



ALLIANCE™

[.https://www.globalseafood.org](https://www.globalseafood.org)

Responsibility

# Sistemas integrados de acuicultura multitrófica y evaluación de la circularidad

17 June 2024

By Daniel Checa

**Los resultados mostraron mejoras en la circularidad de hasta el 90 por ciento para la recirculación de agua y entre el 80 y el 90 por ciento para la biorremediación**



Este estudio identificó dos pilares básicos – gestión de nutrientes y eficiencia en el uso de recursos – como los atributos de circularidad más relevantes para los sistemas IMTA. Se seleccionaron indicadores de biorremediación, junto con indicadores de eficiencia en términos de alimento, agua, energía y materiales de infraestructura utilizados, para evaluar el desempeño de circularidad de cuatro ensayos de IMTA en tres instalaciones de acuicultura en Irlanda, Brasil y Sudáfrica. Fotos de dos de las especies utilizadas en el estudio, el abulón sudafricano (*Haliotis midae*; izquierda) por derekkeats, vía Wikimedia Commons; y el erizo de mar morado (derecha; *Paracentrotus lividus*) por Diego Delso, vía Wikimedia Commons.

La economía circular es un modelo de producción y consumo en el que prácticas más limpias y competitivas se centran en ahorrar y recuperar recursos, y una definición armonizada de economía circular debería abordar la importancia de los flujos biológicos y el papel de la acuicultura en la producción de recursos biológicos renovables. El concepto de acuicultura circular se puede abordar de muchas maneras, pero en general, la circularidad en la acuicultura incluye la adopción de prácticas relacionadas con la gestión de residuos, el reciclaje de nutrientes o la incorporación de ingredientes novedosos en alimentos **derivados de la bioeconomía** (<https://doi.org/10.1111/raq.12766>).

La acuicultura multitrófica integrada (IMTA) es un sistema de producción circular donde diferentes especies como peces, mariscos y algas se integran/vinculan estratégicamente para crear una relación simbiótica que contribuye a reducir los impactos en el medio ambiente. Dentro de los sistemas IMTA, otros organismos pueden recuperar las pérdidas de alimentos y nutrientes no consumidos y convertirlos en nutrientes valiosos para cultivos y mariscos cosechables.

Los peces excretan desechos de nitrógeno y fósforo, cuyo componente disuelto puede ser utilizado por las especies de algas cultivadas como fuente de nutrientes para el crecimiento, reduciendo así los niveles de nutrientes en el agua y previniendo la eutrofización. Además, los organismos que se alimentan por filtración, como mejillones y ostras, pueden ayudar a eliminar el exceso de nutrientes en forma de materia particulada al filtrar el agua de manera eficiente.

Además del hecho de que la mayoría de las métricas de la economía circular (CE) se centran en el ciclo técnico y los materiales provenientes de recursos no renovables, ninguno de los enfoques que revisamos a nivel de granja cumple con las particularidades de la acuicultura (aún menos de la producción multitrófica integrada). La diversidad de sistemas acuícolas hace que sea difícil determinar el perfil circular del sector utilizando un enfoque único.



A comprehensive solution for the wild seafood supply chain.

- ✓ Crew rights
- ✓ Food safety
- ✓ Environmental responsibility

**Best Seafood Practices**

LEARN MORE >

(<https://bspcertification.org/>).

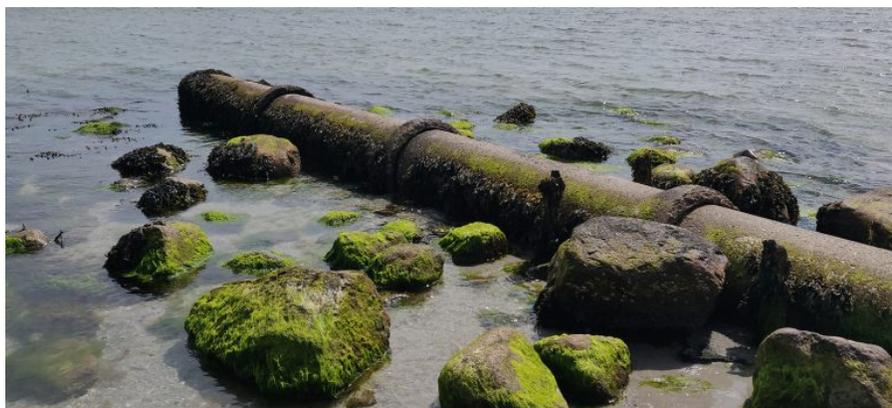
Este artículo – resumido de la **publicación original** (<https://doi.org/10.3390/fishes9050165>) [Checa, D. et al. 2024. Circularity Assessment in Aquaculture: The Case of Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) Systems. *Fishes* 2024, 9(5), 165] – reporta los resultados de un estudio de tres sistemas de producción IMTA diferentes (conocidos como laboratorios IMTA) que fueron evaluados aplicando indicadores de circularidad específicos del sector.

## Configuración del estudio

Este estudio exploró los principios potenciales incorporados en IMTA y las alternativas existentes para cuantificar la circularidad. Se trata de cuatro ensayos en tres laboratorios diferentes de IMTA: el laboratorio de IMTA en el Instituto Marino de Irlanda, que cultiva salmón, ostras, algas y erizos; el laboratorio IMTA de la Universidad Federal de Río Grande, en Brasil, que cultiva tilapia, camarón blanco del Pacífico y algas; y el sistema IMTA en la granja Buffeljags Abalone en Sudáfrica, que cultiva abulón, el alga verde *Ulva* y erizos de mar.

Se identificaron dos pilares básicos (gestión de nutrientes y eficiencia en el uso de recursos) como los atributos de circularidad más relevantes para los sistemas IMTA y se cuantificaron a través de indicadores específicos de la acuicultura. Se seleccionaron indicadores de biorremediación, junto con indicadores de eficiencia en términos de alimento, agua, energía y materiales de infraestructura utilizados, para evaluar el desempeño de circularidad de cuatro ensayos de IMTA en tres instalaciones de acuicultura en Irlanda, Brasil y Sudáfrica. Todas las especies se cultivaron en varias combinaciones con varias especies de bajo nivel trófico en estos ensayos IMTA para evaluar la mejora en la circularidad en comparación con las condiciones de monocultivo correspondientes.

Para obtener información detallada sobre el diseño experimental, los sistemas y la cría de animales; y recopilación y análisis de datos, consulte la publicación original.



## La acidificación oceánica no es solo una historia de carbono, también se trata de nitrógeno

El Dr. Barry Costa-Pierce habla sobre la conexión entre el nitrógeno, el dióxido de carbono y la acidificación de los océanos, y la importancia de la acuicultura restaurativa.



Global Seafood Alliance

## Resultados y discusión

Las estrategias de economía circular ofrecen una manera de hacer un mejor uso de los recursos y producir menos residuos. Este estudio ofrece información sobre el papel de IMTA en la transición hacia una acuicultura más circular, y se evaluó el desempeño de los sistemas de producción del IMTA, que han demostrado ser sistemas adecuados para aumentar la circularidad.

En el laboratorio irlandés de IMTA, el salmón del Atlántico libera nutrientes en el agua circundante, las ostras nativas filtran las partículas de nutrientes mientras que la fracción disuelta es extraída por algas que absorben minerales disueltos y carbono, y los erizos de mar espinosos se alimentan con las algas cultivadas en este sistema IMTA. El laboratorio brasileño del IMTA cultiva las proporciones de biomasa más efectivas de camarón blanco, tilapia y lechuga de mar en sistemas BFT, donde se regulan el material orgánico y los nutrientes. Finalmente, el laboratorio IMTA de Sudáfrica demuestra la viabilidad de aumentar la recirculación en los sistemas integrados comerciales abulón-*Ulva*. El sistema piloto erizo-*Ulva* a escala comercial se está ejecutando de la misma manera pero con una recirculación del 90 por ciento, en gran parte debido al ahorro de costos de energía, ya que el agua de mar debe calentarse a 25 grados-C para que crezca el erizo de agua caliente. Esto se ha realizado con éxito en una prueba hasta talla comercial de las especies.

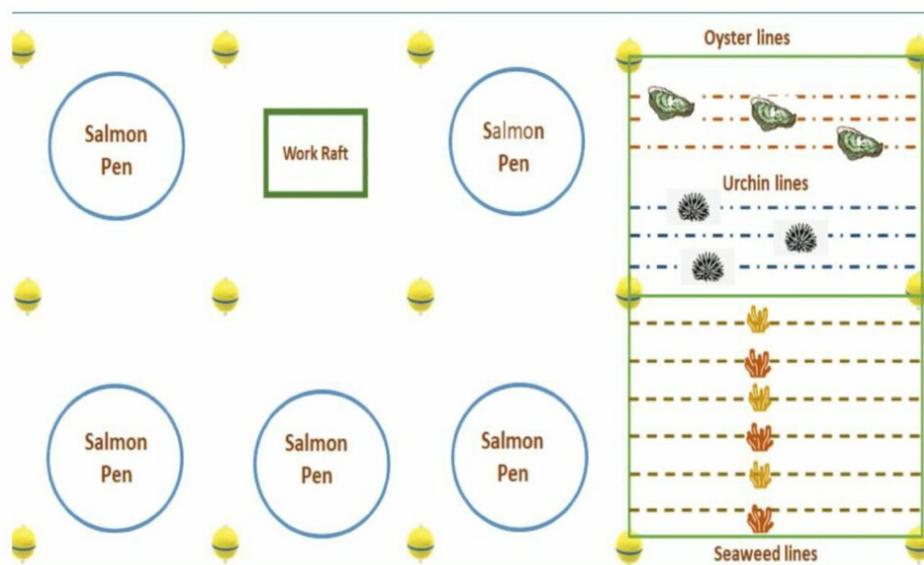


Fig. 1: Diseño del laboratorio irlandés IMTA – la cuadrícula de bajo nivel trófico con ostras, algas y erizos se encuentra junto a los corrales de salmón dentro del sitio de acuicultura autorizado.

Partiendo de la premisa de que IMTA funciona como un sistema circular, el presente trabajo revela la necesidad de definiciones de métricas. La metodología fue desarrollada para permitir la evaluación combinada de diferentes indicadores que pueden ser pertinentes para la evaluación de diferentes sistemas IMTA en múltiples escalas. Las métricas reflejan los dos pilares principales de la acuicultura que impactan la circularidad: la gestión de nutrientes y el uso de recursos. La capacidad natural de las especies extractivas para asimilar nutrientes del agua se evidencia a través de la cuantificación de los indicadores correspondientes. Sin embargo, los beneficios logrados gracias a la incorporación de macroalgas contribuyen no sólo a la biorremediación sino también a una mayor resiliencia de los sistemas ante la proliferación de algas nocivas y otros eventos adversos, p. ej., derrames de productos químicos/petróleo, y p. ej., abulón en el laboratorio IMTA de Sudáfrica con 100 por ciento de recirculación que puede aislar el sistema del entorno circundante por períodos cortos (de 3 a 4 días).

Fig. 2: Laboratorio IMTA de Sudáfrica: (a) sistema abulón/Ulva; (b) sistema erizo/Ulva. Adaptado del original.

Dada la relevancia de la biorremediación como beneficio circular del IMTA, se recomiendan enfoques más precisos para determinar los balances de nutrientes. En los enfoques de balance de masa, hay muchas variaciones que pueden incorporarse para las estimaciones de carga de nutrientes, lo que las hace más apropiadas que el uso de valores de entrada estáticos. Además, la presente evaluación no se

realizó enteramente con datos primarios y se necesitaron fuentes secundarias (por ejemplo, la eficiencia de asimilación y el crecimiento individual de los erizos o la fracción de pescado no consumido en Irlanda). Además, la respiración y las pseudoheces de animales de bajo nivel trófico en sistemas abiertos no se cuantificaron y, por lo tanto, se excluyeron del indicador de manejo de nutrientes. Finalmente, las capacidades de mitigación de nutrientes de los sistemas IMTA en ambientes abiertos están fuertemente influenciadas por diferentes factores que limitan la capacidad de retención de nutrientes de especies de bajo nivel trófico, las cuales también deben ser considerados.

En cuanto al uso de recursos, los laboratorios IMTA (sistema erizo) de Brasil y Sudáfrica mejoraron notablemente el rendimiento de la alimentación, ya que ambos sistemas incorporaron ingredientes circulares. Brasil mostró atributos de circularidad para la reducción del FCR, lo que significa una reducción en el uso de recursos. La reducción de la linealidad debido al alimento totalmente circular a base de subproductos de la industria avícola en el laboratorio brasileño del IMTA está alineada con la tendencia global de reducir la demanda de harina de pescado en el sector acuícola.

Fig. 3: Balance de masa de N en el sistema erizo-Ulva. Adaptado del original.

Se necesitarían más estimaciones para evaluar si la incorporación de ingredientes circulares podría compensar un aumento en el uso de recursos debido a las menores funcionalidades nutricionales de los alimentos novedosos basados en ingredientes no procesados (por ejemplo, erizos alimentados con *Ulva* fresca). Las estrategias orientadas a aumentar la digestibilidad y palatabilidad de los alimentos formulados conducirían a un uso más eficiente de los recursos y, por lo tanto, la consideración de los coeficientes de digestibilidad aparente (ADC) de las especies alimentadas dentro de la evaluación de la circularidad proporcionaría una visión más completa del pilar de uso de recursos.

La reducción del consumo de energía que permite la recirculación del agua es particularmente beneficiosa en el contexto sudafricano. El uso de electricidad para el bombeo de agua de mar es un costo importante de estas operaciones. Sudáfrica también tiene actualmente un suministro de electricidad intermitente, y la recirculación reduce la demanda de generación de electricidad agrícola (a partir de generadores diésel) durante los períodos con cortes diarios. Esto significa que el sistema puede afrontar mejor los frecuentes cortes de electricidad si la tasa de recirculación es alta, ya que es necesario calentar menos agua a 25 grados-C. El laboratorio brasileño IMTA es un sistema intensificado que es comparativamente menos eficiente que los sistemas de estanques en términos de consumo de energía.

Fig. 4: Diseño del laboratorio IMTA brasileño. Adaptado del original.

En cuanto a la infraestructura, el presente estudio consideró la vida útil como un parámetro fundamental incluido en el indicador. En general, un mejor mantenimiento o la sustitución de elementos de infraestructura con mayor durabilidad aumentarían la funcionalidad y, por tanto, la circularidad.

El estudio de indicadores específicos, en particular el Indicador de Circularidad de Materiales (**MCI** (<https://doi.org/10.1016/j.giq.2006.04.004>)), propuesto por la Fundación Ellen MacArthur, proporciona indicaciones sobre el “grado de circularidad” de los materiales que componen los productos. Tiene algunas similitudes con la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), pero se centra más en el flujo de materiales; proporcionaría información como parte de estudios de sistemas de acuicultura de baja trófica, en los que la infraestructura y el equipo se identificaron como elementos clave dentro del marco ambiental. perfil.

Para todos los aspectos de recursos, puede ser relevante resaltar que las métricas sugeridas están orientadas a evaluar la producción misma (el enfoque puerta a puerta); por lo tanto, las cadenas de valor de los productos acuícolas están fuera del alcance, excepto por la consideración del origen de los ingredientes de los alimentos (el aspecto de linealidad). Además, en el pilar de uso de recursos se excluyó la evaluación de otros usos potenciales de los recursos, como fertilizantes, antiincrustantes, antibióticos y otros agentes o productos químicos, ya que estos no fueron reportados durante la operación de cada laboratorio.

Finalmente, este trabajo demuestra que la circularidad se puede medir a nivel de instalación acuícola, fomentando hacerlo de forma simplificada y al mismo tiempo acercando al sector acuícola al seguimiento del progreso de la economía circular. Se promueve una evaluación de la circularidad basada en métricas utilizando un enfoque amplio que sea aplicable a todos los sistemas de producción multitróficos. Sin embargo, la disponibilidad de datos es una limitación importante y todavía hay mucho margen de mejora para aumentar la solidez de los resultados obtenidos, permitiendo comparaciones entre sistemas de producción similares.

## Perspectivas

La falta de definiciones específicas de acuicultura circular y de metodologías estandarizadas podría disuadir a los productores acuícolas de identificar y comunicar estrategias que contribuyan a aumentar el desempeño circular. El presente estudio proporcionó una definición de indicadores que reflejaban de manera simple pero sólida la eficiencia de la producción acuícola desde la perspectiva de la circularidad. Los indicadores de biorremediación, alimento, agua, energía e infraestructura permitirían a los profesionales ajenos al LCA monitorear el desempeño del cultivo sin aumentar significativamente los esfuerzos en la recopilación de datos y la evaluación de impacto. Los indicadores de circularidad expresados aquí no pretenden ser exclusivos de los enfoques de LCA, sino que complementan y potencialmente alientan al sector a evaluar sus contribuciones a la economía circular.

Nuestros resultados confirmaron que los sistemas de acuicultura multitróficos funcionan de acuerdo con los atributos circulares incluidos en la definición esencial de biorremediación. Las métricas para la biorremediación promoverían la estandarización de las tasas de reciclaje de nutrientes, a partir de las cuales se podría evaluar la efectividad de los sistemas. Además de la biorremediación, los indicadores complementarios aplicados al IMTA proporcionan evidencia para la implementación de estrategias de eficiencia de recursos, lo que garantiza aún más la alineación de estos sistemas con la economía circular.

## Author

---



**DANIEL CHECA**

Corresponding author  
LEITAT Technological Center, 08225 Terrassa, Spain

[dcheca@leitat.org](mailto:dcheca@leitat.org) (<mailto:dcheca@leitat.org>).

Copyright © 2024 Global Seafood Alliance

All rights reserved.