

Economía circular en la acuacultura:

Luis Alfredo Ortega-Clemente*

ORCID: 0000-0002-1894-7425

Martha Patricia Hernández-Vergara*

ORCID: 0000-0002-1589-1913

Carlos Iván Pérez-Rostro*

ORCID: 0000-0002-8899-2002

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.134-3>

* Tecnológico Nacional de México/ITBOCA, Boca del Río, México.

Contacto: luisortega@bodelrio.tecnm.mx, marthahernandez@bodelrio.tecnm.mx, carlosperrez@bodelrio.tecnm.mx

una nueva visión hacia la sostenibilidad



La economía circular, a diferencia del modelo lineal de "tomar, hacer y desechar", busca maximizar el uso de recursos y promover su reutilización en manera continua. La granja integral china, ejemplo histórico de acuacultura integrada, combina especies acuáticas con otros sistemas productivos en un ciclo cerrado, donde los desperdicios se convierten en insumos, optimizando el uso de los suministros.

En acuacultura, esto implica diseñar modelos que reciclen nutrientes, agua y residuos, transformándolos en materiales útiles. Prácticas diversas, por ejemplo, recirculación de líquido, valorización de desechos como fertilizantes orgánicos y la incorporación de cultivos mediante acuaponía y sistema multitrófico integrado (IMTA) que reducen la basura, disminuyen la dependencia de insumos externos y mejoran la sostenibilidad ambiental y económica. Además, fortalecen la resiliencia de las operaciones acuícolas (figura 1), promoviendo prácticas más responsables y sustentables a largo plazo (Fraga-Corral *et al.*, 2022; Kardung *et al.*, 2021).

En la acuacultura, en México, se promueven procedimientos sostenibles como el reciclaje y la valorización de residuos orgánicos, además del uso eficiente del agua para alimentación animal o fertilizantes. Estas acciones ayudan a reducir el impacto ambiental, fortalecen las economías locales y fomentan la innovación en técnicas más responsables, contribuyendo a la conservación de los ecosistemas marinos.

RECICLAJE DE NUTRIENTES EN LA ACUACULTURA

En la acuacultura, el reciclaje de nutrientes es clave si se busca una producción más sustentable. Los desechos de peces (el alimento no consumido y los excrementos) se convierten en recursos útiles (figura 2a). Éstos pueden usarse como fertilizantes (nutrientes) naturales que se utilizan en cultivos terrestres, enriqueciendo el suelo y reduciendo la dependencia de químicos. Además, en sistemas integrados, estos compuestos sirven para alimentar otros organismos acuáticos: plantas o crustáceos capaces de absorber hasta el 48% del nitrógeno y el 42% del fósforo (Sri-uam *et al.*, 2016), creando un ciclo cerrado que optimiza recursos y minimiza residuos.

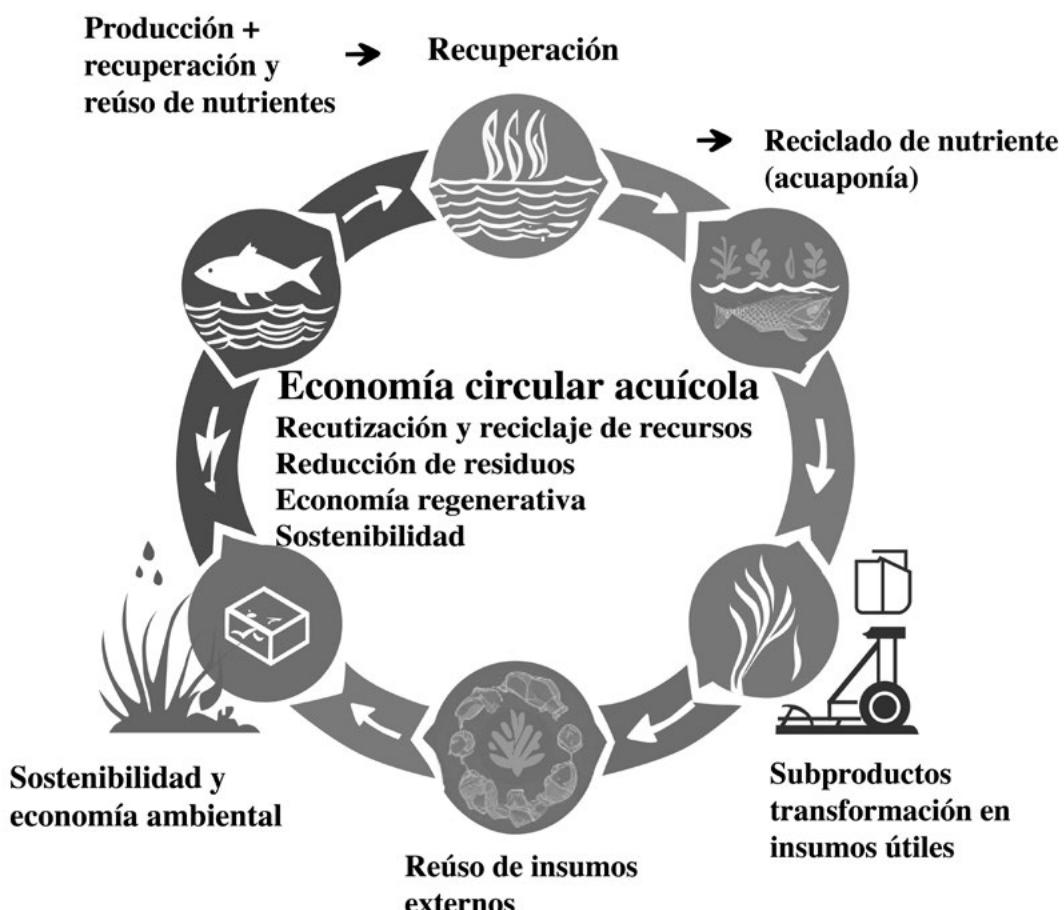


Figura 1. Esquema gráfico de los principios y procesos de la economía circular aplicados al sector de la acuacultura.



Figura 2. Uso de residuos, innovación tecnológica, reciclaje de nutrientes, beneficios ambientales, sistemas integrados aplicados en la economía circular acuícola.

Este enfoque ayuda a mantener el equilibrio ecológico, reduce el uso de insumos externos y hace la acuacultura más eficiente y respetuosa con el medio ambiente. En definitiva, se trata de una método que beneficia al productor y al ecosistema, al fomentar una práctica más responsable (Dauda *et al.*, 2019).

Tabla I. Beneficios de la economía circular en la acuicultura.

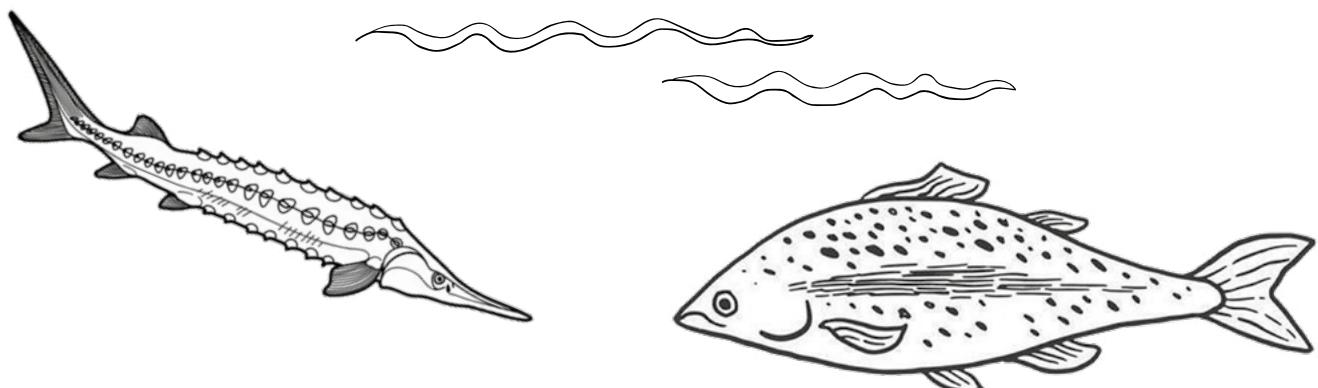
Categoría	Situación actual (lineal)	Situación bajo economía circular	Datos / ejemplos
1. Reducción de residuos y aprovechamiento de subproductos.	Hasta el 70% de los nutrientes en el alimento no son retenidos y se liberan como desechos.	Residuos utilizados como fertilizantes o insumos para producir microalgas; menor contaminación.	IMTA en México: retención de 80% N y 60% P (Omont, 2022).
2. Producción de energía renovable.	Lodos y restos se acumulan como desechos.	Digestión anaerobia convierte residuos en biogás (metano), generando electricidad y reduciendo costos.	1 tonelada de lodo → 200–400 m ³ de biogás (1.2–2.5 MWh) (Zhang <i>et al.</i> , 2019).
3. Uso eficiente del agua.	Sistemas abiertos consumen grandes volúmenes de agua.	RAS circulares reducen consumo en 90-95%.	Beneficioso en zonas con escasez hídrica (Badiola <i>et al.</i> , 2012).
4. Valor agregado y diversificación de productos.	Residuos pesqueros poco aprovechados o descartados.	Transformación en harinas y aceites de alta calidad; alimentos funcionales y nutracéuticos.	+30% ingresos potenciales (FAO, 2020). Noruega: >80% de subproductos de salmón reutilizados.
5. Beneficios ambientales.	Descargas de nutrientes generan eutrofización y emisiones de CO ₂ .	Captura de CO ₂ y menor eutrofización por reutilización de nutrientes.	1.8 t de CO ₂ capturados por cada t de biomasa seca (Chisti, 2007). Descarga de nutrientes reducida 50-60% (Troell <i>et al.</i> , 2009).
6. Competitividad y sostenibilidad económica.	Altos costos de alimento y baja diferenciación en el mercado.	Reducción de costos (15-25%) y ventaja comercial en mercados sostenibles.	Consumo de “seafood verde” en la UE creció 30% en la última década (EUMOFA, 2021).

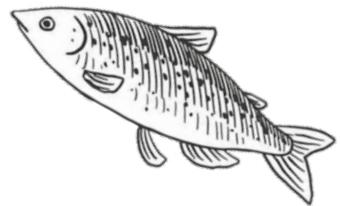
USO DE RESIDUOS

La economía circular aplicada a la acuacultura representa una estrategia de aprovechamiento de los residuos: cabezas, espinas y vísceras, que antes se descartaban, transformándolos en elementos de alto valor (harinas y aceites nutritivos). Estos derivados permiten crear alimentos más orgánicos para animales y también se usan en biocombustibles y bioproductos ecológicos (Ronza *et al.*, 2019). Así, se fomenta un ciclo de producción más eficiente y respetuoso con el medio ambiente, alineado con los principios de una economía circular sostenible en el sector acuícola (figura 2b).

SISTEMAS INTEGRADOS EN LA ACUACULTURA

La acuacultura puede combinarse con sistemas acuaponicos e IMTA, que reciclan nutrientes al cultivar especies de distintos niveles tróficos (Lee *et al.*, 2019; Joyce *et al.*, 2019; Sri-uam *et al.*, 2016), donde los residuos de una sirven de recurso para otra, reduce el impacto ambiental, la dependencia de fertilizantes, productos químicos, y puede adaptarse a diferentes escalas, desde huertos urbanos hasta unidades comerciales, siendo una opción accesible en muchas comunidades (figura 2c).



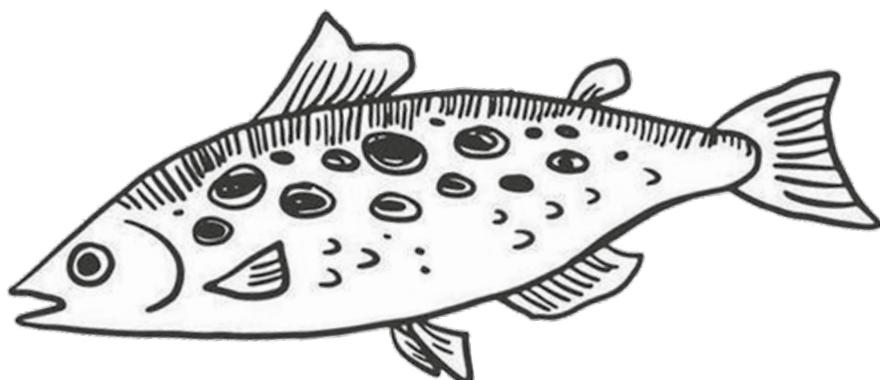
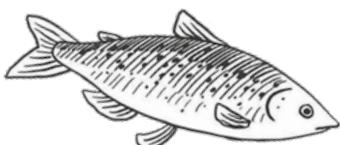


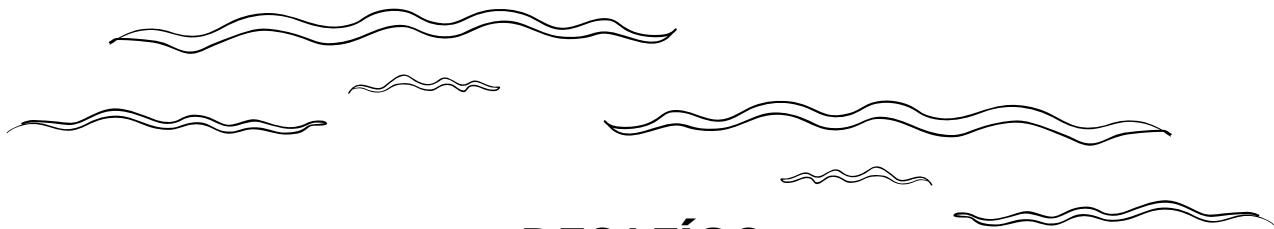
BENEFICIOS AMBIENTALES

La implementación de prácticas de economía circular en la acuacultura genera beneficios ambientales importantes. Mitiga la contaminación al disminuir residuos y promover la reutilización y el reciclaje, lo que ayuda a mantener ecosistemas más saludables y a reducir los agentes dañinos en agua, suelo y aire. También eleva la eficiencia en el uso de recursos como el agua, crucial ante la escasez y el cambio climático. Adoptar estos modelos fomenta un desarrollo responsable y sostenible, protegiendo el entorno y garantizando un mejor futuro para las próximas generaciones (figura 2d).

INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

La innovación tecnológica fortalece la economía circular al permitir una gestión más eficiente y sustentable de los recursos. Con sensores y monitoreo en tiempo real, se controlan parámetros como la calidad del agua y la temperatura, optimizando el uso de agua y energía, y manteniendo la salud de los organismos. Estas tecnologías facilitan decisiones rápidas al prevenir enfermedades y mejorar el rendimiento, mientras que la inteligencia artificial y el análisis de datos anticipan tendencias y ajustan operaciones con mayor precisión (figura 2e, f). Esto aumenta la rentabilidad y reduce el impacto ambiental, siendo clave para una acuacultura circular y sostenible (Fraga-Corral *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2019).





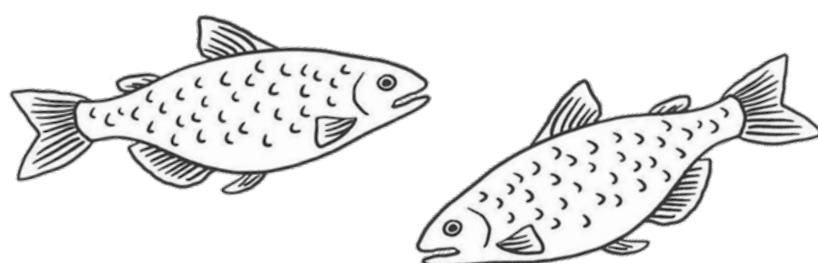
DESAFIOS

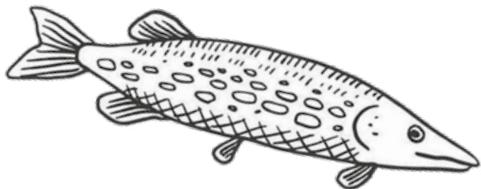
Aunque la economía circular en la acuacultura trae muchos beneficios, también enfrenta desafíos importantes. Uno de ellos es la inversión inicial, ya que implementar las nuevas tecnologías y prácticas requiere recursos económicos, lo que puede ser difícil para la micro y pequeña empresa. Otro reto es capacitar a las personas, es fundamental ofrecer formación y asesoría con el objetivo de que comprendan y apliquen correctamente dichos conceptos.

Además, la aceptación del mercado de productos reciclados o derivados de procesos circulares aún es limitada, ya que muchos consumidores y distribuidores tienen prejuicios o desconocen sus ventajas. Para superar estos obstáculos, es clave promover campañas de sensibilización, establecer normativas de apoyo y fortalecer la colaboración entre gobiernos, sector privado, instituciones educativas y comunidades. Juntos, podemos avanzar hacia una acuacultura más sostenible, innovadora y resiliente.

PERSPECTIVAS

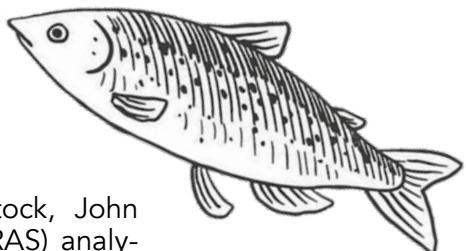
La economía circular representa una alternativa innovadora y necesaria para transformar la acuacultura, moviendo procesos más sostenibles y responsables. Al reciclar nutrientes, aprovechar residuos y adoptar tecnologías como la acuaponía e IMTA, se disminuye el impacto ambiental y se fortalece la resiliencia económica de dicha industria.



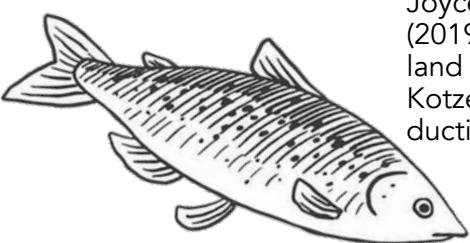


Aunque su implementación requiere inversión, capacitación y sensibilización, la colaboración entre sectores es clave si se desea superar estos desafíos. La economía circular en acuacultura reduce residuos en un 70%, mejora la eficiencia en el uso de agua (90-95%), genera energía renovable (200-400 m³ de biogás/tonelada), aminora los costos del alimento (hasta 25%) y crea valor agregado (+30% ingresos potenciales), además de mitigar impactos ambientales como eutrofización y emisiones de CO₂ (tabla I). En definitiva, no sólo es una opción viable, sino el camino hacia un modelo productivo más equilibrado, resistente y sustentable para el futuro.

REFERENCIAS



- Badiola, Maddi, Mendiola, Diego, y Bostock, John (2012). Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges, *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.07.004>
- Chisti, Yusuf. (2007). Biodiesel from microalgae, *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306, <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- Crab, Roselien, Defoirdt, Tom, Bossier, Peter, *et al.* (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges, *Aquaculture*, 351-356, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- Dauda, Akeem B., Ajadi, Abdullateef, Tola-Fabunmi, Adenike S., *et al.* (2019). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems, *Aquaculture and Fisheries*, 4(3), 81-88, <https://doi.org/10.1016/J-AAF.2018.10.002>
- Fraga-Corral, M., Quiroga, M.I., Ronza, P., *et al.* (2022). Aquaculture as a circular bio-economy model with Galicia as a study case: How to transform waste into revalorized by-products, *Trends in Food Science & Technology*, 119, 23-35, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.026>
- Joyce, Alyssa, Goddek, Simon, Kotzen, Benz, *et al.* (2019). Aquaponics: closing the cycle on limited water, land and nutrient resources, in: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydro-*



- ponic Production Technologies for the Future, Springer International Publishing, Cham, 19-34, https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_2
- Kardung, Maximilian, Cingiz, Kutay, Costenoble, Ortwin, et al. (2021). Development of the circular bioeconomy: Drivers and indicators, *Sustainability*, 13(1), 413, <https://doi.org/10.3390/su13010413>
- Lee, Jinhwan, Kim, In-Soo, Emmanuel, Aalfin, et al. (2019). Microbial valorization of solid wastes from a recirculating aquaculture system and the relevant microbial functions, *Aquacultural Engineering*, 87, 102016, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.102016>
- Monteiro, Ana, Paquincha, Diogo, Martins, Flordinha, et al. (2018). Liquid by-products from fish canning industry as sustainable sources of $\omega 3$ lipids, *Journal of Environmental Management*, 219, 9-17, <https://doi.org/10.1016/J.JENV-MAN.2018.04.102>
- Omont, Alexia. (2022). *Evaluación de un sistema multitrófico integrado con camarón, ostión y macroalgas en México* (tesis de maestría), Universidad Autónoma de Baja California.
- Observatorio Europeo del Mercado de los Productos de la Pesca y de la Acuicultura (EUMOFA). (2021). *Estructura europea de los precios de la cadena de suministro*, https://eumofa.eu/documents/20124/35698/PTAT+Octopus_final_ES.pdf/eeb01de5-5d3-fae8-41ed-b22aa-6fa2721?t=1614617198815
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020: la sostenibilidad en acción*, <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Ronza, Paolo, Robledo, Diego, Bermúdez, Roberto, et al. (2019). Integrating genomic and morphological approaches in fish pathology research: The case of turbot (*Scophthalmus maximus*) enteromyxosis, *Frontiers in Genetics*, 26(10), 1-17, <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00026>
- Sri-uam, Puchong, Donnuea, Seri, Powtongsuk, Sorawit, et al. (2016). Integrated Multi-Trophic Recirculating Aquaculture System for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Sustainability*, 8(592), 1-15, <https://doi.org/10.3390/su8070592>
- Sun, Jianan, Zhang, Jingjing, Zhao, Dandan, et al. (2019). Characterization of turbot (*Scophthalmus maximus*) skin and the extracted acid-soluble collagen, *Journal of Ocean University of China*, 18(3), 687-692, <https://doi.org/10.1007/s11802-019-3837-2>
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., et al. (2009). Ecological engineering in aquaculture-Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems, *Aquaculture*, 297(1-4), 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.010>
- Zhang, Cunsheng, Su, Haijia, Baeyens, Jan, et al. (2019). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383-392, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.038>.

Recibido: 16/06/2025

Aceptado: 27/08/2025

Descarga aquí nuestra versión digital.

