acuícolas deberían basarse, primeramente, en recursos del paisaje ecológico. En la medida que este abastecimiento provenga de fuentes diversas y heterogéneas,

las incertidumbres se verán considerablemente disminuidas. Adicionalmente, esta distribución de suministro permitirá corregir fallas e incorporar tecnologías por el simple cambio de componentes, preservando los objetivos del sistema. Por otro lado, la sincronización energética, como gestión de consumo, permite una notable disminución en costos en electricidad y participación de los operarios en el modelo de desarrollo energético. El reciclaje de desechos orgánicos de la producción facilita la gestión de residuos y reduce costos de traslado de basuras hacia vertederos.

Por estas razones, es posible señalar que el enfoque sistémico, es apropiado para desarrollar soluciones integrales orientadas hacia la resiliencia de los sistemas energéticos, la reducción de emisiones, la eficiencia del sistema productivo en su totalidad y la generación de nuevas unidades de negocio rentabilizando la operación.

## REFERENCIAS

- Amigo, J. & C. Ramírez. 1998. A bioclimatic classification of Chile: woodland communities in the temperate zone. *Plant Ecol.*, 136: 9-26.
- Ángel-Maya, A. 2001. Física, filosofía y medio ambiente. *Gestión y Ambiente*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 4(1): 73-86.
- Arnold, M. & D. Rodríguez. 1990. Crisis y cambios en la ciencia social contemporánea. *Rev. Estud. Soc.*, 65: 9-29.
- Asbjornslett, B. & M. Rausand. 2003. Assess the vulnerability of your production system. *Prod. Plan. Control.*, 10(3): 219-229.
- Brooks, H. 1992. Sustainability and technology, science and sustainability: selected papers on IIASA's 25th Anniversary. IIASA, Viena, pp. 29-60.
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 1997. Descripciones de suelos: materiales y símbolos. Estudio agrológico V Región, Tomos I y II. Publicación Centro de Información de Recursos Naturales, Santiago, 116: 392 pp.
- Escobar, J. 2001. El aporte del enfoque sistémico a la sostenibilidad pesquera. Serie recursos naturales e infraestructura, n° 39. División de Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL, Santiago, 57 pp.
- Ferrís, J., I. Tortajada, J. García, I. Castell, J.A. López-Andreu, F. García, I. Domínguez, J.A. Ortega-García, O. Berbel-Tornero, E. Guillén-Fontalbá, V. Ferrís, I. García & A. Cánovas-Conesa. 2001. Enfermedades asociadas a la polución atmosférica por combustibles fósiles. Aspectos pediátricos. *Rev. Esp. Pediatr.*, 57(3): 213-225.
- Froger, G. & E. Zyla. 1998. Towards a decision-making framework to address sustainable development issues. In: S. Faucheux, M. O'Connor & J. Van der Straaten (eds.). *Sustainable development: concepts, rationalities and strategies*. Academic Publishers Kluwer, London, 360 pp.
- Gallopin, G.C. 2003. Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. CEPAL, Serie medioambiente y desarrollo, 64: 48 pp.
- García, R. 2011. Interdisciplinarietà y sistemas complejos. *Rev. Lat. Metodol. Cienc. Soc.*, 1(1): 66-101 pp.
- Holling, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 4:1-23.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2008. Distribución y consumo energético en Chile. Enfoque estadístico: Boletín informativo del Instituto Nacional de Energía. [[http://www.ine.cl/canales/sala\\_prensa/archivo\\_documentos/enfoques/2008/septiembre/energia\\_pag.pdf](http://www.ine.cl/canales/sala_prensa/archivo_documentos/enfoques/2008/septiembre/energia_pag.pdf)]. Revisado: 15 junio 2012.
- Fjerbaek, L., B.G. Rong, K.V. Christensen, B. Norddahl. 2010. Systematic approach for synthesis of intensified biodiesel production processes. 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering. Pierucci & Buzzi Ferraris (eds.), 6 pp.
- Luebert, F. & P. Pliscoff. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, 316 pp.
- Marek, P. & I. Rush. 2010. Auxiliary meteorological data summary of Laguna Verde. Prevaling. 00103-005-R, 11 pp.
- McNeill, D. & P. Freiburger. 1993. *Fuzzy logic*. Simon & Schuster, New York, 319 pp.
- Muñoz, R., R. Garreaud, L. Gallardo, A. Cabello & B. Rosenbluth. 2003. Mejoría del conocimiento del recurso eólico en el norte y centro del país. Comisión Nacional de Energía – Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. [[http://www.cne.cl/archivos\\_bajar/InformeFinalEolo2003.pdf](http://www.cne.cl/archivos_bajar/InformeFinalEolo2003.pdf)]. Revisado: 25 Junio 2012.
- Oyarzún, M.J. 2009. Léxico sobre procesos y estructuras geológicas. Universidad Complutense de Madrid. [<http://www.ucm.es/centros/webs/fgeo/index.php?tp=Enlaces%20de%20inter%20E9s&a=enlaces&d=17817.php>]. Revisado: 12 Junio 2012.
- Peck, H. 2005. Drivers of supply chain vulnerability: an integrated framework. *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manage.*, 35(4): 210-232.
- Pfeiffer, T.J. 2005. Energy management and load analysis for aquaculture facilities. Book of abstracts, World Society, 328 pp.



- Resilience Alliance. 2010. Assessing resilience in social-ecological systems: workbook for practitioners. Version 2.0, 54 pp.
- Rodríguez, N. 2010. Estudio agrológico. Documento técnico presentado al Servicio Agrícola Ganadero, Valparaíso, 25 pp.
- Rutllant, J., I. Masotti, J. Calderón & S. Vega. 2004. A comparison of spring coastal upwelling off central Chile at the extremes of the 1996–1997 ENSO cycle. *Cont. Shelf Res.*, 24(7-8): 773-787.
- Sarabia, A. 1995. La teoría general de sistemas. Publicación de ingeniería de sistemas. Isdef, Ingeniería de Sistemas. Madrid, 171 pp.
- Stern, N. 2006. Stern review on the economics of climate change. [[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview\\_report\\_complete.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf)]. Revisado: 11 Mayo 2011.
- Van der Velde, L. & B. Meijer. 2003. A system approach to supply chain design with a multinational for colorant and coatings. Section production and technology organization. Faculty of Mechanical Engineering. Delft University of Technology. The Netherland [[http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/mcn/pdf\\_files/part6\\_5.pdf](http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/mcn/pdf_files/part6_5.pdf)]. Revisado: 8 Junio 2012.
- Zappi, M. & C. Cerda. 2011. ¿Qué motiva a las personas a conservar? El rol del biocentrismo en la valoración económica de la conservación. *Rev. Amb. Forest.*, 6(10): 14-21.

*Received: 28 March 2011; Accepted: 30 July 2012*