

Oportunidades para la adopción del enfoque de cadenas de valor en el ámbito de los recursos hídricos

Elisa Blanco



NACIONES UNIDAS

CEPAL



años

Trabajando por
un futuro productivo,
inclusivo y sostenible

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

Deseo registrarme



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescepal/stacks



www.cepal.org/es/publicaciones/apps

SERIE

RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO

221

Oportunidades para la adopción del enfoque de cadenas de valor en el ámbito de recursos hídricos

Elisa Blanco



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Este documento fue preparado por Elisa Blanco, Asistente de Investigación de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), bajo la supervisión de Silvia Saravia Matus, Oficial de Asuntos Económicos de dicha División, en el marco de las actividades de promoción y generación de conocimientos y difusión de políticas relacionadas con la gestión sostenible del agua del proyecto de la CEPAL "Red y Observatorio para la Sostenibilidad del Agua (ROSA)". La autora agradece a Alba Llavona, Lisbeth Naranjo y Natalia Saramanto, Consultoras de la División de Recursos Naturales de la CEPAL, y a Antonio Levy, Asesor Superior de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), por comentar las versiones iniciales del documento.

Las Naciones Unidas y los países que representan no son responsables por el contenido de vínculos a sitios web externos incluidos en esta publicación.

No deberá entenderse que existe adhesión de las Naciones Unidas o los países que representan a empresas, productos o servicios comerciales mencionados en esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de la autora y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas
ISSN: 2664-4541 (versión electrónica)
ISSN: 2664-4525 (versión impresa)
LC/TS.2023/201
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2024
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S. 23-01148

Esta publicación debe citarse como: E. Blanco, "Oportunidades para la adopción del enfoque de cadenas de valor en el ámbito de recursos hídricos", *serie Recursos Naturales y Desarrollo*, N° 221 (LC/TS.2023/201), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2024.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	5
Introducción	7
A. Contexto de vulnerabilidad hídrica en América Latina y el Caribe	7
B. Potencial del análisis de la cadena de valor en materia de agua	8
C. Objetivos del estudio	9
I. Metodologías de análisis de cadena de valor y tendencias en recursos hídricos	11
A. Mapeo de cadenas de valor	12
B. Evaluación del ciclo de vida	14
C. Encadenamiento sectorial	15
II. Agua como insumo en indicadores y en cadenas de valor	17
A. Indicadores de disponibilidad hídrica para la población	17
B. Agua virtual y huella hídrica	18
1. Agua virtual	19
2. Huella hídrica	20
C. Análisis del agua como insumo en cadenas de valor multipropósito	20
III. Agua como producto de cadenas de valor	25
A. Métodos de análisis de cadenas de valor en agua potable y saneamiento	25
B. Análisis de ciclo de vida en agua potable y saneamiento	27
C. Economía Circular y LCA en agua potable y saneamiento	28
D. Estudios de ciclo de vida de agua potable y saneamiento, y energía	29
E. Estudios de cadena de valor de hidrógeno verde y agua	30

IV. Recomendaciones para la adopción del enfoque de cadena de valor en agua.....	33
A. Recomendaciones por escala de análisis	33
B. Recomendaciones metodológicas.....	34
C. Mensajes finales.....	36

Bibliografía.....	37
--------------------------	-----------

Anexo	43
--------------------	-----------

Cuadros

Cuadro 1	Resumen metodologías de Análisis de Cadena de Valor	12
Cuadro 2	Resumen metodologías de Análisis de Cadena de Valor cuantificando uso de agua...18	
Cuadro 3	Resumen estudios de cadena de valor en distintos sectores económicos y productivos que utilizan agua	21
Cuadro 4	Aspectos de análisis de ciclo de vida, sostenibilidad, jerarquía de recursos y robustez de distintas métricas de economía circular.	29
Cuadro A1	Resumen artículos científicos con metodologías relevantes para el estudio de cadenas de valor y agua	44

Diagramas

Diagrama 1	Ejemplo de Mapeo de la Cadena de Valor en el sistema de abastecimiento de agua para su tratamiento y distribución en la red de agua potable de Juzestán.....	13
Diagrama 2	Ejemplo de Mapeo de Cadena de Valor, en cuanto a las interacciones entre agua, energía y alimentación	23
Diagrama 3	Ejemplo de Mapeo de la Cadena de Valor en el sistema de abastecimiento de agua potable de Juzestán.....	26
Diagrama 4	Ejemplo de Análisis de Flujo de Materiales para IOA en Beijing, China.....	30

Resumen

El enfoque de cadena de valor contempla el análisis de todas las actividades del proceso de elaboración de un producto o servicio, incluso considerando etapas de desecho o reciclaje. Este análisis permite optimizar procesos productivos, reducir costos y requerimientos, e impulsar la integración de procesos de distintos sectores económicos. En recursos naturales y específicamente en agua, la adopción de este enfoque en procesos productivos que de ella dependen, ofrece una vía hacia la sostenibilidad.

Para explorar las posibilidades que las metodologías de análisis de cadena de valor ofrecen en América Latina y el Caribe, en el presente documento se lleva a cabo una revisión de los métodos más relevantes en materia de agua, del estado actual de la literatura en la temática, así como las brechas existentes, permitiendo acotar la dirección de futuros estudios y generar recomendaciones para la región. Ello, con el fin de apoyar una transición hídrica sostenible e inclusiva, sirviendo de guía y apoyo en el diseño, implementación y evaluación de políticas vinculadas.

El estudio identifica que el uso de este tipo de técnicas y estudios puede ayudar al mejor entendimiento del manejo del agua, en cuanto a su distribución a escala de cuenca, de país y de región, y las múltiples dinámicas en las que participa. Se revela también el alto potencial de uso de las distintas metodologías de análisis de cadenas de valor, en especial a través de su combinación con otras variadas herramientas metodológicas. Finalmente, se identifica que la adopción de este tipo de metodologías podría ofrecer un beneficio al contemplar una mirada sistémica. Para lograrlo, se requiere que exista coordinación entre los distintos sectores económicos y productivos que aprovechan el recurso; procesos de diálogo amplio que cuenten con actores involucrados en las etapas de evaluación, diagnóstico, y formulación de políticas públicas asociadas; y un sistema institucional robusto.

Introducción

A. Contexto de vulnerabilidad hídrica en América Latina y el Caribe

Aunque en América Latina y el Caribe se concentra un tercio de los recursos renovables de agua dulce del mundo, la región es altamente vulnerable en términos hídricos. En 2020, los niveles de precipitación estuvieron por debajo de lo normal en la mayoría de las áreas tropicales (Masson-Delmotte y otros, 2021). Lo anterior, sumado a una pérdida del 30% en los glaciares de los Andes, que llega incluso al 50% de superficie en países como Perú (WMO, 2022). Estos factores han aumentado el riesgo de escasez de agua, tanto para la población como para los ecosistemas asociados (Ibid.). Los daños a la agricultura inducidos por sequías han reducido la producción de cultivos, incluidos la soja y el maíz, lo que afecta a los mercados mundiales (Ibid.). De esta forma, la región se posiciona en un contexto de vulnerabilidad hídrica por sequía, que ya está teniendo repercusiones globales.

Al mismo tiempo, en la costa pacífica de América Central se registra una tendencia hacia el aumento de precipitaciones (Masson-Delmotte y otros, 2021). En efecto, las proyecciones climáticas asociadas a los incrementos en la temperatura promedio, estiman un aumento de hasta un 10 a 15% en las precipitaciones en el oeste de la Amazonía y el extremo sur de Sudamérica (IPCC, 2023). Junto a lo anterior, se esperan alzas en los niveles del mar, aumentando a un ritmo más rápido que a nivel mundial, amenazando a una gran proporción de la población que se concentra en las zonas costeras, al contaminar los acuíferos de agua dulce, erosionar las costas, inundar las zonas bajas y aumentar los riesgos de marejadas ciclónicas (WMO, 2022). Así, el panorama hídrico de América Latina y el Caribe contempla también un contexto de vulnerabilidad por exceso de agua.

De acuerdo al reporte de la Organización Meteorológica Mundial del Estado del Clima en Latinoamérica y el Caribe, los Andes, el noreste de Brasil y los países del norte de América Central se encuentran entre las regiones más sensibles a las migraciones y desplazamientos relacionados con el clima (WMO, 2022). En el estudio, se estimó que un total de 7,7 millones de personas entre los países de Guatemala, El Salvador y Nicaragua, ya experimentan altos niveles de inseguridad alimentaria en 2021.

En este contexto, el cambio climático y los eventos extremos asociados, son factores amplificadores, que exacerban las problemáticas existentes, en aspectos sociales, económicos y ambientales.

En un contexto de alta incertidumbre hídrica en la región, en donde se podrán esperar mayores episodios de sequías e inundaciones, contar con herramientas para motivar a una gestión sostenible de los recursos, se vuelve crítico. Es aquí donde el enfoque de la cadena de valor aplicado al recurso se constituye como una herramienta potencial de solución para la región, permitiendo analizar y llevar a cabo un uso más eficiente del agua y de los recursos naturales en general, abogando por su uso y manejo sostenible en términos sociales, económicos y ambientales.

B. Potencial del análisis de la cadena de valor en materia de agua¹

Una cadena de valor se refiere al conjunto de actividades requeridas para llevar un producto o servicio desde su concepción inicial hasta su producto final, incluyendo su posterior desecho o reciclaje (Kaplinsky y Morris, 2001). Así, las metodologías de análisis de cadena de valor son ampliamente utilizadas en el mundo de la producción de bienes y servicios, ya que mejoran la eficiencia y optimizan los procesos internos. Gracias a este tipo de análisis es posible elaborar productos de mayor calidad, reducir costos al adoptar protocolos de prevención de fallas, impulsar la integración de sus procesos y objetivos, además de ejecutar un mejor seguimiento de los procesos.

Con ello, estrategias y metodologías de análisis de la cadena de valor podrían servir como herramientas que provean mayor información para la toma de decisión, a lo largo del ciclo del agua y los múltiples procesos productivos en los que interviene el recurso hídrico. Aquí, los procesos productivos hacen referencia a una serie de operaciones y procesos que se realizan de forma sucesiva para lograr la elaboración de productos o servicios. En el caso del agua, entonces, el recurso adopta distintos roles, dependiendo del proceso del que sea parte. Actúa como insumo en cadenas de valor que requieren de su uso y aprovechamiento, como el sector agrícola, industrial y doméstico. Asimismo, actúa como una parte fundamental de sistemas ecosistémicos, incluidos bosques y humedales, a partir de los cuales se derivan servicios ambientales y recreacionales. Actúa como producto, con potencial de ser reutilizado, derivado de la producción de procesos de generación de energía, como las que utilizan hidrógeno verde, o bien, derivado del tratamiento de aguas residuales para la producción de biogas.

De esta forma, este tipo de análisis permitiría revisar el sistema completo, evaluando la adopción de medidas destinadas a garantizar el adecuado suministro de agua potable y saneamiento; mejorando la eficiencia de uso del recurso en la agroindustria, en procesos de generación energética, así como los procesos y actores involucrados en servicios ecosistémicos. Asimismo, este enfoque podría apoyar en el entendimiento del vínculo del agua con los demás recursos, ofreciendo una alternativa eficiente y sostenible, adaptada a los desafíos actuales y futuros. Asimismo, la adopción de metodologías con enfoque de cadenas de valor podría contribuir en el análisis de diversas sinergias del recurso hídrico con el logro de las metas e indicadores de la Agenda 2030. Las relaciones más sólidas del agua con las metas de desarrollo sostenible se pueden identificar en el ODS 2 de hambre cero, ODS 6 de Agua Limpia y Saneamiento, el ODS 7 de Energía Asequible y No Contaminante, el ODS 12 de Producción y Consumo Responsables, el ODS 13 de acción climática y el ODS 15 de Vida de Ecosistemas Terrestres.

Todos estos aspectos pueden ser potencialmente utilizados en un uso y aprovechamiento más sostenible e incluso del agua en la región, a partir de donde surge el objetivo de este estudio.

¹ Un estudio inicial se llevó a cabo en el marco del proyecto "Política de Agua - Innovación para la Resiliencia (Nexo)" de la GIZ.

C. Objetivos del estudio

Como se ha visto, actualmente existe una demanda por herramientas y capacidades que puedan ayudar a los países a desarrollar e implementar políticas hídricas, y de todos los sectores económicos vinculados, de manera más integrada. Es aquí donde surge la inquietud de si el enfoque de cadenas de valor, puede ser una herramienta de interés para el desarrollo y análisis de recursos naturales, en especial, de aquellos que involucran al sector hídrico. Lo anterior, dado que la mayoría de los marcos de análisis de cadenas de valor, se centran en servicios y bienes de consumo, debiendo examinar su transferibilidad al sector del agua.

Para explorar las posibilidades que las metodologías de análisis de cadena de valor ofrecen, es necesario realizar una revisión del estado actual de la literatura en la materia, así como las brechas existentes, permitiendo acotar la dirección de futuros estudios y generar recomendaciones de análisis. Con lo anterior, el objetivo del estudio es llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre las cadenas de valor en materia de recursos hídricos, con el fin de que sirva hacia una transición hídrica sostenible e inclusiva en la región. El concepto de transición hídrica ha sido impulsado por CEPAL para América Latina y el Caribe con el fin de alcanzar i) el derecho humano al agua y al saneamiento sin dejar a nadie atrás, ii) aumentar la igualdad de acceso y la asequibilidad en las tarifas, erradicando la pobreza del agua, iii) la eliminación de las externalidades negativas (conflictos, contaminación y sobreexplotación) y iv) desarrollar economías circulares a través de la cadena de valor del agua (CEPAL, 2023). En este contexto, el uso de este enfoque podría lograr impulsar políticas orientadas a lograr la transición hídrica sostenible e inclusiva apoyando, tanto en la forma de recomendaciones, como en el diseño, implementación y evaluación de políticas vinculadas.

En específico, el presente informe busca presentar la información existente, tanto en la forma de publicaciones, metodologías y experiencias descubiertas. Ello, considerando proyectos de escala local y nacional, así como como regional y global. Todo lo anterior, permitiendo explorar el potencial del análisis del enfoque de las cadenas de valor en materia de agua. Por ello, en su primer capítulo, el informe presenta las metodologías más utilizadas para llevar a cabo análisis de cadena de valor. Luego, en el segundo capítulo, ofrece una compilación de los distintos estudios que han aplicado este tipo de metodologías, que contemplan al agua como insumo, así como en cuanto a su conexión con sectores de agua potable, energía, alimentación y medioambiente. El tercer capítulo se enfoca en la consideración del agua también como producto, por ejemplo, en cuanto a su mejora en calidad y disponibilidad en el sector agua potable y saneamiento, o bien, en cuanto al reciclaje del mismo recurso y el sector energético. La estructura del documento cierra con un capítulo de recomendaciones en cuanto al potencial de aplicación y uso del enfoque de cadenas de valor en materia de agua.

I. Metodologías de análisis de cadena de valor y tendencias en recursos hídricos

El primero en acuñar el concepto de cadena de valor fue Michael Porter, profesor de la Escuela de Negocios de Harvard, quien en su libro “Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance” (1986), lo utiliza para identificar formas de generar más beneficios de las actividades de una organización empresarial y con ello obtener una ventaja competitiva que entrega valor al cliente final. Desde ahí, el concepto se ha ido expandiendo hasta conformar la definición actual donde la cadena de valor se refiere al conjunto de actividades requeridas para llevar un producto o servicio desde su concepción inicial hasta su producto final, incluyendo su posterior desecho o reciclaje (Kaplinsky y Morris, 2001).

Hoy en día, existen diversas metodologías para el análisis de cadena de valor. Dentro de las más comunes, se encuentra el mapeo de la cadena de valor, la evaluación de ciclo de vida, y el encadenamiento sectorial. Estas metodologías se analizan a continuación, considerando su potencial en cuanto a su aplicación en materia del agua y los recursos que inevitablemente están conectados con ella (véase cuadro 1).

Es de mencionar que el análisis de metodologías de cadena de valor con potencial aplicación en recursos hídricos es solamente una primera parte, ya que su uso dependerá de la variedad de parámetros que se desee revisar, así como la tecnología y equipamiento para contar con esa información; dependerá también del rol que adopte el agua, ya sea como insumo, componente clave o producto del proceso, y con ello, dependerá a la vez de la fuente, ya sea de ríos, pozos, u otra, cada una con parámetros y características específicas. Inevitablemente, el agua se presenta en forma diferenciada de acuerdo a su ubicación geográfica y temporalidad, existiendo altas fluctuaciones a tener en cuenta; así como las normativas y regulaciones locales, nacionales y acuerdos internacionales asociadas al recurso. Todos estos elementos deben ser considerados al seleccionar el método de análisis a utilizar.

Cuadro 1
Resumen metodologías de análisis de cadena de valor

Metodología	Subcategoría	Descripción
Mapeo de la cadena de valor	Mapeo/esquema de cadena de valor	Se realiza un diagrama o esquema en donde se identifican los grupos de actores involucrados, tanto aquellos productores, como intermediarios y usuarios o clientes finales, además de las actividades relevantes del proceso y los flujos de recursos implicados.
Evaluación de ciclo de vida (enfoque de abajo hacia arriba)	Evaluación de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment, LCA)	El análisis comienza definiendo el límite de recursos del sistema en cuanto a diversas escalas/variables (alcance). Luego evalúa el consumo de recursos en cada etapa o procesos productivo, utilizando descripciones detalladas de los procesos individuales. Requiere de muchos datos, lo que lo vuelve complejo de aplicar.
	Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)	El análisis de ciclo de vida se combina con métodos de impacto ambiental. Se selecciona un número de indicadores de impacto ambiental, se define cómo se cuantificarán, así como su importancia relativa en el sistema. Con ello se obtiene la contribución de cada flujo o proceso, al daño ambiental específico medido.
	Evaluación de Inventario del Ciclo de Vida (Life Cycle Inventory Assessment)	El análisis de ciclo de vida se basa en un análisis de inventario de los recursos utilizados en la producción de cierto bien o servicio, de tal forma de asegurar la existencia de estos recursos en cada una de las etapas o procesos (entradas y salidas) del sistema.
	Análisis de Flujo de Materiales	Cuantificación de la forma en que un elemento, compuesto o material está transitando a través de su ciclo de vida.
	Análisis integrado multiescala de metabolismos sociales y ecosistémicos (Multi-Scale Integrated Analyses of Societal and Ecosystem Metabolism, MuSIASEM)	Método de análisis de ecosistemas sociales, basado en mantener la coherencia y balance entre escalas o dimensiones de evaluaciones cuantitativas.
Encadenamiento sectorial (enfoque de arriba hacia abajo)	Análisis Insumo Producto (Input Output Analysis, IOA)	Analiza estadísticamente el nivel de integración, las sinergias y el encadenamiento de los distintos sectores, así como los actores, países o economías involucrados en el desarrollo del producto o servicio final.
	Análisis de Insumo Producto Ambiental (Environmental Input Output Analysis, EIOA)	Incorpora al IOA indicadores ambientales, lo que permite cuantificar el impacto productivo final de una empresa, una economía, un país o una región, en cuanto a parámetros ambientales.
	Modelo multirregional de insumo producto ambiental (Environmentally Extended Multi-Regional Input Output, EE-MRIO)	El modelado de insumos y productos multirregionales, MRIO, rastrea los flujos financieros entre los principales sectores económicos de los países. La extensión ambiental del enfoque, EE-MRIO, rastrea los flujos contemplando el ambiente como un sector más, o bien, como una condicionante del modelo.

Fuente: Elaboración propia.

A. Mapeo de cadenas de valor

El mapeo de la cadena de valor es una etapa inicial de análisis de un proceso productivo que tiene como objetivo identificar las actividades comerciales principales y de apoyo, así como todos los componentes asociados y las relaciones entre ellos (Umberger, 2014). Mooney (2014) afirmó que permite a los expertos ampliar sus perspectivas sobre las oportunidades y riesgos de las empresas, así como mejorar la calidad y eficiencia de las evaluaciones de desempeño.

Generalmente, el mapeo de la cadena de valor se usa para desarrollar estrategias de sostenibilidad y evaluaciones de tipo económicas, sociales o ambientales (Holweg y Helo, 2014). Así, los mapas de la cadena de valor se desarrollan para evaluar sistemáticamente el desempeño del proceso comercial actual e identificar potenciales mejoras. Este tipo de estudios se lleva a cabo como una actividad inicial para investigar las necesidades, impactos y adquisición de valor en cada etapa de la cadena de valor. El análisis se concreta con un diagrama o esquema, donde es posible identificar

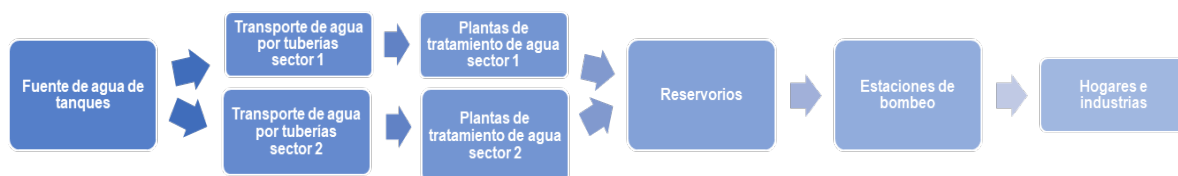
también a los grupos de actores involucrados, tanto aquellos productores, como intermediarios y usuarios o clientes finales. Asimismo, se plasman todos los procesos o las actividades que se llevan a cabo desde las fases iniciales hasta el desarrollo final del producto o servicio, así como todos los flujos de recursos implicados (Hawkes y Ruel, 2011). De esta forma, el esquema permite visualizar actores y procesos de mayor relevancia, así como áreas en donde existe potencial de mejora. Por lo mismo, el análisis de la cadena de valor se puede utilizar para evaluar por qué los productos están o no disponibles en comunidades específicas, el precio que están teniendo o debiesen tener y cómo se va gestando el producto, a lo largo de la cadena (Ibid.).

Asimismo, los mapas de cadenas de valor se pueden utilizar para diseñar e implementar soluciones para aumentar la disponibilidad, la asequibilidad y la calidad de los productos (Hawkes y Ruel, 2011). Pueden también apoyar la toma de decisiones respecto de la aplicación de nuevas tecnologías, e identificar potenciales mejoras en eficiencia y sostenibilidad de una empresa o sector. De esta forma, esta metodología puede apoyar en la identificación de mejoras de procesos y dinámicas en torno al agua, así como en cuanto a su vínculo con otros sectores relacionados, como la energía, seguridad alimentaria o los servicios ambientales.

Un ejemplo de mapeo de cadena de valor es utilizado en el estudio del suministro de agua potable y los sistemas de aguas residuales de Juzestán, en Irán, realizado por Chofreh y otros (2019). En el diagrama 1 se muestra el mapa de la cadena de valor de las instalaciones, desde los tanques de suministro a los sistemas de tratamiento de agua, de almacén y de distribución a los hogares e industrias, considerando una sistematización de los flujos del recurso en cuestión.

Mooney (2014) analiza las diversas razones por las que el mapeo de la cadena de valor es una buena solución para tender hacia la sostenibilidad. Indica que, en primer lugar, el proceso de mapeo de la cadena de valor proporciona una plataforma para la comunicación y el debate con las partes interesadas. Esto mejora la comprensión interna de las oportunidades comerciales que surgen del entorno externo de una organización. En segundo lugar, el proceso de mapeo revela la información faltante, incluidas las necesidades, los impactos y las brechas para cada entidad en la cadena de valor. Esto permite a las organizaciones ver qué partes interesadas deben participar en una cadena de valor sostenible; quiénes deben ser examinadas para una mayor divulgación; e identificar las actividades comerciales que necesitan mejoras. En tercer lugar, el mapeo de la cadena de valor amplía la perspectiva de los expertos al proporcionar formas concretas de pensar sobre el entorno externo de una organización. Finalmente, el proceso de mapeo permite a las organizaciones planificar informes y priorizar en temáticas de sostenibilidad. En este caso, el mapeo de la cadena de valor proporciona una descripción más tangible de la temática, favoreciendo el entendimiento y compromiso de las distintas partes interesadas.

Diagrama 1
Ejemplo de mapeo de la cadena de valor en el sistema de abastecimiento de agua para su tratamiento y distribución en la red de agua potable de Juzestán



Fuente: Elaboración propia en base a Chofreh y otros (2019).

Nota: Este mapa representa el sistema de agua potable y saneamiento, desde la captura inicial hasta su procesamiento y distribución entre hogares e industrias.

B. Evaluación del ciclo de vida

La evaluación o análisis del ciclo de vida (LCA, debido a su nombre en inglés *Life Cycle Assessment*) es un enfoque de "abajo hacia arriba". El análisis comienza definiendo el límite de recursos del sistema en cuanto a diversas escalas o parámetros. A partir de ellas, evalúa el consumo general de recursos en cada uno de los procesos de producción individuales, utilizando descripciones detalladas de cada uno. LCA tiene la capacidad de proporcionar análisis de procesos detallados en productos específicos, pero para ello requiere grandes cantidades de datos, en especial en industrias que involucran a múltiples productos (White y otros, 2018). Esta metodología científica ha sido ampliamente utilizada, al punto de ser estandarizada bajo las normas ISO², para evaluar y cuantificar los potenciales impactos ambientales generados por un producto o servicio. Ello, a lo largo de todo el ciclo de vida, referido a las etapas de extracción y procesamiento de materias primas, fabricación, envasado y distribución, uso y fin de vida del producto o entrega del servicio (Boulay, 2014).

A partir de esta metodología, surgen dos métodos de evaluación. El primero es la evaluación del impacto del ciclo de vida (*Life Cycle Impact Assessment*, LCIA) desarrollado para acotar los criterios a categorías de impacto ambiental. Dentro de las categorías ambientales más utilizadas, se pueden mencionar *CML 2 Baseline 2000*, *Eco Indicator 99*, Diseño Ambiental de Producto Industrial (*Environmental Design of Industrial Product*, EDIP) 96, Estrategia Prioritaria Ambiental (*Environment Priority Strategy*, EPS) y *Ecopoints 97*³. Tanto *CML 2 Baseline 2000*, como EDIP 96, son métodos orientados a problemas donde se contabiliza la participación de cada flujo de proceso en un efecto ambiental, como pudiera ser el calentamiento global o la eutrofización, entre otros (Renou y otros, 2008). Las otras tres categorías ambientales se basan en el daño, lo que significa que se modela el daño a la salud humana o del ecosistema causado por los efectos ambientales antes mencionados (Ibid.). Cualquiera que sea el método, el cálculo de impactos está determinada por la norma ISO 14.042⁴ e incluye tres pasos: selección de categorías de impactos, clasificación y caracterización. De esta forma, primero se determinan los impactos a considerar, así como los indicadores de cada uno y modelos a utilizar para su estimación; para luego, en la etapa de clasificación, asignar datos procedentes de inventario, a cada impacto, o más bien, a cada categoría de impacto, según el tipo de efecto ambiental esperado. El paso de caracterización transforma los flujos de inventario en indicadores de impacto, cuantificados por la contribución de cada uno de estos flujos, a un daño ambiental específico. De esta forma, al final de este proceso, se asigna un valor ponderado a cada impacto ambiental, permitiendo una toma de decisiones con potencial de ser sopesada con las distintas partes interesadas.

Un segundo método de evaluación que surge a partir del LCA es la evaluación de inventario del ciclo de vida (*Life Cycle Inventory Assessment*). Aquí, la evaluación de los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, se lleva a cabo mediante la compilación de un inventario de recursos, considerando sus entradas y salidas. Ello, considerando el ciclo de vida de la producción por completo, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados con los ingresos y egresos, e interpretando los resultados por medio de un análisis de inventario y evaluación de impacto. La LCA de inventario se ha utilizado en la gestión de residuos sólidos para evaluar los impactos ambientales de estos sistemas; para comparar el desempeño ambiental considerando diferentes escenarios y variables, en la gestión de residuos sólidos mixtos; así como para evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de distintas prácticas de gestión de residuos (Thanh y Matsui, 2012).

² ISO 14.040 (2006), Análisis de Ciclo de Vida.

³ *CML 2000* fue desarrollado por el Centre of Environmental Studies (CML), University of Leiden en Países Bajos; *Eco Indicator 99* por Pré Consultants, Amersfoort en Países Bajos; EDIP 96 por la Technical University of Denmark, en Lyngby, Dinamarca; EPS por Chalmers University of Technology, en Gotemburgo, Suecia; y *Ecopoints 97* Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Berna, Suiza (Renou y otros, 2008).

⁴ ISO 14.042 (2000), Guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto de ciclo de vida (AICV).

Detrás de los análisis de ciclo de vida, se pueden encontrar los análisis de metabolismo de sistemas sociales. Aquí, el concepto de metabolismo social se refiere a todas las transformaciones energéticas y materiales que están teniendo lugar dentro de un sistema social abierto como es una empresa, una economía, un país o una región, así como las transformaciones ocurriendo entre este sistema y su entorno (Giampietro, Mayumi y Sorman, 2011). De esta forma, el estudio de estas transformaciones, así como el desarrollo de herramientas operativas para llevarlo a cabo, se ha pasado a llamar análisis de metabolismo social. De hecho, los estudios de LCA, y los de input output, a revisar a continuación, son considerados como herramientas de análisis de metabolismos sociales de acuerdo a ciertos autores (Gerber y Scheidel, 2018).

A su vez, de las herramientas de estudio de los metabolismos sociales, en cuanto al análisis de ciclo de vida de inventario, destaca el análisis de flujos de materiales (MFA, por sus siglas en inglés) y el análisis integrado multiescala de metabolismos sociales y ecosistémicos (*Multi-Scale Integrated Analyses of Societal and Ecosystem Metabolism*, MuSIASEM). El primero se refiere a una cuantificación de la forma en que un elemento químico, compuesto o material está transitando a través de su ciclo de vida (Brunner y Rechberger, 2015). Por su parte, el MuSIASEM es un método de inventario de recursos, que busca mantener la coherencia o balance entre los recursos a distintas escalas y dimensiones (Ibid.). Estas últimas pueden ser de tipo económica, demográfica, energética.

Tanto el método de evaluación del ciclo de vida como sus adaptaciones, han sido utilizadas en el estudio de las dinámicas de la producción de un bien, servicio o a nivel de ecosistema, contemplando los múltiples recursos con los cuales se relaciona. De esta forma, esta línea metodológica comprende un potencial de adopción en recursos hídricos, al permitir identificar las sinergias y dinámicas existentes entre los distintos sectores interrelacionados, como lo son el agua potable, el sector energético, la alimentación y el medioambiente.

C. Encadenamiento sectorial

El encadenamiento sectorial, también llamado análisis de insumo producto, por su nombre en inglés, *Input Output Analysis* (IOA) es un enfoque "de arriba hacia abajo" que comienza en el nivel más alto definido por el límite del sistema y luego se desglosa en niveles más bajos de acuerdo con sublímites definidos. Feng y otros (2011) comparan los enfoques de arriba hacia abajo versus los de abajo hacia arriba y resumen las ventajas de IOA sobre LCA indicando que los primeros pueden distinguir entre usuarios intermedios y finales; son escalables y capaces de rastrear cadenas de suministro regionales, nacionales o globales completas; incluyen el consumo directo e indirecto a lo largo de la cadena de suministro; y evitan el error de truncamiento "de abajo hacia arriba" (Feng y otros, 2011; White y otros, 2018).

El análisis de insumo-producto ambiental (EIOA) incorpora indicadores ambientales para medir diferentes aspectos de una economía en un enfoque integrado y sistemático. EIOA es capaz de rastrear múltiples impactos ambientales impulsados por la producción de orden infinito, entre sectores dentro de una región económica y entre regiones. En White y otros (2018) adoptan el término de presiones ambientales, concepto promovido por la Unión Europea para referirse a los indicadores ambientales, como escasez de agua, o emisiones de GEI y óxido de azufre, en el análisis (European communities, 2011). Así, muestran las presiones que las actividades humanas ejercen sobre el medio ambiente. En el referido estudio, el indicador de uso de la tierra agrícola representa la tierra desplazada en la forma de nutrientes por la producción de alimentos, por ejemplo.

A partir del IOA, surge el modelo multirregional extendido de insumo producto ambiental (*Environmentally Extended Multi-Regional Input Output*, EE MRIO). Este análisis generalizado de insumo producto aumenta el modelo básico con conjuntos de datos adicionales, además de supuestos del

modelo, brindando información sobre la huella ambiental de la actividad económica y las externalidades asociadas. El análisis EE MRIO es un método bien establecido en los campos de la economía aplicada para analizar las cadenas de valor globales, así como en la economía ambiental para el cálculo de las huellas ambientales de agentes específicos. Ejemplo de esto último es su uso en la medición de la huella global de gases de efecto invernadero causada por el consumo doméstico en un país específico.

La extensión ambiental de los modelos MRIO se puede hacer de varias maneras, ya sea aumentando la matriz de coeficientes técnicos con filas y/o columnas adicionales que reflejen los impactos ambientales o incluyendo sectores de ecosistemas adicionales donde los flujos entre estos sectores y los sectores económicos se registran.

De esta forma, diversos enfoques de análisis de cadenas de valor incorporan aspectos de sostenibilidad, las cuales pueden ser aplicadas en temáticas ambientales, sociales y económicas. A continuación se revisa su potencial en el análisis de la cadena de recursos naturales, con foco en las que comprenden al agua.

II. Agua como insumo en indicadores y cadenas de valor

El análisis de cadenas de valor y el agua es todavía incipiente, con foco inicial en el rol del recurso como insumo en procesos que requieren de su uso y aprovechamiento, como lo son, el sector agrícola, energético, industrial y doméstico. Así, una serie de indicadores se han desarrollado para estimar la disponibilidad de agua necesaria para consumo de la población. Estas se revisan en el apartado A del presente capítulo.

Las primeras preocupaciones del agua como insumo de procesos productivos, surgen al estimarla como parte de las exportaciones agrícolas en los años 90, consolidándose como concepto de agua virtual y/o huella hídrica una década después (Allan, 2003). Dentro de la literatura, los estudios en torno a la estimación del agua virtual y de la huella hídrica, como insumos de otros procesos productivos, utilizan metodologías de encadenamiento sectorial, los cuales se abordan en detalle a lo largo del capítulo, en la sección B.

Asimismo, existen estudios que analizan cadenas de valor que contemplan el rol del agua como insumo de diversos procesos económicos y productivos, considerando diversas metodologías de análisis. Aquí, en el último tiempo, se han incorporado parámetros de sostenibilidad y otros aspectos ambientales también. Estos se revisan en la sección C.

A. Indicadores de disponibilidad hídrica para la población

Para medir el agua requerida para suplir la demanda hídrica de la población y de sus actividades asociadas, se han desarrollado múltiples indicadores. El más simple y extendido es el indicador de Falkenmark, que representa el agua disponible per cápita, proponiendo como umbral de estrés hídrico 1.700 m³ de agua renovable por persona al año; considerando 1.000 m³ y 500 m³ como umbrales para escasez y escasez absoluta respectivamente (Falkenmark y otros, 1989). Si bien este indicador tiene la ventaja de ser fácil de entender y los datos fácilmente accesibles, las variaciones estacionales, la infraestructura y las necesidades específicas de una población no se tienen en cuenta, y la escala del país

parece no ser relevante para países grandes como China o Estados Unidos (Boulay, 2014). Luego, el índice fue adaptado integrando límites de desarrollo humano siguiendo parámetros internacionales, creando el índice social de estrés hídrico (Ohlsson, 2000). Con ello, el agua es vista como un insumo fundamental que no contempla únicamente aspectos de supervivencia, sino que contempla una visión más amplia de desarrollo humano.

Los indicadores posteriores intentaron evaluar las necesidades de la población de manera más representativa, incorporando las actividades económicas vinculadas. Por ejemplo, Shiklomanov (1997) evaluó la demanda de la población para los sectores agrícola, industrial y doméstico. Su método fue perfeccionado al reemplazar la variable de demanda de cada sector, con mediciones de impuestos, con la intención de representar la escasez de una forma más objetiva (Raskin y otros, 1997; Boulay, 2014).

Con ello, más recientemente, se ha propuesto el Índice de Estrés Hídrico (*Water Stress Index*, WSI), con un método para evaluar los impactos relacionados con el uso del agua en LCA (Pfister y otros, 2009). Este se basa en una tasa que mide la relación entre la extracción total anual de agua dulce, como huella hídrica, y la disponibilidad hidrológica. De esta forma, el índice incorpora parámetros de variación estacional, basado en datos climáticos. A partir de este índice, surge también el propuesto por Döll y colaboradores (2009), quienes proponen que el parámetro de escasez de agua debe tener en cuenta el consumo de agua y no las extracciones como lo hace el WSI. Asimismo, su indicador contempla un parámetro de variaciones estacionales menos optimista, lo que resulta en un valor inferior que indican, representa mejor la escasez de agua en las regiones semiáridas (Döll y otros, 2009).

Un indicador similar ha sido utilizado para medir el progreso de la meta 6.4. de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, de aumentar sustancialmente la eficiencia en el uso del agua en todos los sectores. En específico, el indicador 6.4.2 rastrea la cantidad de agua dulce que extraen todas las actividades económicas, en comparación con el total de recursos renovables de agua dulce disponibles, y así, cuando un territorio retira el 25% o más de sus recursos renovables de agua dulce, se dice que sufre "estrés hídrico" (UN Water, 2022).

Con ello, la búsqueda de índices para contabilizar la disponibilidad hídrica ha derivado en parámetros que contemplan aspectos sociales, económicos y ambientales, y utilizan enfoques de cadenas de valor.

B. Agua virtual y huella hídrica

En cuanto a parámetros que contemplan la contabilización del agua dentro de cadenas de valor ligadas a procesos productivos y/o dinámicas globales, principalmente se han desarrollado los índices de agua virtual y huella hídrica. Véase el cuadro 2, a continuación, con un listado de estos métodos, los cuales se abordan en detalle en el presente acápite.

1. Agua virtual

El concepto de agua virtual se extiende más allá del agua contenida físicamente en el producto para incluir el agua incorporada en los productos, es decir, la que se utiliza a lo largo de toda la cadena de producción de bienes y servicios (Fang, Heijungs y De Snoo, 2014; White y otros, 2018). De esta forma, al identificar el agua virtual asociada a un producto o servicio, se cuantifica el flujo de comercio virtual de agua llevado a cabo a lo largo de su producción, hasta su usuario o cliente final; el recurso hídrico incorporado comercializado entre regiones o exportado a países extranjeros. Dado que va asociada a metodologías de análisis de cadenas de valor, habría dos enfoques en la contabilidad comercial virtual del agua, uno "de abajo hacia arriba" que utiliza el método de LCA y otro "de arriba hacia abajo", que se asocia a la estimación de agua virtual con IOA (White y otros, 2018).

Cuadro 2
Resumen metodologías de análisis de cadenas de valor cuantificando el uso de agua

Metodología	Subcategoría	Descripción
Agua virtual	Agua virtual	Cuantifica el agua incorporada en los productos a lo largo de toda su cadena de producción en un área específica.
	Agua virtual y LCA (de abajo hacia arriba)	Primero define el límite del sistema en sus distintas etapas, para luego evaluar el consumo de agua utilizados en cada uno de los procesos de producción.
	Agua virtual y IOA (de arriba hacia abajo)	A partir de los usos del proceso productivo, se desglosan las etapas/niveles más bajos de uso de agua.
Huella hídrica	Huella Hídrica (HH), también conocida como Water Footprint (WF)	Estima la cantidad de agua requerida para producir bienes y servicios en un área específica, distinguiendo el agua de lluvia empleada (HH verde), el agua superficial y subterránea (HH azul) y, el agua contaminada (HH gris).
	HH e IOA	Estima la cantidad de agua utilizada en el desarrollo del producto o servicio final, en cuando a su nivel de integración, las sinergias y el encadenamiento con otros sectores, etapas o lugares evaluados.

Fuente: Elaboración propia.

La obtención de agua virtual ha sido ampliamente utilizada en productos agrícolas. Aquí, inicialmente se utilizaban metodologías de agua virtual con LCA. De esta forma, es posible multiplicar el contenido de agua virtual de un cultivo en particular, por la cantidad comercializada, obteniendo el volumen del flujo de agua virtual para ese cultivo. Por ejemplo, Allan (1997) estimó que el agua virtual incorporada en la importación de cereales en los países del Medio Oriente y África del Norte hacia Egipto, superó el uso total anual de agua para la producción de alimentos en el propio país.

Una siguiente línea de estudios cuantifica los flujos de agua virtual asociados con el comercio internacional estudiando el papel del agua virtual en el cambio de la escasez hídrica y en la redistribución del agua entre países y regiones. Entre los artículos y autores más reconocidos, es posible mencionar a Hoekstra y Hung (2005), Ma y otros (2005), Yang y otros (2006), Yang y Zehnder (2007), Guan y Hubacek (2007), Chapagain y Orr (2008), Chapagain y Hoekstra (2008), y Lenzen y otros (2013). Así, por ejemplo, a nivel internacional, se ha estudiado que los flujos de agua virtuales entre naciones son de alrededor de 1000 km³ a 1 (siendo mil veces más la exportación de agua virtual que la importación), de los cuales, 695 km³ a 1 se atribuyeron al comercio relacionado con cultivos (Hoekstra y Hung, 2005). De esta forma, al estar comercializando productos agrícolas, hay una transacción hídrica que también se lleva a cabo, relevante de considerar.

En los últimos años, la contabilidad de los flujos de agua virtual en los sectores industriales se está estimando mediante la adopción de la entrada de agua como un multiplicador del factor de producción en los IOA (Lenzen, 2001). Así, los enfoques de IOA se han aplicado cada vez más a investigar los vínculos interregionales e intersectoriales del uso del agua, a través del comercio de agua virtual (Guan y Hubacek, 2007; Lenzen, 2009; Lenzen y otros, 2013; Wang y Wang, 2009; Wang, Xiao y Lu, 2009; Yu y otros, 2010). Algunos estudios han ampliado la evaluación del agua virtual para cubrir todos los sectores económicos utilizando IOA a nivel regional y nacional (Dietzenbacher y Velazquez, 2007; Zhang, Yang y Shi, 2011; Zhao, Chen y Yang, 2009; Zhao y otros, 2010). Esta línea de investigación, denominada modelos multirregionales de insumo-producto, exploran la relación entre el uso de agua en la cadena de valor, y sus impactos en la producción y el consumo, principalmente a nivel macroeconómico (Bunsen y Finkbeiner, 2022). Por ejemplo, ha sido utilizada principalmente a escala macroeconómica para medir el consumo de agua por parte de todos los bienes y servicios de Japón (Oto y otros, 2015) y evaluando el total de agua utilizada en el comercio Europeo a nivel de producto (Lutter y otros, 2016).

Similarmente, Zhang y otros (2011) utilizan el IOA para investigar los impactos del comercio internacional de China en sus recursos hídricos y usos, mostrando un aumento significativo en el agua virtual neta exportada. El aumento es sostenido en lugares en el norte de China, donde escasea el agua,

lo que indica una creciente presión sobre los recursos hídricos. Aquí, por ejemplo, los resultados sugieren que las ganancias económicas de China a partir de la intensificación del comercio internacional tuvieron un alto costo en cuanto a sus recursos hídricos, impactando la sostenibilidad del país. Este aspecto no ha sido considerado al evaluar únicamente las ganancias tangibles percibidas.

2. Huella hídrica

Por su parte, la Huella Hídrica (HH) es una metodología desarrollada por la *Water Footprint Network*, como herramienta o indicador que permite estimar la cantidad de agua requerida para producir bienes y servicios en un área específica (Hoekstra y otros, 2011). El concepto de "huella" se origina a partir de la idea de huella ecológica (Rees, 2006). La huella captura la cantidad total de un recurso que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por un individuo, un hogar, una empresa, un pueblo o ciudad, una nación o región, dentro de sus límites espaciales (Daniels, Lenzen y Kenway, 2011). La HH se compone de la huella azul, verde y gris. Ésta evalúa el uso de agua directo e indirecto, tanto consumida (azul y verde) como contaminada (gris), asociado a un sistema (organización, proceso, producto, nación, etc.).

Aquí, el concepto de huella hídrica se entrelaza con el de una economía circular. Esta última es un enfoque económico que busca disociar los procesos productivos del consumo de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema. En el caso que una industria recicle completamente su agua, de modo que no requiere obtenerla del entorno (no requiera agua verde o azul), al mismo tiempo que captura y reutiliza los productos químicos y el calor que se introducen en el agua durante los procesos industriales (sin generar agua gris), estarían logrando una economía completamente circular, en el que no habría incremento marginal de la huella hídrica (Hoekstra, 2016). En la agricultura no se puede evitar una cierta huella hídrica, pero esta puede reducirse con las mejores técnicas de cultivo y las mejores prácticas disponibles (Ibid.). En el caso de las empresas de agua potable y saneamiento, es posible obtener beneficios económicos de su reducción, ya que invirtiendo en sistemas de tratamiento de aguas residuales permitiría obtener ingresos a 20 años de USD \$10,2 por persona, representando una relación costo/beneficio de 1,34 (Saravia Matus y otros, 2023).

Múltiples estudios se han llevado a cabo para contabilizar la HH, a tal punto que actualmente es posible conocer la de prácticamente cualquier producto, país o localidad.

En el estudio de Zhao y otros (2010), se construye un análisis de insumo producto (IOA) para contabilizar la HH y el comercio de agua virtual de los productos finales de consumo en los años de estrés hídrico de la cuenca del Río Haihe en China (años 1997, 2000 y 2002). Las tablas de transacciones insumo producto muestran una HH de más de 40 mil millones de m³ por años, volúmenes superiores al agua utilizada directamente en la cuenca. Luego se usa un indicador de intensidad de HH para evaluar si las actividades económicas en la cuenca son consistentes con la estrategia de agua virtual, mostrando que la cuenca estaba importando agua virtual a través del comercio de productos alimenticios crudos y procesados en toda la circulación económica.

C. Análisis del agua como insumo en cadenas de valor multipropósito

En la estimación del agua requerida en las distintas cadenas de valor se identifican estudios que estiman los tradeoffs existentes entre distintos sectores productivos, a nivel de cuenca o país, los cuales utilizan diversas metodologías de análisis. En el cuadro 3 se resumen los estudios más relevantes, junto a las metodologías utilizadas, sectores económicos y productivos considerados y escala analizada.

Uno de los primeros estudios sobre el vínculo del sector agua potable y el sector energía utilizando metodologías de análisis de cadenas de valor, fue desarrollado en China por Kahrl y Roland-Holst (2008). Los autores utilizaron IOA, centrándose en el consumo energético del uso del agua

para distintos fines, descubriendo que los requisitos de energía en el suministro de agua no agrícola eran insignificantes. La demanda energética de este sector representa menos del 0,5% del consumo total de energía de China, pudiendo aumentar en 1-2% si se tiene en cuenta el consumo de energía para riego.

Otros estudios que se enfocan en el agua como insumo en distintas interacciones entre sectores productivos, utilizan metodologías de EIOA. Por ejemplo, Karkacier y Goktolga (2005) estudiaron las interrelaciones entre energía y alimentos en Turquía utilizando modelos IOA para analizar explícitamente la interdependencia entre las industrias agrícola y energética.

Cuadro 3
Resumen estudios de cadenas de valor en distintos sectores económicos y productivos que utilizan agua

Estudio	Metodología	Sectores económicos y productivos	Escala
Kahl y Roland-Holst (2008)	IOA	Agua Potable-Energía	Nacional (China)
Duan y Chen (2016)	IOA y análisis de flujo de materiales (Material Flow Analysis, MFA)	Agua Potable-Energía-Medioambiente (emisiones de carbono)	Local (Beijing, China)
Karkacier y Goktolga (2005)	EIOA	Energía-Alimentación	Nacional (Turquía)
Li y otros (2012)	EIOA y LCA	Energía (eólica)-Alimentación-Medioambiente (emisiones de carbono)	Nacional (China)
Scown y otros (2011)	EE-MRIO	Agua Potable y Saneamiento-Energía (combustibles)	Nacional (Estados Unidos)
Zhang y Anadon (2013)	EE-MRIO y LCIA	Agua Potable y Saneamiento - Energía	Nacional (China)
Holland y otros (2015)	EE-MRIO	Agua Potable y Saneamiento-Energía	Global
Daniels y otros (2011)	EE-MRIO	Agua Potable y Saneamiento-Alimentación (comercio internacional)	Global
Lenzen y otros (2013)	EE-MRIO	Agua Potable y Saneamiento-Alimentación (comercio internacional)	Global
Rulli y otros (2013)	EE-MRIO y modelos hidrogeológicos	Agua Potable y Saneamiento-Territorios	Global
Ridoutt y otros (2018)	EE-MRIO	Alimentación y sostenibilidad (sequía)	Global
White y otros (2018)	MRIO	Agua Potable y Saneamiento-Energía-Alimentación	Global (Asia Oriental)
Villamayor-Tomas y otros (2015)	Mapeo de Cadenas de Valor y marco Análisis y Desarrollo Institucional (Institutional Analysis and Development, IAD)	Agua Potable y Saneamiento-Energía-Alimentación	Local (casos locales de Alemania, España, India y Kenia)

Fuente: Elaboración propia.

Un modelo híbrido EIOA-LCA fue utilizado para evaluar el consumo de agua y las emisiones de CO₂ del sector de energía eólica de China en Li y otros (2012). Se identificó que, aunque el consumo directo de agua de la energía eólica es nulo, el consumo de agua a lo largo del ciclo de vida de la energía eólica (consumo directo e indirecto) es de 0,64 (l/kWh), siendo las industrias primarias las que representan la mayor parte de este consumo, con un 51%. La agricultura representa el 25 %, los servicios agrícolas, forestales, ganaderos y pesqueros representan el 11%, 8%, 5% y 2% del consumo total de agua de la energía eólica, respectivamente. El estudio muestra que, incluso equipada con su ciclo de vida completo, la energía eólica consume menos agua que el sistema de generación de energía convencional de ciclo combinado de gas natural más eficiente (0,7 l/kWh).

El uso de agua como insumo en la industria de energía ha sido examinado a escala nacional, regional y global utilizando modelos multirregionales de insumo-producto extendidos para fines ambientales (*environmentally-extended multi-regional input-output analysis*, EE-MRIO) (Kitzes, 2013).

Por ejemplo, en Scown, Horvath y McKone (2011) analizan la HH de combustibles para Estados Unidos, mientras que en Zhang y Anadon (2013) lo combinan con el método de evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA) basado en el marco *Eco-indicator 99*, para analizar las interrelaciones en China. Asimismo, Holland y otros (2015) investigaron el impacto de las demandas energéticas a nivel global, utilizando para ello técnicas de EE-MRIO de distintos países del mundo, en cuanto a las presiones energéticas sobre los recursos de agua dulce. Expresado en términos de consumo de agua dulce, un aumento del 1% de la actividad económica en el sector agrícola, representa 76% del agua dulce adicional consumida.

En Daniels, Lenzen y Kenway (2011) se utiliza el mismo modelo de análisis de insumo producto ambiental para múltiples regiones (EE-MRIO) para establecer la geografía del agua incorporada al sistema de comercio internacional y complementar los enfoques basados en procesos para HH, expandiendo su cobertura a lo largo de la cadena de suministro. Un modelo similar ha sido utilizado para evaluar los flujos de agua entre 187 países, con el fin de evaluar el componente de la escasez hídrica en el agua virtual transada (Lenzen y otros, 2013). Con el modelo, se identifica que los principales flujos de agua provienen de lugares con escasez hídrica, donde destaca el agua destinada al cultivo de algodón en Pakistán, usado en la fabricación de ropa comprada en USA.

En cuanto a las interrelaciones entre el uso del agua, territorios y sistemas ambientales, esta metodología fue combinada con un modelo hidrogeológico, para comparar las transacciones transnacionales de tierras —en el artículo, identificado como el proceso de acaparamiento de tierras— y la apropiación de los recursos de agua dulce (Rulli, Savioli y D’Odorico, 2013). Se identifica que el acaparamiento de tierra y, por consiguiente, de agua está ocurriendo a un ritmo alarmante en todos los continentes excepto en la Antártida. Al estudiar los agentes y conductores detrás de las transacciones de tierra de gran escala, o Large-Scale Land Transactions (LSLT), se identifica que estas están dirigidas a la agricultura, por encima de otros sectores, y particularmente a cultivos flexibles, referido a aquellos cultivos que se usan tanto para alimentos como para energía (Saravia Matus, Delincé y Gomez y Paloma, 2013). Así, los estudios reflejan los desafíos de la seguridad alimentaria y energética de estos movimientos económicos, ambos íntegramente vinculados al sector hídrico.

El enfoque transnacional interregional de IOA, el *Multi-Regional Input Output* (MRIO), se utiliza en un análisis que identifica los nexos entre los tres sectores: agua, energía y alimentación para Asia oriental, evaluando las demandas competitivas de estos recursos y sus impactos ambientales (White y otros, 2018). Este análisis muestra los flujos virtuales ocultos de agua, energía y alimentos incorporados en el comercio interregional, intrarregional y transnacional. Se concluye que la actual estrategia nacional de crecimiento económico orientada a la exportación de China en el este de Asia no es sostenible desde la perspectiva del enfoque Nexos, consumiendo una gran cantidad de recursos dentro de su territorio para satisfacer las demandas de los consumidores en Japón y Corea del Sur (White y otros, 2018). El estudio alcanza a estimar que las exportaciones virtuales del este de China incluyeron más de 1200 millones de m³ de agua escasa, 61,3 millones de toneladas (CO₂ equivalente) de gases de efecto invernadero (CO₂, NH₄ y N₂O) y 2 millones de toneladas de emisiones de óxido de azufre (Ibid.).

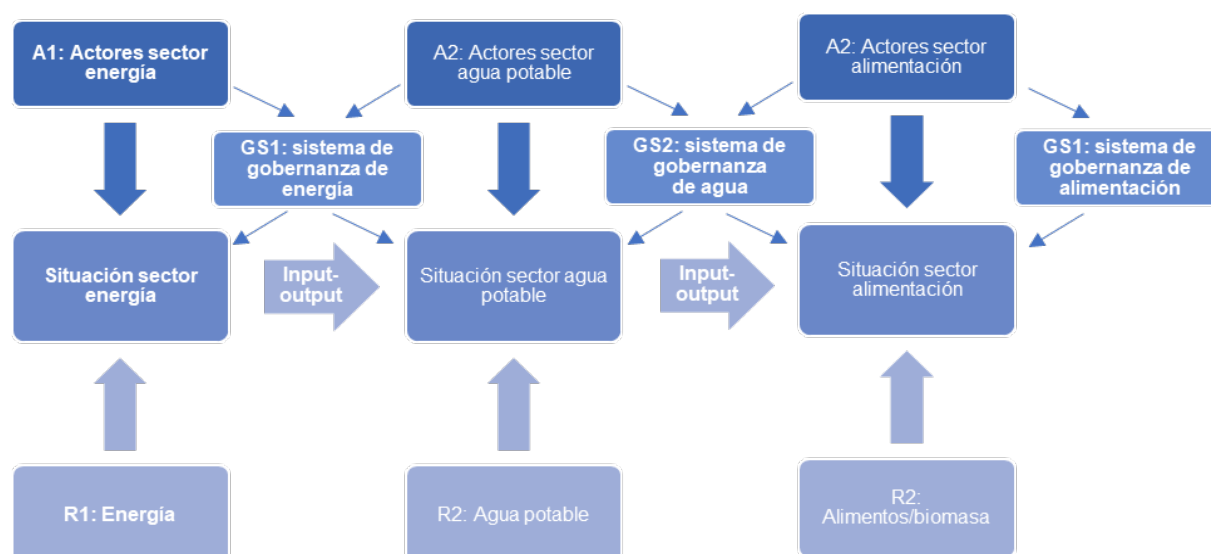
Investigadores han recurrido a este tipo de análisis para incorporar los impactos sobre la sostenibilidad, a través de modelos de EE-IOA (Kitzes, 2013). Aquí, por ejemplo, un estudio vincula la demanda hídrica de productos agrícolas con el problema de la escasez de agua (Ridoutt y otros, 2018). Dado que utilizan un modelo EE-IOA geoespacial, pueden hacer el cálculo y tradeoffs entre el agua utilizada en producción agrícola, y su efecto en índices de sequía, tanto para Australia como para el resto del mundo (Ibid.).

En Villamayor-Tomas y otros (2015), también estudian tres sectores interconectados: agua, energía y alimentos, esta vez, considerando el papel de las instituciones en la mediación de los resultados ambientales. Ello, mediante la combinación del marco de análisis y desarrollo institucional (IAD, por su nombre en inglés) y el análisis de cadena de valor (Villamayor-Tomas y otros, 2015).

Específicamente analizan las cadenas de valor de los tres sectores, como redes de situaciones de acción (*networks of action situations, NAS*) donde las decisiones de los actores dependen no solo de la estructura institucional de una situación particular, sino también de las decisiones tomadas en situaciones relacionadas (Villamayor-Tomas y otros, 2015). Con esta perspectiva, las políticas se entienden como amalgamas de instituciones y actores que interactúan en el uso y la producción de agua potable, energía y recursos alimentarios (Ibid.). Por lo tanto, pueden mediar en la aparición de compensaciones y sinergias entre diferentes cadenas de producción. De esta forma, esta metodología permite evaluar cómo las políticas afectan la producción, distribución y/o apropiación de energía en el sector energético; agua y energía en el sector de servicios de agua potable y saneamiento; agua en el sector alimentario; y biomasa en el sector de producción de alimentos; además de cómo estas políticas interactúan y afectan a la sostenibilidad neta del sistema interconectado (véase diagrama 2).

El marco se aplica a cuatro estudios de caso, en donde resalta —para fines de este estudio— el uso de energía para la asignación de agua y la producción de alimentos en un proyecto de riego en España, y la asignación de agua para la producción de alimentos y uso urbano en Kenia.

Diagrama 2
Ejemplo de mapeo de cadenas de valor, en cuanto a las interacciones entre agua, energía y alimentación



Fuente: Adaptado de Villamayor-Tomas y otros (2015).

De esta forma, se observa el uso de metodologías para la estimación de las sinergias de los distintos recursos, usando al agua como su conector. Se percibe también la preponderancia de estos estudios en grandes economías, como China y Estados Unidos, debido a su relevancia en términos económicos globales. Lo mismo con una mayor tendencia a utilizar estas metodologías en la estimación y análisis de las interconexiones entre el sector energético, una vez más, debido al peso económico de este sector en la economía global, así como en los mercados nacionales y locales.

III. Agua como producto de cadenas de valor

El análisis de cadenas de valor suele considerar el agua como producto en ciertas industrias determinadas, como el agua potable y saneamiento, y el sector energético. Aquí, el agua entra al sistema o proceso productivo como insumo también, y el producto el recurso transformado, ya sea en términos de calidad, de ubicación, o bien en cuanto a su estado. En estas industrias, los métodos de análisis con enfoque de cadenas de valor comprenden estudios de mapeo y de análisis de ciclo de vida. A continuación, se explica en detalle este tipo de estudios y se exponen algunos ejemplos.

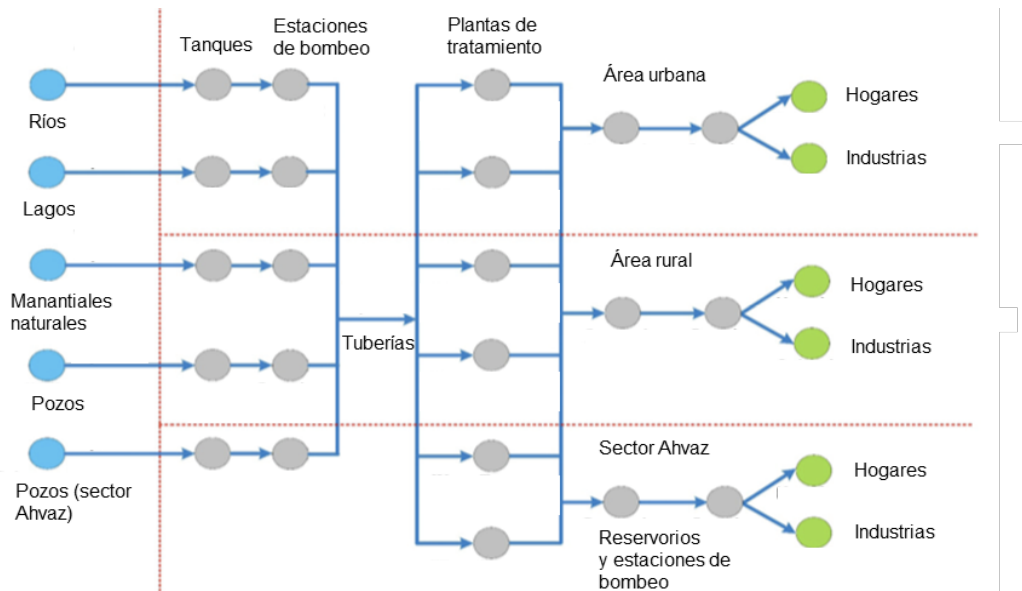
A. Mapeo de cadenas de valor en agua potable y saneamiento

El estudio de Chofreh y otros (2019) realiza el mapeo de la cadena de valor de los sistemas de agua potable y desechos buscando mejorar su sostenibilidad. Para ello, luego de llevar a cabo una revisión de literatura y seleccionar los casos a estudiar, se realizan múltiples actividades de recolección de datos. Esto incluye entrevistas semiestructuradas, análisis de documentos, discusiones informales y procedimientos de observación directa. Las entrevistas involucraron a tomadores de decisiones y expertos, que son responsables de los sistemas de agua y alcantarillado de la zona en cuestión, además de contratistas. Los entrevistados fueron seleccionados por su participación directa en las principales actividades de agua y saneamiento urbano en términos de diseño, implementación y seguimiento/control de tales proyectos. Por medio de estas técnicas de recopilación de datos, el estudio investigó la cadena de valor de agua y saneamiento urbano de una zona en particular y cómo cada entidad en la cadena de valor aporta valor a la organización.

El análisis se realizó para el caso de Juzestán (Khuzestan, en inglés), en Irán, donde descubren que las faltas de integración del concepto de sostenibilidad a lo largo del sistema, conduce a una gestión ineficaz e ineficiente del agua. Aquí, el mapeo muestra el sistema como un conjunto de componentes, en donde se incluyen: los sistemas de extracción de aguas subterráneas, los sistemas de abastecimiento en la zona urbana, los sistemas de tratamiento y potabilización, los sistemas de aguas residuales, los sistemas de tratamiento de aguas residuales, además de los principales actores involucrados en las actividades, otros productos y servicios de la cadena de valor (véase ejemplo en diagrama 3). Los

resultados del análisis de mapeo de la cadena de valor de agua y alcantarillado urbano de Juzestán revelaron que el enfoque de sostenibilidad no se ha implementado de manera efectiva, ya que los sistemas de producción de agua y aguas residuales no están gestionados de forma sostenible. Esto se obtiene de las entrevistas con expertos, así como de los datos obtenidos en terreno.

Diagrama 3
Ejemplo de mapeo de la cadena de valor en el sistema de abastecimiento de agua potable de Juzestán



Fuente: Chofreh y otros (2019), con traducción propia.

Con base en los resultados del mapeo de la cadena de valor, existe la necesidad de incorporar de manera efectiva iniciativas de sostenibilidad en los procesos comerciales de agua y alcantarillado urbano del área en cuestión. En este sentido, el estudio indica que los sistemas de abastecimiento de agua y alcantarillado deben incorporar un método de evaluación del recurso hídrico que permita a la empresa medir y limitar su consumo. Con ello, los sistemas actuales de tratamiento de aguas residuales deben practicar la gestión sostenible, que utiliza un enfoque de reciclaje y reutilización en el sistema. La actual falta de integración de la sostenibilidad en los sistemas de gestión del agua afecta la conservación y la eficiencia del uso del agua. De esta forma, en el estudio, se concluye que existe la necesidad de que Khuzestan Urban Water and Sewage transforme su cadena de valor empresarial hacia iniciativas más sostenibles. Además, identifican que, en el mismo mapeo de la cadena de valor, se puede incluir como una actividad estratégica para tender hacia la sostenibilidad. Este proceso es parte de una gestión estratégica, donde los procesos y actividades comerciales actuales deben escanearse y mapearse para identificar problemas, riesgos y oportunidades. Asimismo, el estudio indica que expertos de la empresa de agua potable y saneamiento afirmaron que el mapeo de la cadena de valor permite a las organizaciones aumentar la eficiencia operativa y eliminar el desperdicio en un 57 % (Chofreh y otros, 2019).

Con ello, se identifica una tendencia a la estimación de las sinergias de la cadena de valor más bien duales, existiendo escaso interés de estudiar las dinámicas multi-sectores entre agua potable y saneamiento, con energía, alimentación y/o ambiente a la vez.

B. Análisis de ciclo de vida en agua potable y saneamiento

En el estudio de García-Cáceres, Castañeda-Galvis y Suárez-Fajardo (2019) se presenta un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS por sus siglas en inglés), que permite una planificación óptima de empresas de agua potable y saneamiento, enfocada en la eficiencia y sostenibilidad de la cadena de valor, utilizando para ello el Análisis de Ciclo de Vida (LCA). El DSS involucra conceptos de eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad, también considerados en el estudio de Chofreh y otros (2019), esta vez, involucrando también necesidades normativas, sociales y económicas, así como su variación en el tiempo (García-Cáceres, Castañeda-Galvis y Suárez-Fajardo, 2019). Para ello utilizan el análisis de la cadena de valor para, por una parte maximizar el beneficio de las empresas de agua potable y al mismo tiempo, minimizar la emisión de contaminantes. En detalle, consideran restricciones de balances de masa, capacidades de producción de agua y sus condiciones específicas, oferta y demanda de agua, y los niveles técnicamente permisibles de contaminantes. El modelo puede aplicarse a plantas de tratamiento de uso familiar o industrial, municipal o regional.

La amplitud y flexibilidad del modelo propuesto en el mencionado estudio permite su uso en múltiples instancias. Por ejemplo, dado que el modelo considera la inclusión de objetivos adicionales dentro de la optimización, es posible incorporar aspectos como los relacionados con la responsabilidad social empresarial. También, acepta nuevos aspectos económicos y regulatorios, como sería el caso de un aumento en los precios de los insumos, cambios en la estructura de costos, así como las consideraciones ambientales resultantes de las recientes regulaciones o cambios en los procesos o la tecnología disponible; nuevas restricciones o parametrizaciones; así como el involucramiento de nuevas metodologías de solución multicriterio. De esta forma, es posible utilizar y extender este tipo de estudios a distintos sistemas de agua potable y saneamiento, impulsando mayor eficiencia y menores pérdidas, por ejemplo, a través de la evaluación de mejoras en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Vince y otros (2008) desarrollan una herramienta de LCIA para la producción de agua potable. Ello, con el fin de evaluar el desempeño energético y ambiental, permitiendo determinar los puntos débiles de los procesos de producción de agua potable. Se estudian distintos escenarios de abastecimiento de agua, incluyendo tratamiento de aguas subterráneas, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa de agua de mar y destilación térmica asociada al trasvase de agua. El estudio concluye que la principal fuente de impactos es la producción de electricidad para la operación de la planta.

Un resultado similar es el obtenido por Friedrich y otros (2007) al comparar distintas LCIA en la industria del agua a nivel internacional y local. Aquí, se indica que en Emmerson y otros (1995), uno de los primeros estudios LCA en la industria del agua, gracias a la metodología utilizada, logran identificar que el uso de energía es una contribución importante al impacto ambiental total asociado con las plantas de tratamiento de aguas residuales. Asimismo, descubren que las plantas de filtro biológico utilizan en promedio un 56 % menos de energía que las plantas de lodo activado y producen un 35 % menos de emisiones en el aire, fomentando el uso de estas plantas para áreas rurales donde la disponibilidad de suelo y la baja toxicidad de los residuos sólidos resultantes no se ven como un problema (Emmerson y otros, 1995). Los resultados se alinean con los más de veinte estudios de LCA revisadas en Friedrich y otros (2007), mostrando que en la industria del agua potable y de aguas residuales, la mayoría de los impactos ambientales se remontan al uso de energía, y en la mayoría de los casos, esta es de tipo eléctrica. El mismo estudio de Friedrich y otros (2007) realiza un LCIA sobre el suministro, tratamiento y reciclaje de agua en el municipio de eThekweni, Sudáfrica, con fines demostrativos, proponiendo que el consumo de electricidad de diferentes procesos de tratamiento de agua pueda usarse como un indicador ambiental de impactos.

En aguas residuales, Mohamed-Zine, Hamouche y Krim (2013) utilizan el Eco Indicator 99 para la determinación y evaluación del impacto potencial de una estación de agua potable cerca de Argel, en Argelia. Un paso más allá es el estudio de Renou y otros (2008), quienes analizan cinco métodos de evaluación del impacto del ciclo de vida: CML 2000, Eco Indicator 99, EDIP 96, EPS y Ecopoints 97, encontrando un impacto favorable del tratamiento de las aguas residuales en el efecto invernadero, el agotamiento de los recursos, y la acidificación⁵.

C. Economía circular y LCA en agua potable y saneamiento

Un artículo reciente de Rambau, Mativenga y Marewick (2022) combina aspectos de economía circular con el análisis de ciclo de vida del agua. En él, se analiza si las métricas de los principios de economía circular comprenden aspectos hídricos, explorando distintos índices de economía circular en cuanto si contemplan el análisis de ciclo de vida del agua, los pilares de sostenibilidad, la jerarquía de residuos, y si son índices robustos. Lo anterior, dado que la mayoría de los marcos de evaluación de la circularidad, se centran en bienes de consumo, debiendo examinar su transferibilidad al sector del agua potable.

Para incorporar la cadena de suministro del ciclo de vida, se hace referencia al artículo de Saidani y otros (2017). Este último analiza el kit de herramientas de economía circular (*Circular Economy Toolkit*, CET) y el indicador de circularidad de materiales (*Material Circularity Indicator*, MCI), ambos cubriendo aspectos del pensamiento del ciclo de vida, con CET enfocándose en la etapa previa, durante y final del ciclo del agua potable y su saneamiento, mientras que el MCI se enfoca únicamente en las etapas de reciclaje y reutilización. El estudio de Rambau, Mativenga y Marewick (2022) también revisa el Índice Circonómico (*Circonomic Index*) una métrica de circularidad diseñada para la industria del agua (Kayal y otros, 2019), un prototipo de indicador (*Circular Economy Indicator Prototype*) para medir el desempeño de productos (Cayzer, Griffiths y Beghetto, 2017), y el *Water Circularity Index* para la reducción de los requisitos de extracción de agua (Sartal, Ozcelik y Rodríguez, 2020). Estos tres indicadores únicamente revisan parte del ciclo de vida, y no son útiles para el ciclo de vida completo. La *Water Circularity Metric*, que mide la circularidad del abastecimiento, uso y descarga de una empresa de agua potable, como contribuciones a una reducción neta en la demanda de agua dentro de la cuenca (Williams y otros, 2021) y la *Multi-Sectoral Water Circularity Assessment (MSWCA) framework* (Nika y otros, 2020) son las únicas que consideran el ciclo de vida completo a lo largo de la cadena de valor, cubriendo la vida previa, presente y final del agua (véase cuadro 4).

De esta forma, el ciclo de vida del agua potable y saneamiento incluye los procesos de extracción del recurso hídrico natural, purificación de agua, distribución de agua potable para consumo, consumo de agua, reutilización de aguas residuales para fines no consuntivos, recolección de aguas residuales para tratamiento, tratamiento de aguas residuales, reciclaje de subproductos de aguas residuales para otros procesos, reutilización de aguas residuales tratadas para fines no consuntivos y aguas residuales tratadas devueltas a la cuenca (Voulvoulis, 2018). Entonces, el documento concluye con que una economía circular para el agua potable y las aguas residuales debe buscar una mejor gestión de los recursos hídricos y sus subproductos mediante circuitos cerrados, promoviendo la reutilización y el reciclaje de los recursos hídricos, además de reducción y recuperación de estos, cumpliendo con pilares o valores ambientales, económicos y de sostenibilidad.

⁵ Referida a la destrucción de bosques y lagos por lluvias ácidas causadas por emisiones ácidas al aire.

Cuadro 4
Aspectos de análisis de ciclo de vida, sostenibilidad, jerarquía de recursos
y robustez de distintas métricas de economía circular

Métrica/aspectos analizados		Análisis de ciclo de vida	Pilares de sostenibilidad	Jerarquía residuos	Robustez
Métrica circular	Nombre original				
Kit de economía circular	<i>Circular Economy Toolkit, CET</i>	P	P	P	P
Indicador de circularidad de materiales	<i>Material Circularity Indicator, MCI</i>	P	?	P	C
Prototipo de indicador de economía circular	<i>Circular Economy Indicator Prototype</i>	P	?	P	C
Índice circonómico	<i>Circonomic Index</i>	P	P	C	C
Evaluación multisectorial de la circularidad del agua	<i>Multi-Sectoral Water Circularity Assessment, MSWCA</i>	C	P	P	P
Índice de circularidad del agua	<i>Water Circularity Index</i>	P	?	P	P
Métrica de circularidad del agua	<i>Water Circularity Metric</i>	C	?	P	P

Fuente: Elaboración propia en base a Rambau, Mativenga y Marewick (2022).

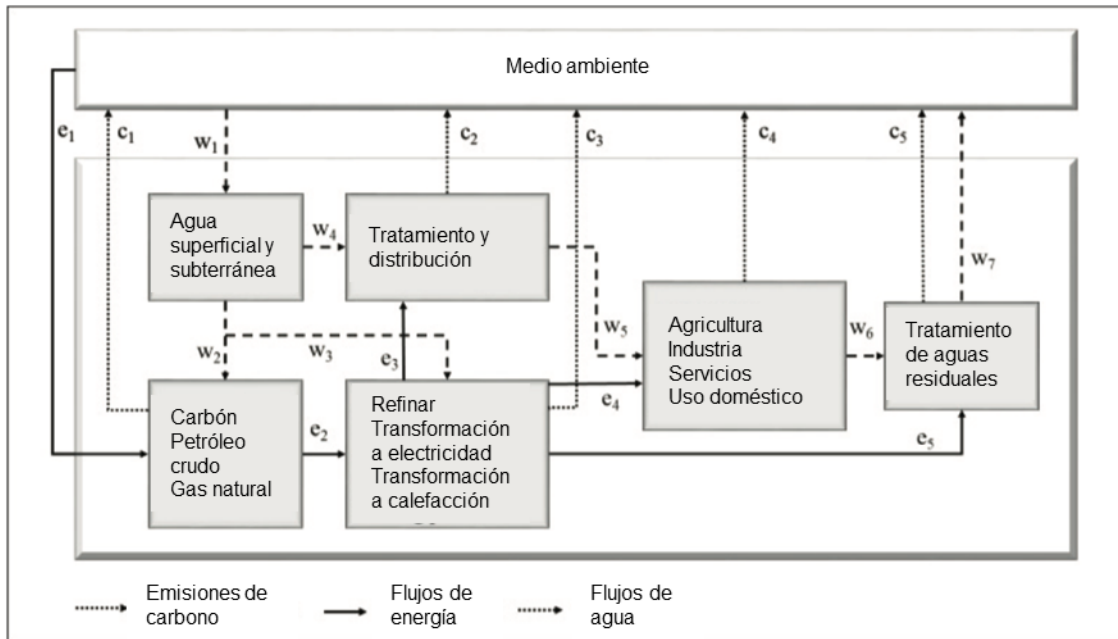
Nota: P indica parcialmente contemplado y C indica cuando está completamente contemplado.

D. Estudios de ciclo de vida de agua potable y saneamiento, y energía

Dentro de los estudios de cadenas de valor de agua potable y del aprovechamiento de las residuales para la producción energética, en Duan y Chen (2016) analizan el nexo agua potable y saneamiento, energía y emisión de carbono. Esto lo hacen a nivel local, utilizando como caso de estudio el sistema energético y sistema de agua en Beijing, China. Para ello, utilizan una combinación del análisis de flujo de materiales (MFA) con el análisis de insumo producto (IOA). El estudio se hizo a escala de ciudad, considerando sus fronteras urbanas, ya que los datos relacionados con la energía y el agua potable suelen publicarse a esta escala. El análisis de flujo de materiales incluye interacciones de agua potable, energía y emisiones de carbono involucradas en el análisis del sistema (véase diagrama 4). De esta forma, el límite del sistema del análisis del flujo de agua es el límite geográfico de una ciudad, implicando que la entrada total de agua, las distribuciones, los consumos y la salida del flujo se examinan, etapa por etapa, dentro de la ciudad. Lo mismo con la energía. Además, los dos sistemas tienen algunas vías entrelazadas, como energía por agua y agua por energía, y de emisiones de carbono.

En el estudio, construyen una matriz insumo producto que incluye dos productos energéticos (electricidad y calor), un sector de producción y distribución de agua, además de 30 sectores no energéticos y no hídricos, que aíslan el efecto únicamente del agua, energía y emisiones de carbono. Con ello, se llevan a cabo análisis por medio de regresiones estadísticas para identificar el peso de cada componente y sus flujos, en el uso de los recursos. Así, por ejemplo, identifican que pese a que el consumo de agua total de Beijing se ha mantenido estable, el consumo de agua correspondiente a la producción de energía ha ido en aumento, de 763 millones de m³ en 2000 a 1336 millones en 2014. Además, el agua consumida en la producción de energía representó casi el 35% del consumo total de agua en 2014. De esta forma, el artículo especula que, dependiendo del plan de producción de energía de Beijing y la función insustituible del carbón en la electricidad y la calefacción, el agua consumida en la producción de energía seguirá aumentando en el futuro. Por ello, gracias a esta metodología es posible proponer acciones futuras, como aumentar la producción de gas natural y otros tipos de productos energéticos, como solución a este potencial problema.

Diagrama 4
Ejemplo de análisis de flujo de materiales para IOA en Beijing, China



Fuente: Duan y Chen (2016), con traducción propia.

Nota: Con w están apuntados los flujos de agua, con e los de energía y con c las emisiones de carbono

El único estudio encontrado que estima los vínculos de las industrias de agua potable y saneamiento, con la industria energética y con la alimentaria es el de Villamayor-Tomas y otros (2015) presentado en capítulos previos. En él, se analizan las cadenas de valor de los tres sectores, aplicados en estudios de caso, dentro de los cuales, se analiza la producción y asignación de agua tratada para la producción de alimentos y bioenergía en Alemania.

E. Estudios de cadenas de valor de hidrógeno verde y agua

Dentro del sector energético, existe un área de investigación en crecimiento, el cual contempla la producción y posterior uso de hidrógeno verde. La producción de hidrógeno verde implica la división electroquímica del agua (electrólisis) generando hidrógeno, utilizando fuentes de energía renovable, como la energía eólica o solar (Squadritto y otros, 2023). Cuando se utiliza el hidrógeno en la generación de energía, este reacciona con el oxígeno del aire produciendo electricidad y liberando agua como subproducto (Ibid.). De esta forma, el agua utilizada originalmente para la producción del hidrógeno, es luego recuperada, dependiendo de la eficiencia y condiciones de la tecnología utilizada en los procesos de electrólisis, y posteriormente, en el proceso de oxidación del hidrógeno.

Al respecto, una investigación realizada por Newborough y Cooley (2021) afirma que si todos los combustibles fósiles utilizados actualmente se convirtieran en hidrógeno verde, la necesidad de agua para la electrólisis ascendería un 1,8% del consumo mundial actual de agua. Ahora bien, señalan dos aspectos a considerar: i) que el aumento de la demanda se vería compensado por el ahorro de agua de no tener que producir combustibles a partir de petróleo o biomasa, reduciendo el uso de centrales térmicas convencionales; y ii) cuando el hidrógeno verde es oxidado por plantas de combustión y pilas de combustible, se libera al ambiente la misma cantidad de agua que la consumida originalmente por electrólisis (Newborough y Cooley, 2021). El estudio estima la cantidad de agua utilizada y generada en

la producción energética, de esta forma, siendo un cálculo basado en IOA, sin involucrar el cambio de estado, ni el traslado, que sufre el componente hídrico producido.

Por otra parte, de acuerdo a un estudio que mide el impacto de la producción de hidrógeno verde en las reservas mundiales de agua, indican que, dado que todo el hidrógeno del futuro se producirá utilizando fuentes de energía renovables, el proceso completo tendrá poco o ningún consumo de agua (Beswick y otros, 2021). Aquí, autores se basan en la HH para indicar que la producción energética a partir de hidrógeno muchas veces utiliza agua de mar, lo que puede reducir la HH del hidrógeno (Beswick y otros, 2021; Squadritto y otros, 2023). Asimismo, el hidrógeno verde también se puede obtener a partir de aguas residuales y otros desechos que contienen compuestos orgánicos, aplicando microorganismos seleccionados (Squadritto y otros, 2023). Sin embargo, pese a que estas tecnologías ofrecen recuperar el agua pura, adolecen de algunos problemas para aplicaciones a gran escala, y aún no se han identificado estudios de cadenas de valor que cuantifiquen el uso y producción hídrica derivada del proceso de producción.

De esta forma, pese a que el ámbito energético ofrece oportunidades para el uso del enfoque de cadenas de valor en la recuperación hídrica, de momento, más comunes son los estudios que aplican metodologías de cadenas de valor en la producción energética derivada de aguas residuales.

IV. Recomendaciones para la adopción del enfoque de cadenas de valor en agua

A lo largo del documento, se ha hecho una revisión del potencial del uso de metodologías de análisis de cadenas de valor en materias hídricas. Principalmente, se ha visto al agua como insumo de estas cadenas productivas o de servicios, a excepción del caso de agua potable y saneamiento y el sector energético que la acompaña. Asimismo, los casos revisados incluyen una perspectiva macroeconómica, haciendo análisis a escala global, regional y nacional, pese a que también hay estudios locales a nivel de cuenca y de usuario. Este último, particularmente referido a análisis desde el sector de abastecimiento de agua potable y saneamiento, resaltando el agua limpia y accesible, como producto también. A continuación, se detallan algunos de los resultados más importantes, así como recomendaciones de política pública y regulatorias para la región.

A. Recomendaciones por escala de análisis

Para estudios a nivel regional, las herramientas más utilizadas de análisis se basan en la combinación de métodos de matriz insumo producto y su respectivo IOA, con estimaciones de agua virtual o huella hídrica. En ambas, es posible evaluar el impacto de la actividad económica y de comercio entre países, en los recursos hídricos de un país o región. Las distintas interrelaciones entre los distintos sectores económicos en cuestión se evalúan combinando métodos de análisis de cadenas de valor con otros métodos de estimación. Por ejemplo, para medir la actividad agrícola, a través de indicadores de producción o exportación; así como en el análisis que contempla la actividad energética, se utilizan medidas de emisión de GEI, emisión de carbono, o índices de exportación/importación de combustibles. Hasta el momento, no existen estudios enfocados específicamente en América Latina y el Caribe, si no más bien a escala global, o bien, focalizados en Europa, Asia y Norteamérica. En todos ellos se identifica la relevancia del agua en los distintos procesos productivos, además de visualizar su valor. Todo lo anterior puede ser desarrollado para la región, permitiendo identificar las fuentes y sumideros más

relevantes de recursos naturales, así como las sinergias entre los distintos sectores productivos, y el impacto o requerimiento hídrico que ello conlleva, para los países involucrados.

De esta forma, a escala regional, el estudio de cadenas de valor que contempla el componente hídrico permitiría identificar las fuentes y sumideros más relevantes, así como interacciones prioritarias entre los distintos sectores económicos y productivos de los países; resaltar países o sectores relevantes y puntos de eficiencia; además de señalar acuerdos y políticas que permitan robustecer o brindar mayor resiliencia al sistema.

Para estudios nacionales y locales, se suelen utilizar metodologías de IOA basadas en matrices insumo producto, incorporando aspectos ambientales. También se utilizan combinaciones de estas metodologías con las de análisis de ciclo de vida. Estos estudios permiten incorporar consideraciones sociales y ambientales, además de las económico-productivas, logrando modelos más robustos.

Estas metodologías ofrecen un estudio más detallado de cada uno de los procesos llevados a cabo a lo largo del ciclo del agua. Aquí, se identifica la relevancia de obtener información de las sinergias entre los distintos sectores económicos involucrados, permitiendo llevar a cabo estudios de sensibilidad respecto de distintas tendencias productivas en la localidad o país en cuestión. Asimismo, se recomienda el uso de estas herramientas ya que permiten el desarrollo de análisis acotados y flexibles. Ello, debido a que combinan aspectos hidrológicos, institucionales, y ambientales, entre otros, ofreciendo un análisis acorde a las necesidades específicas de cada lugar y problemática.

A escala de cuenca, los procesos de cadena de valor se plantean como una herramienta favorable para el desarrollo de gestión integrada de recursos hídricos. Por una parte, incentivan a la identificación e involucramiento de los actores participantes a lo largo de la cadena de valor, así como el fomento a mayores procesos de coordinación e instancias de cooperación entre ellos. Esto se condice con las recomendaciones existentes para propiciar gestión integrada de cuencas, proceso que actualmente muchos países se encuentran liderando.

Finalmente, para estudios exclusivos de la industria de agua potable y saneamiento, se observan investigaciones que aplican métodos de mapeo de cadenas de valor, evaluación de ciclo de vida, así como una serie de estudios que analizan los procesos de economía circular y la evaluación de ciclo de vida de la industria del agua para usos domésticos. Aun más, se identifica que las empresas podrían beneficiarse del estudio del proceso productivo del servicio que ofrecen, identificando potenciales mejoras de red, evaluando o facilitando la adopción de nuevas tecnologías, junto con fomentar incrementos de eficiencia, efectividad y sostenibilidad a lo largo del proceso.

B. Recomendaciones metodológicas

En términos generales, el manejo del recurso hídrico requiere de una mirada sistémica, mirada ofrecida por el enfoque de cadenas de valor. Sin embargo, para llevar a cabo este tipo de metodologías se requiere que exista coordinación entre los sectores de agua potable y saneamiento, alimentarios, energéticos, mineros, industriales y ambientales del lugar. Se requieren, a su vez, procesos de diálogo y de la participación de los distintos actores involucrados en las etapas de evaluación, diagnóstico, y formulación de posibles soluciones. Finalmente, la existencia de un sistema institucional robusto pasa a ser una condición crítica relevante para la adopción de las recomendaciones que surjan de los estudios y análisis. En este contexto, un marco institucional sólido que apoye a las empresas de agua potable y saneamiento, a los organismos de cuenca y a los distintos actores involucrados a esta escala, así como a los países en el desarrollo de este tipo de análisis, es fundamental.

En cuanto a las metodologías en sí mismas, se identifica el potencial de los análisis de cadenas de valor a través de su combinación con otras múltiples herramientas metodológicas. De esta forma, el estudio se puede ajustar a la escala del análisis, y a los componentes a los que se quiere involucrar en la

zona en cuestión. Es relevante considerar que las metodologías de cadenas de valor han sido criticadas por ser excesivamente lineales y, por ende, no representar realidades de alta complejidad y dinámicas, como las que existen en materias hídricas. Al mismo tiempo, se ha indicado que estas metodologías desconocen el entorno institucional y social dentro de las cadenas. Esta última crítica se ha ido incorporando en las versiones adaptadas de las metodologías originales.

El potencial o la factibilidad de replicar los estudios y metodologías analizadas en la región, depende de la existencia de entidades que se responsabilicen de su ejecución, así como de la disponibilidad de datos e información. Por lo anterior, no todos los estudios son replicables ni resultarían igual de valiosos. Dentro de los estudios que destacan por su replicabilidad metodológica, sobresalen aquellos que utilizan mapas de cadenas de valor, dado que son las que requieren de menor cantidad de datos para su desarrollo.

A nivel de sistema, la investigación de Villamayor-Tomas y otros (2015) puede ser replicable, al utilizar un mapeo de la cadena de valor para evaluar la dinámica agua potable-energía-alimentos, junto con el marco de análisis y desarrollo institucional. Por medio de esta combinación, se incorpora el componente institucional, aspecto generalmente ausente en metodologías de análisis de cadenas de valor convencionales. A ello habría que incorporar parámetros o el sector ambiental, para completar la mirada sistémica requerida en la región.

La factibilidad de replicar esta metodología reside en que se abastece con recursos cualitativos, como estudios, informes, documentos y entrevistas a agentes locales. A partir de lo anterior, se construyen el conjunto de situaciones de acción y estructuras institucionales que impulsan la toma de decisiones en el sistema. Asimismo, una ventaja particular de esta metodología es que permite considerar los costos alternativos, tanto en términos monetarios, como en términos de recursos, asociados con los sistemas de gobernanza y con las políticas multisectoriales. Estos pueden ser costos asociados con la recopilación y el intercambio de recursos, de información, así como con el logro y el seguimiento de acuerdos. El ejemplo indicado en el estudio muestra que agricultores pueden abordar los problemas energéticos de instalar un mejor sistema de riego, siguiendo un acuerdo o política de generar su propia energía, pero también debiese considerarse la alternativa de comprarla en el mercado (Villamayor-Tomas y otros, 2015). En este escenario, pese a que se busca llegar a políticas e instituciones eficientes, es posible que estas no surjan, si los costos alternativos superan a los beneficios netos esperados de un sistema más sostenible, lo cual se mostraría en el mapa de cadena de valor desarrollado (Ibid.). Asimismo, un escenario potencial negativo de usar esta metodología, aunque improbable, es que no existan instituciones que regulen el uso del agua, la energía y los alimentos o sus vínculos, imposibilitando el desarrollo de un mapa (Ibid.).

En cuanto al uso de metodologías para el desarrollo de servicios de agua potable y saneamiento eficientes, el método propuesto por Chofreh y otros (2019) podría generar investigaciones sólidas en la región. Al igual que en el estudio anterior, las actividades de recolección de datos incluyen una sumatoria de técnicas de tipo cualitativas. Asimismo, para el desarrollo del mapa de cadena de valor de los sistemas de agua potable, sub-dividen el sistema de tal forma de abordar cada una de sus partes en detalle. En el caso del estudio en cuestión, el mapa se llevó a cabo en el análisis del abastecimiento de aguas superficial y subterránea, para el ingreso al sistema de abastecimiento en la zona urbana, para el tratamiento de agua previo a la distribución en hogares, para la captura y distribución desde los hogares y para el tratamiento de estas aguas residuales. Lo anterior, permitiendo que cada una de estas etapas contara con un análisis de actores y flujo de recursos utilizados en el proceso del servicio.

C. Mensajes finales

La adopción de este enfoque, con las adaptaciones requeridas para asumir las complejidades de los procesos hídricos, está íntimamente vinculado al cumplimiento de la agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Aspectos como el uso integrado de los recursos hídricos de una cuenca, así como la sostenibilidad alimentaria y energética proporcionan las herramientas necesarias para apoyar varios de estos objetivos.

El uso de este tipo de técnicas y estudios puede ayudar al mejor entendimiento del manejo del agua, en cuanto a su distribución a escala de cuenca, de país y de región, y las múltiples dinámicas en los que participa. Este conocimiento se relaciona directamente con el diseño de planes y políticas más ajustadas a la realidad y a las necesidades hídricas del área en cuestión, permitiendo el desarrollo de programas coherentes de asesoría y capacitación, de inversión, así como de gobernanza e institucionalidad. Asimismo, este mayor conocimiento posibilita el desarrollo de políticas que benefician el entendimiento de las sinergias del agua con otros recursos, por ejemplo, los vínculos del agua con la eficiencia energética de un determinado lugar o tecnología, la sostenibilidad de la prestación de servicios de agua potable y saneamiento, o el desarrollo agrícola, entre otros.

En miras al proceso inevitable de transición hídrica, energética y alimentaria de la región, el desarrollo de herramientas y metodologías con una mirada sistémica e integrada entre los distintos recursos naturales se torna clave, tanto para el desarrollo de planes y políticas con miradas integradoras, así como para instancias de coordinación institucional. Únicamente a través de este salto es posible proyectar un desarrollo sostenible para la región, que contemple aspectos económico-productivos, así como también aspectos sociales y ambientales, sin dejar a nadie atrás.

Bibliografía

- Allan, J. A. (1997), "Virtual water": a long term solution for water short Middle Eastern economies?", *School of Oriental and African Studies, University of London*, 1, 24–29.
- Allan, J. A. (2003), "Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus. Useful Concept or Misleading Metaphor?", *Water international*, 28(1), 106-113.
- Antón Vallejo, M. A. (2004), "Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo", *Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*, Departament de Projectes d'Enginyeria, [en línea], <http://hdl.handle.net/2117/94137>.
- Beswick, R. R., A. M. Oliveira y Y. Yan (2021), "Does the green hydrogen economy have a water problem?", *ACS Energy Letters*, 6(9), 3167-3169.
- Bizikova, L., D. Roy, H. D. Venema, M. McCandless, K. Zubrycki y D. Swanson (2014), *Water-Energy-Food Nexus and Agricultural Investment: A sustainable development guidebook*, International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, [en línea], <https://www.iisd.org/publications/report/water-energy-food-nexus-and-agricultural-investment-sustainable-development>.
- Boulay, A. M. (2014), "Développement méthodologique et application du concept de l'empreinte eau en ACV", *Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal*, PolyPublie, [en línea], <https://publications.polymtl.ca/1250/>.
- Brunner, P. y H. Rechberger (2015), *Practical Handbook of Material Flow Analysis*, Lewis Publishers.
- Bunsen, J. y M. Finkbeiner (2022), "An Introductory Review of Input-Output Analysis in Sustainability Sciences Including Potential Implications of Aggregation", *Sustainability*, 15(1), 1-24.
- Cayzer, S., P. Griffiths y V. Beghetto (2017), "Design of indicators for measuring product performance in the circular economy", *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(4–5), 289–298.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2023), *Panorama de los recursos naturales en América Latina y el Caribe*, CEPAL, Santiago.
- Chapagain, A. y S. Orr (2008), *UK Water Footprint: the impact of the UK's food and fibre consumption on global water resources*, WWF-UK, Godalming, Reino Unido.
- Chapagain, A. K. y A. Y. Hoekstra (2008), "The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products", *Water international*, 33(1), 19-32.

- Chofreh, A. G., F. A. Goni, M. Zeinalnezhad, S. Navidar, H. Shayestehzadeh y J. J. Klemeš (2019), "Value chain mapping of the water and sewage treatment to contribute to sustainability", *Journal of Environmental Management*, 239, 38–47.
- Daniels, P. L., M. Lenzen y S. J. Kenway (2011), "The Ins and Outs of Water Use. A Review of Multi-Region Input-Output Analysis and Water Footprints for Regional Sustainability Analysis and Policy", *Economic Systems Research*, 23(4), 353–370.
- Dietzenbacher, E. y E. Velazquez (2007), "Analysing Andalusian Virtual Water Trade in an Input - Output Framework", *Regional Studies*, 41, 185–196.
- Döll, P., K. Fiedler y J. Zhang (2009), "Global-scale analysis of river flow alterations due to water withdrawals and reservoirs", *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(12), 2413–2432.
- Duan, C. y B. Chen (2016), "Energy-water-carbon Nexus at Urban Scale", *Energy Procedia*, 104, 183–190.
- Embid, A. y L. Martín (2017), "El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe. Planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias", *Serie Recursos Naturales y Desarrollo*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Emmerson, R. H. C., G. K. Morse, J. N. Lester y D. R. Edge (1995), "The Life-Cycle Analysis of Small-Scale Sewage-Treatment Processes" *Water and Environment Journal*, 9(3), 317–325.
- European communities. (2011), *Environmental pressure indicators for the EU*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo, [en línea], www.europa.eu.int/comm/eurostat/.
- Falkenmark, M., J. Lundqvist y C. Widstrand (1989), "Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development", *Natural Resources Forum*, 13 (4), 258–267.
- Fang, K., R. Heijungs y G. R. De Snoo (2014), "Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family", *Ecological Indicators*, 36, 508–518.
- Feng, K., A. Chapagain, S. Suh, S. Pfister y K. Hubacek (2011), "Comparison of Bottom-up and Top-down Approaches to Calculating the Water Footprints of Nations", *Economic Systems Research*, 23(4), 371–385.
- Friedrich, E., S. Pillay y C. A. Buckley (2007), "The use of LCA in the water industry and the case for an environmental performance indicator", *Water SA*, 33(4), 443–451.
- García-Cáceres, R. G., M. T. Castañeda-Galvis y J. F. Suárez-Fajardo (2019), "Towards an efficient and sustainable planning of the drinking water supply chain", *Journal of Cleaner Production*, 230, 394–401.
- Gerber, J. F. y A. Scheidel (2018), "In Search of Substantive Economics: Comparing Today's Two Major Socio-metabolic Approaches to the Economy – MEFA and MuSIASEM", *Ecological Economics*, 144, 186–194.
- Giampietro, M., K. Mayumi y A. H. Sorman (2011), *The metabolic pattern of societies: Where economists fall short*, Routledge, Londres, Reino Unido.
- Ginocchio, R., O. Melo, P. Pliscoff, P. Camus y E. C. Arellano (2019), "Conflicto entre la intensificación de la agricultura y la conservación de la biodiversidad en Chile: alternativas para la conciliación", *Temas de la Agenda Pública*, 15(118).
- Guan, D. y K. Hubacek (2007), "Assessment of regional trade and virtual water flows in China", *Ecological Economics*, 61(1), 159–170.
- Hawkes, C. y M. T. Ruel (2011), *Value Chains for nutrition*, IFPRI: International Food Policy Research Institute.
- Hoekstra, A. (2016), "Una economía circular implica una huella hídrica igual a cero en las industrias", *lagua noticias*, [en línea], <https://www.iagua.es/noticias/espana/aqualogy/16/04/13/economia-circular-implica-huella-hidrica-igual-cero-industrias>.
- Hoekstra, A. Y. y P. Q. Hung (2005), "Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade", *Global Environmental Change*, 15, 45–56.
- Hoff, H. (2011), *Understanding the Nexus*, Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus, SEI, Estocolmo, [en línea], <https://policycommons.net/artifacts/1359033/understanding-the-nexus/1972269/>.
- Holland, R. A., K. A. Scott, M. Flörke, G. Brown, R. M. Ewers, E. Farmer y otros (2015), "Global impacts of energy demand on the freshwater resources of nations", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(48), E6707–E6716.

- Holweg, M. y P. Helo (2014), "Defining value chain architectures: Linking strategic value creation to operational supply chain design", *International Journal of Production Economics*, 147(B), 230–238.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2023), "Climate Change 2023: Synthesis Report", Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Ginebra, Suiza.
- Kahr, F. y D. Roland-Holst (2008), "China's water–energy nexus", *Water Policy*, 10(S1), 51–65.
- Karkacier, O. y Z. G. Goktolga (2005), "Input–output analysis of energy use in agriculture", *Energy Conversion and Management*, 46(9–10), 1513–1521.
- Kayal, B., D. Abu-Ghunmi, L. Abu-Ghunmi, A. Archenti, M. Nicolescu, C. Larkin y S. Corbet (2019), "An economic index for measuring firm's circularity: The case of water industry", *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 21, 123–129.
- Kitzes, J. (2013), "An introduction to environmentally-extended input-output analysis", *Resources*, 2(4), 489–503.
- Lenzen, M. (2009), "Understanding virtual water flows: A multiregion input-output case study of Victoria", *Water Resources Research*, 45(9).
- Lenzen, M., D. Moran, A. Bhaduri, K. Kanemoto, M. Bekchanov, A. Geschke y B. Foran (2013), "International trade of scarce water", *Ecological Economics*, 94, 78–85.
- Li, X., K. Feng, Y. L. Siu y K. Hubacek (2012), "Energy-water nexus of wind power in China: The balancing act between CO₂ emissions and water consumption", *Energy Policy*, 45, 440–448.
- Liu, J., H. Yang, C. Cudennec, A. K. Gain, H. Hoff, R. Lawford y otros (2017), "Challenges in operationalizing the water–energy–food nexus", *Hydrological Sciences Journal*, 62(11), 1714–1720.
- Lutter, S., S. Pfister, S. Giljum, H. Wieland y C. Mutel (2016), "Spatially explicit assessment of water embodied in European trade: A product-level multi-regional input-output analysis", *Global Environmental Change*, 38, 171–182.
- Ma, J., A. Y. Hoekstra, H. Wang, A. K. Chapagain y D. Wang (2005), "Virtual versus real water transfers within China", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1469), 835–842.
- Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger y otros (2021), *IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- Mohamed-Zine, M.B., A. Hamouche y L. Krim (2013), "The study of potable water treatment process in Algeria (boudouaou station) -by the application of life cycle assessment (LCA)", *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 11(1), 1–9.
- Mooney, C. L. (2014), "5 reasons CR professionals need a value chain map", *Greenbiz*, [en línea], <https://www.greenbiz.com/article/5-reasons-cr-professionals-need-value-chain-map>.
- Naranjo, L. y B. A. Willaarts (2020), "Guía Metodológica. Diseño de acciones con enfoque Nexo entre Agua, Energía y Alimentación/Territorio para países de América Latina y el Caribe", *Serie Recursos Naturales y Desarrollo*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Newborough, M. y G. Cooley (2021), "Green hydrogen: Water use implications and opportunities", *Fuel Cells Bulletin*, 2021, 12, 12–15.
- Nika, C. E., V. Vasilaki, A. Expósito y E. Katsou (2020), "Water Cycle and Circular Economy: Developing a Circularity Assessment Framework for Complex Water Systems", *Water Research*, 187, 116423.
- Ohlsson, L. (2000), "Water conflicts and social resource scarcity", *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(3), 213–220.
- Ono, Y., M. Motoshita y N. Itsubo (2015), "Development of water footprint inventory database on Japanese goods and services distinguishing the types of water resources and the forms of water uses based on input-output analysis", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 1456–1467.
- Peña, H. (2016), "Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe", *Serie Recursos Naturales e infraestructura*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Pfister, S., A. Koehler y S. Hellweg (2009), "Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA", *Environmental science & technology*, 43(11), 4098–4104.
- Rambau, L. D., P. T. Mativenga y A. L. Marewick (2022), "A framework to assess circularity of potable water through its lifecycle", *Procedia CIRP*, 105, 501–506.

- Raskin, P., P. Gleick, P. Kirshen, G. Pontius y K. Strzepek (1997), *Water futures: assessment of long-range patterns and problems. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*, Stockholm Environment Institute (SEI), Estocolmo.
- Rees, W. (2006), *Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out*, en: *The Earthscan Reader in Rural–Urban Linkages*, Routledge, 121–130.
- Renou, S., J. S. Thomas, E. Aoustin y M. N. Pons (2008), "Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA", *Journal of Cleaner Production*, 16(10), 1098–1105.
- Ridoutt, B. G., M. Hadjikakou, M. Nolan, M. y B. A. Bryan (2018), "From water-use to water-scarcity footprinting in environmentally extended input–output analysis", *Environmental Science & Technology*, 52(12), 6761–6770.
- Rulli, M. C., A. Savioli y P. D'Odorico (2013), "Global land and water grabbing", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(3), 892–897.
- Saidani, M., B. Yannou, Y. Leroy y F. Cluzel (2017), "Hybrid top-down and bottom-up framework to measure products' circularity performance", *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 17, [en línea], <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01571581>.
- Saravia Matus, S., J. Delincé y S. Gomez y Paloma (2013), "An Overview of (International) Large-Scale Land Transactions (LSLT) in the context of Food Security", *Publications Office of the European Union*, 1(81127).
- Saravia Matus, S., M. Gil, D. Fernandez, A. Montañez, E. Blanco, L. Naranjo, A. Llavona y N. Sarmanto (2023), "Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe", *Serie Recursos Naturales y Desarrollo*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Sartal, A., N. Ozcelik y M. Rodríguez (2020), "Bringing the circular economy closer to small and medium enterprises: Improving water circularity without damaging plant productivity", *Journal of Cleaner Production*, 256, 120363.
- Scown, C. D., A. Horvath y T. E. McKone (2011), "Water footprint of U.S. transportation fuels", *Environmental Science and Technology*, 45(7), 2541–2553.
- Shiklomanov, I. A. (2000), "Appraisal and assessment of world water resources", *Water international*, 25(1), 11–32.
- Squadrito, G., G. Maggio y A. Nicita (2023), "The green hydrogen revolution", *Renewable Energy*, 216, 119041.
- Thanh, N. P., y Y. Matsui (2012), "An evaluation of alternative household solid waste treatment practices using life cycle inventory assessment mode", *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6), 3515–3527.
- Umberger, W. (2014), "Mapping the Value Chain", *Capacity Building for Research Workshop, The University of Adelaide*, 1.
- Villamayor-Tomas, S., P. Grundmann, G. Epstein, T. Evans y C. Kimmich (2015), "The Water-Energy-Food Security Nexus through the Lenses of the Value Chain and the Institutional Analysis and Development Frameworks", *Water Alternatives*, 8(1), 735–755.
- Vince, F., E. Aoustin, P. Bréant y F. Marechal (2008), "LCA tool for the environmental evaluation of potable water production", *Desalination*, 220(1–3), 37–56.
- Voulvoulis, N. (2018), "Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach", *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 2, 32–45.
- Wang, H., y Y. Wang (2009), "An input–output analysis of virtual water uses of the three economic sectors in Beijing", *Water International*, 34(4), 451–467.
- Wang, Y., H. L. Xiao y M. F. Lu (2009), "Analysis of water consumption using a regional input–output model: Model development and application to Zhangye City, Northwestern China", *Journal of Arid Environments*, 73(10), 894–900.
- White, D. J., K. Hubacek, K. Feng, L. Sun y B. Meng (2018), "The Water-Energy-Food Nexus in East Asia: A tele-connected value chain analysis using inter-regional input-output analysis", *Applied Energy*, 210, 550–567.
- Willaarts, B. A., E. Blanco, T. Borja, A. Llavona y D. Martínez (2020), "Lecciones Aprendidas para la Adopción del Enfoque Nexa Agua-Energía-Alimentación/Territorio en América Latina y el Caribe. Análisis

- comparativo de políticas, programas y proyectos con enfoque nexo”, *Serie Recursos Naturales y Desarrollo*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Williams, T., C. Van Brunschot, N. Martin y O. Maennicke (2021), *Water Circularity Metric: Tool application and guidance note*, [en línea], <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/12130/182099/1>.
- WMO (World Meteorological Organization) (2022), *State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2021*, Report, 1295, WMO, Ginebra.
- Yu, Y., K. Hubacek, K. Feng y D. Guan (2010), “Assessing regional and global water footprints for the UK”, *Ecological Economics*, 69(5), 1140–1147.
- Zegarra, E. (2018), “La gestión del agua desde el punto de vista del Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en el Perú”, *Documento de proyecto*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Zhang, C. y L. D. Anadon (2013), “Life cycle water use of energy production and its environmental impacts in China”, *Environmental Science and Technology*, 47(24), 14459–14467.
- Zhang, Z., M. Shi, H. Yang y A. Chapagain (2011), “An Input-Output Analysis of Trends in Virtual Water Trade and the Impact on Water Resources and Uses in China”, *Economic Systems Research*, 23(4), 431–446.
- Zhang, Z., H. Yang y M. Shi (2011), “Analysis Analyses of water footprint of Beijing in an interregional input-output framework”, *Ecological Economics*, 70(12), 2494–2502.
- Zhao, X., B. Chen y Z. F. Yang (2009), “National water footprint in an input–output framework—A case study of China 2002”, *Ecological Modelling*, 220(2), 245–253.
- Zhao, Xu, H. Yang, Z. Yang, B. Chen y Y. Qin (2010), “Applying the input-output method to account for water footprint and virtual water trade in the Haihe River basin in China”, *Environmental Science and Technology*, 44(23), 9150–9156.

Anexo

Resumen de bibliografía revisada

Cuadro A1
Resumen artículos científicos con metodologías relevantes para el estudio de cadenas de valor y agua

Tema	Artículo	Palabras clave	Metodología	Resumen
Cadena de valor y nexos	Holland, R. A., Scott, K. A., Flörke, M., Brown, G., Ewers, R. M., Farmer, E., ... y Eigenbrod, F. (2015). Global impacts of energy demand on the freshwater resources of nations. <i>Proceedings of the National Academy of Sciences</i> , 112(48), E6707-E6716.	Energía, agua dulce, nexos, MRIO, sustentabilidad	EE-MRIO	Usando un modelo de comercio global extendido ambientalmente validado empíricamente (EE-MRIO), examinan la relación entre la energía y el agua dulce. Una comparación de tres sectores energéticos (petróleo, gas y electricidad) revela que el consumo de agua dulce asociado con la producción de gas y electricidad se limita en gran medida a los límites territoriales donde se origina la demanda. Este hallazgo contrasta con el petróleo, que exhibe una relación variable entre el consumo de agua dulce territorial e internacional, dependiendo del origen de la demanda. Por ejemplo, aunque Estados Unidos y China tienen una demanda similar asociada al sector petrolero, el consumo internacional de agua dulce es tres veces mayor para los primeros que para los segundos. Con base en los patrones de mapeo del consumo de agua dulce asociados con los sectores energéticos a escalas subnacionales, nuestro análisis también revela una concordancia entre la presión sobre los recursos de agua dulce asociada con la producción de energía y la escasez de agua dulce en varias cuencas fluviales a nivel mundial. Estas presiones impulsadas por la energía sobre los recursos de agua dulce en áreas distantes del origen de la demanda de energía complican el diseño de políticas para garantizar la seguridad del suministro de agua dulce y energía. Aunque gran parte del debate sobre la energía se centra en las emisiones de gases de efecto invernadero, nuestros hallazgos destacan la necesidad de considerar la gama completa de consecuencias de la producción de energía al diseñar políticas.
Cadena de valor y nexos	Kahrl, F., y Roland-Holst, D. (2008). China's water-energy nexus. <i>Water Policy</i> , 10(S1), 51-65.	Energía, agua, nexos, China, LCA	LCA	El estudio examina las dimensiones energéticas del uso del agua en China, adoptando una perspectiva de ciclo de vida. Es decir, el interés está en los flujos de agua y energía en toda la economía China y en los bienes y servicios que conforman la demanda final, en lugar de simplemente el agua y la energía que utilizan directamente los sectores económicos. Para capturar estos vínculos, se analizan varios conjuntos de datos diferentes, incluidos los datos de entrada de energía de la Oficina Nacional de Estadísticas (NBS) de China, los datos de uso de agua del Ministerio de Recursos Hídricos (MWR) y las tablas nacionales de entrada y salida (I/O) de la NBS. Examinan las implicaciones energéticas del uso del agua a través de tres métricas: físicas (intensidad energética), monetarias (interacciones del precio del agua y la energía) y distributivas (implicaciones energéticas de la asignación del agua).
Cadena de valor y nexos	Karkacier, O., y Goktolga, Z. G. (2005). Input-output analysis of energy use in agriculture. <i>Energy Conversion and Management</i> , 46(9-10), 1513-1521.	Energía, agricultura, Nexos, uso de energía en la agricultura, análisis de entrada-salida	IOA	El propósito de este estudio es analizar la interdependencia estructural del sector agrícola y los sectores energéticos en Turquía. El análisis realizado en este estudio utilizó la técnica de entrada-salida. Un modelo de insumo producto es un sistema contable que muestra las transacciones económicas. Las relaciones entre la agricultura y la energía se pueden expresar en concepto. Los datos de este estudio provienen de las bases de datos del Instituto Estatal de Estadística del Primer Ministerio de la República de Turquía (SIS) para la estructura de entrada y salida de la economía turca.

Tema	Artículo	Palabras clave	Metodología	Resumen
Cadena de valor y vínculo agua-energía-alimentación-ecosistemas	Lenzen, M., Moran, D., Bhaduri, A., Kanemoto, K., Bekchanov, M., Geschke, A., y Foran, B. (2013). International trade of scarce water. <i>Ecological Economics</i> , 94, 78-85.	Agua virtual, nexo, análisis de insumo producto multirregional, escasez de agua, comercio internacional	IOA multiregión	Análisis recientes de la evolución y estructura del comercio de agua virtual revelaron que el número de conexiones comerciales y el volumen del comercio de agua virtual se han más que duplicado en las últimas dos décadas, y que los países desarrollados importan cada vez más agua incorporada en bienes del resto del mundo. mundo para aliviar la presión sobre los recursos hídricos domésticos. Al mismo tiempo, a medida que la demanda continúa aumentando y el cambio climático amenaza con alterar los ciclos hidrológicos, la escasez de agua es un problema creciente. ¿Es necesario que la investigación sobre el comercio de agua virtual considere la escasez de agua y diferencie los flujos que salen de las regiones con escasez de agua de los flujos que salen de las regiones con abundancia de agua? Estudios previos suman y comparan volúmenes virtuales de agua que se originan en países que experimentan grados muy diferentes de escasez de agua. Por lo tanto, incorporamos la escasez de agua en una evaluación de los flujos de agua virtuales globales. Usamos análisis de entrada-salida para incluir flujos de agua virtuales indirectos. Encontramos que la estructura de las redes globales de agua virtual cambia significativamente después de ajustarse a la escasez de agua.
Cadena de valor y vínculo agua-energía-alimentación-ecosistemas	Li, X., Feng, K., Siu, Y. L., y Hubacek, K. (2012). Energy-water nexus of wind power in China: the balancing act between CO ₂ emissions and water consumption. <i>Energy policy</i> , 45, 440-448.	Energía, agua, nexo, energía eólica en China, consumo de agua, emisiones de CO ₂	Híbrido IOA y LCA	A fines de 2010, la contribución de China a las emisiones globales de CO ₂ alcanzó el 25,1%. Las estimaciones muestran que la generación de energía representa el 37,2% de las emisiones de CO ₂ de China. Aunque hay un número creciente de estudios que utilizan el análisis del ciclo de vida (LCA) para examinar el consumo de energía y las emisiones de CO ₂ requeridas por diferentes tipos de tecnologías de generación de energía, hay muy pocos estudios que se centren en China. Además, se ha ignorado en gran medida el nexo entre el consumo de agua y la producción de energía. En este documento, adoptamos un análisis de ciclo de vida híbrido basado en insumos y productos para evaluar el consumo de agua y las emisiones de CO ₂ de la energía eólica en China. Nuestros resultados muestran que la energía eólica de China consume 0,64 l/kWh de agua y produce 69,9 g/kWh de emisiones de CO ₂ . Dado que el gobierno chino tiene como objetivo aumentar la capacidad de generación de energía eólica a 200 GW para 2020, la energía eólica podría contribuir a una reducción del 23 % en la intensidad de carbono y podría ahorrar 800 millones de m ³ de agua que podrían ser suficientes para el uso de 11,2 millones de hogares. Por lo tanto, dada la crisis del agua a menudo postulada, la política energética de China obtendría el doble de beneficios a través de políticas energéticas progresivas al aumentar la participación de la energía eólica como parte de los esfuerzos generales para diversificar sus tecnologías de generación de electricidad.
Cadena de valor y vínculo agua-energía-alimentación-ecosistemas	Scown, C. D., Horvath, A., y McKone, T. E. (2011). Water footprint of US transportation fuels.	Energía, transporte, GEI, agua dulce, nexo	Life-Cycle Inventory	Esta investigación proporciona información sobre los posibles cambios en el uso del agua resultantes del aumento de la producción de biocombustibles o electricidad para la energía del transporte, así como las implicaciones de los gases de efecto invernadero y el agua dulce. Se muestra que al caracterizar el impacto hídrico de la energía del transporte, la incorporación del uso indirecto del agua y técnicas de asignación defendibles tienen un impacto importante en los resultados finales, con un aumento de entre el 82 % y una disminución del 250 % en la huella hídrica si las pérdidas por evaporación de Se excluye la energía hidroeléctrica. Los resultados del impacto de los gases de efecto invernadero indican que la ubicación de las biorrefinerías de celulosa en áreas donde se debe suministrar agua por medios alternativos, como la desalinización, el reciclaje de aguas residuales o la importación, puede aumentar la huella total de gases de efecto invernadero del combustible hasta en un 47 %. Los resultados también muestran que la producción de etanol y combustibles derivados del petróleo sobrecargan los acuíferos ya sobreexplotados, mientras que la producción de electricidad depende mucho menos de las aguas subterráneas.

Tema	Artículo	Palabras clave	Metodología	Resumen
Cadena de valor y vínculo agua-energía-alimentación-ecosistemas	Villamayor-Tomas, S., Grundmann, P., Epstein, G., Evans, T., y Kimmich, C. (2015). The water-energy-food security nexus through the lenses of the value chain and the institutional analysis and development frameworks. <i>Water Alternatives</i> , 8(1), 735-755.	Nexo, marco de análisis y desarrollo institucional, marco de sistemas socioecológicos, análisis de cadena de valor, casos de riego	Híbrido IAD y NAS	Se han utilizado varios marcos para estudiar el nexo entre agua, alimentos y energía; pero pocos de estos consideran el papel de las instituciones en la mediación de los resultados ambientales. En este documento, nuestro objetivo es comenzar a llenar ese vacío mediante la combinación de conocimientos del marco de Análisis de Desarrollo Institucional (Institutional Analysis and Development, IAD) y el análisis de la cadena de valor. Específicamente estudiamos las cadenas de valor de alimentos, energía y agua como redes de situaciones de acción (networks of action situations, NAS) donde las decisiones de los actores dependen no solo de la estructura institucional de una situación particular sino también de las decisiones tomadas en situaciones relacionadas. Aunque el marco IAD ha desarrollado una sólida reputación en las ciencias políticas, las aplicaciones empíricas del concepto NAS relacionado son raras. El análisis de la cadena de valor puede ayudar a trazar los límites empíricos del NAS integrado en los procesos de producción. En este documento, primero utilizamos el análisis de la cadena de valor para identificar vínculos importantes de entrada y salida entre los procesos de producción de agua, alimentos y energía, y luego aplicamos el enfoque IAD-NAS para comprender mejor el efecto de las instituciones dentro y entre esos procesos. El marco combinado resultante se aplica luego a cuatro estudios de caso relacionados con el riego, que incluyen: el uso de energía para la asignación de agua y la producción de alimentos en un proyecto de riego en España; la producción y asignación de agua tratada para la producción de alimentos y bioenergía en Alemania; la asignación de agua para la producción de alimentos y uso urbano en Kenia; y la producción y asignación de energía para la producción de alimentos en Hyderabad, India. Los análisis de casos revelan el valor del marco al demostrar la importancia de establecer vínculos entre las situaciones relacionadas con la energía, el agua y los alimentos y las formas en que las instituciones limitan o facilitan las sinergias a lo largo de las cadenas de valor.
Cadena de valor y vínculo agua-energía-alimentación-ecosistemas	Zhang, C., y Anadon, L. D. (2013). Life cycle water use of energy production and its environmental impacts in China. <i>Environmental science y technology</i> , 47(24), 14459-14467.	Energía, agua dulce, nexo, MRIO, LCIA	Híbrido MRIO y LCIA	El sector energético es un importante usuario de recursos de agua dulce en China. Investigamos las extracciones de agua del ciclo de vida, el uso consuntivo del agua y la descarga de aguas residuales de los sectores energéticos de China y sus impactos ambientales relacionados con el consumo de agua, utilizando un modelo de entrada-salida multirregional (MRIO) de unidades mixtas y un método de evaluación del impacto del ciclo de vida. (LCIA) basado en el marco Eco-indicator 99. La producción de energía es responsable de 61 400 millones de m ³ de extracción de agua, 10 800 millones de m ³ de consumo de agua y 5 000 millones de m ³ de descarga de aguas residuales en China, que equivalen al 12,3 %, 4,1 % y 8,3 % del total nacional, respectivamente. La característica más importante del nexo energía-agua en China es la distribución espacial significativamente desigual del uso consuntivo del agua y sus correspondientes impactos ambientales causados por la discrepancia geológica entre los recursos de combustibles fósiles, los recursos de agua dulce y la demanda de energía. Más de la mitad de las extracciones de agua relacionadas con la energía se producen en las regiones costeras este y sur. Sin embargo, las regiones áridas del norte y noroeste tienen un consumo de agua mucho mayor que la abundante región sur y soportan casi todos los daños ambientales causados por el uso consuntivo del agua.

Tema	Artículo	Palabras clave	Metodología	Resumen
Cadena de valor y agua potable	Chofreh, A. G., Goni, F. A., Zeinalnezhad, M., Navidar, S., Shayestehzadeh, H., y Klemeš, J. J. (2019). Value chain mapping of the water and sewage treatment to contribute to sustainability. <i>Journal of environmental management</i> , 239, 38-47.	Sostenibilidad, transformación, cadena de valor, mapeo agua y alcantarillado	Mapeo de la cadena de valor	Las fuentes de agua higiénica y el saneamiento inaccesibles son uno de los problemas de sostenibilidad que deben resolverse. Un intento de solucionar este problema es cambiar el sistema convencional utilizado en el suministro de agua y tratamiento de aguas residuales a una gestión sostenible del agua y los residuos. Para transformar el sistema, las empresas inicialmente necesitan mapear su cadena de valor empresarial. Sin embargo, este proceso a menudo no recibe toda la atención de la organización. Desde una perspectiva académica, existen estudios limitados que mapean las cadenas de valor de los sistemas de agua y desechos. Para superar esta limitación, el presente estudio tiene como objetivo mapear los procesos de la cadena de valor de las empresas de servicios públicos de agua y alcantarillado hacia una solución de sostenibilidad. Para realizar este estudio se utiliza una revisión de estudios relacionados. La compañía de agua y alcantarillado urbano de Khuzestan en Irán ha sido seleccionada como estudio de caso. Los resultados del mapeo indican una falta de integración de la sostenibilidad en un sistema de gestión del agua que conduce a una gestión del agua ineficaz e ineficiente. El proceso de mapeo de la cadena de valor es importante para los profesionales, particularmente en las empresas de agua y alcantarillado, como punto de partida para transformar sus sistemas convencionales de gestión del agua hacia la sostenibilidad. Los expertos de la empresa afirmaron que el mapeo de la cadena de valor como parte del análisis de la cadena de valor permite a las organizaciones aumentar la eficiencia operativa y eliminar el desperdicio en un 57 %.
Cadena de valor y agua potable	Friedrich, E., Pillay, S., y Buckley, C. A. (2007). The use of LCA in the water industry and the case for an environmental performance indicator. <i>Water Sa</i> , 33(4).	Evaluación del ciclo de vida, procesos de tratamiento de agua, consumo de energía	LCA	El documento revisa el uso de evaluaciones ambientales del ciclo de vida (LCA) en la industria del agua a nivel internacional y local. Un LCA realizado sobre el suministro, tratamiento y reciclaje de agua en el municipio de eThekweni se utiliza con fines demostrativos. Muchos de los LCA revisados, incluido el estudio de caso, han demostrado que en el tratamiento del agua (agua potable y aguas residuales) la mayoría de los impactos ambientales se remontan al uso de energía, en la mayoría de los casos el uso de electricidad. Por lo tanto, se propone que para Sudáfrica, el consumo de electricidad de diferentes procesos de tratamiento de agua pueda usarse como un indicador ambiental de impactos. También se presentan las ventajas y limitaciones de utilizar el consumo eléctrico como indicador.
Cadena de valor y agua potable	García-Cáceres, R. G., Castañeda-Galvis, M. T., y Suárez-Fajardo, J. F. (2019). Towards an efficient and sustainable planning of the drinking water supply chain. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 230, 394-401.	Planificación óptima, planta de tratamiento de agua, programación lineal	Integrated Economic-Environmental Modeling (IEEM)	Siendo el agua uno de los elementos más importantes para la vida en la tierra y el ecosistema planetario en su conjunto, es ampliamente reconocida tanto por la sociedad como por las Naciones Unidas como uno de los problemas de investigación más importantes del mundo moderno. Una de las dificultades que enfrenta este sistema tiene que ver con la gestión de las plantas de tratamiento de agua en el contexto del desarrollo sostenible. Este artículo presenta un sistema de apoyo a la toma de decisiones concebido para desarrollar una planificación óptima encaminada a la eficiencia y sostenibilidad de la cadena de tratamiento de agua potable. El sistema está compuesto por un modelo matemático de programación y un procedimiento de solución para la planificación óptima del tratamiento del agua en un contexto biobjetivo. Así, el primer objetivo maximiza el beneficio y el segundo minimiza la emisión de contaminantes. Se consideran las siguientes restricciones: balances de masa, capacidades de producción de los diferentes escalones de producción de agua y sus condiciones específicas, oferta y demanda de agua, y los niveles técnicamente permisibles de contaminantes, que se sugieren de forma genérica, independientemente de las tecnologías y alternativas de producción. Por su particular naturaleza, el modelo permite resolver cualquier instancia del problema en excelentes tiempos de CPU.

Tema	Artículo	Palabras clave	Metodología	Resumen
Cadena de valor y agua potable	Kalinowski-Gausepohl, A., Rudolph, K. U., Hilbig, J., Gregarek, D., y Kasnitz, L. 2.5 Water Market Value Chain Approach.	Sostenibilidad, cadena de valor, agua y alcantarillado	Integrated Economic-Environmental Modeling (IEEM)	El estudio utiliza IEEM, cuyo enfoque de investigación radica en la cuestión de cómo mejorar la cadena de valor para la producción y los servicios en el sector del agua como una parte importante de un enfoque de gestión integrada de los recursos hídricos para los Olifants Medios. Además del diseño conceptual, el IEEM también desarrolló estrategias para el empoderamiento de los actores locales y la mejora de la apropiación local en la región en términos de un proceso de profesionalización, especialmente en lo que respecta a las operaciones y mantenimiento de instalaciones de agua. IEEM combinó diferentes aspectos económicos de las medidas de GIRH en la cuenca del Olifants Medio siguiendo dos enfoques de investigación económica, conceptual y empírico, integrados con diferentes tareas de investigación y resultados, que deben verse como complementarios y se llevaron a cabo en paralelo.
Cadena de valor y agua potable	Mohamed-Zine, M. B., Hamouche, A., y Krim, L. (2013). The study of potable water treatment process in Algeria (boudouaou station)-by the application of life cycle assessment (LCA). <i>Journal of environmental health science and engineering</i> , 11(1), 1-9.	Análisis del ciclo de vida (LCA), Proceso de tratamiento de agua, agua potable, Simapro6	LCA	La evaluación del impacto ambiental pronto se convertirá en una fase obligatoria en los futuros proyectos de producción de agua potable en Argelia, especialmente cuando se consideren procesos de tratamiento alternativos como la sedimentación, la coagulación, la filtración con arena y la desinfección. Por lo tanto, se desarrolla una herramienta de evaluación de impacto para la evaluación ambiental de la producción de agua potable. En nuestro estudio El método de evaluación utilizado es el análisis del ciclo de vida (LCA) para la determinación y evaluación del impacto potencial de una estación de agua potable cerca de Argel (SEAL-Boudouaoua). LCA requiere tanto la identificación como la cuantificación de los materiales y la energía utilizados en todas las etapas de la vida del producto, cuando se adquiere la información del inventario, se interpretará en forma de impacto potencial "eco-indicadores 99" hacia las áreas de estudio cubiertas por LCA, el uso del software simapro6 para el proceso de tratamiento de agua es necesario para descubrir las debilidades en el proceso de tratamiento de agua con el fin de mejorarlo aún más asegurando la calidad de vida. La fuente principal mostró que para el proceso de tratamiento de agua estudiado, las cargas ambientales más altas son la preparación de coagulantes (30% para todos los impactos), el recurso mineral y el agotamiento de la capa de ozono. La distribución de los impactos entre los diferentes procesos varía en comparación con los otros impactos. Los recursos minerales se consumen principalmente durante la preparación de la solución de sulfato de aluminio; El agotamiento de la capa de ozono se origina principalmente por las emisiones de tetraclorometano durante la producción de sulfato de aluminio. También cabe señalar que, a pesar de las pequeñas dosis necesarias, el tratamiento con ozono y carbón activo genera impactos significativos con una contribución del 10% para la mayoría de los impactos.
Cadena de valor y agua potable	Renou, S., Thomas, J. S., Aoustin, E., y Pons, M. N. (2008). Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 16(10), 1098-1105.	Evaluación del ciclo de vida, LCA, impacto medioambiental, tratamiento de aguas residuales	LCIA	Frente al aumento de la preocupación ambiental en el campo del tratamiento del agua, las partes interesadas necesitan herramientas confiables de apoyo a la toma de decisiones para evaluar el desempeño ambiental de los sistemas de aguas residuales industriales y urbanas. Para discutir cómo se puede aplicar la evaluación del ciclo de vida (LCA) a los proyectos de tratamiento de aguas residuales, dicha evaluación se ha realizado a través de un estudio de caso en una planta a gran escala. Se exponen brevemente las cuestiones metodológicas que hubo que tratar. Se han utilizado cinco métodos de evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA): CML 2000, Eco Indicador 99, EDIP 96, EPS y Ecopoints 97. Se ha obtenido una evaluación consistente entre estos métodos para el efecto invernadero, el agotamiento de los recursos y la acidificación. La eutrofización se estima correctamente si se observa el impacto potencial de un escenario de tratamiento pero no la caracterización del estado de eutrofización de una corriente receptora específica. Es necesario trabajar en relación con la toxicidad humana, ya que se observan grandes discrepancias entre los métodos de evaluación de impacto.

Tema	Artículo	Palabras clave	Metodología	Resumen
Cadena de valor y agua potable	Vince, F., Aoustin, E., Bréant, P., y Marechal, F. (2008). LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. <i>Desalination</i> , 220(1-3), 37-56.	Evaluación del ciclo de vida, LCA, impacto medioambiental; consumo de energía; comparación de escenarios de abastecimiento de agua potable	LCA	La evaluación del impacto ambiental pronto se convertirá en una fase obligatoria en los futuros proyectos de producción de agua potable, especialmente cuando se consideren procesos de tratamiento alternativos como la desalinización. Por lo tanto, se desarrolla una herramienta de evaluación de impacto para la evaluación ambiental de la producción de agua potable. El método de evaluación utilizado es el método de evaluación del ciclo de vida (LCA). La evaluación rápida y sencilla del desempeño energético y ambiental contribuye a determinar los puntos débiles de los procesos de producción de agua potable o el tratamiento más adecuado en un contexto específico. Se presentan estudios de algunos escenarios de abastecimiento de agua potable (tratamiento de aguas subterráneas, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa y destilación térmica asociada al trasvase de agua) con el fin de ilustrar la información ambiental extraída de esta herramienta. Se muestra que la principal fuente de impactos es la producción de electricidad para la operación de la planta.
Cadena de valor, agua potable y economía circular	Cayzer, S., Griffiths, P., y Beghetto, V. (2017). Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. <i>International Journal of Sustainable Engineering</i> , 10(4-5), 289-298.	Economía circular, métricas	Métricas de economía circular	Este documento explora la medición del rendimiento del producto con respecto a los principios de la economía circular (CE). Los indicadores potenciales se evalúan prestando especial atención a cuestiones tales como: las variables que deben medirse; cómo deben evaluarse estas variables; y en qué formato deben presentarse. Las consideraciones resultantes se utilizan para desarrollar un prototipo cuyo diseño se basa en los comentarios de los expertos en CE. El prototipo utiliza un cuestionario basado en puntos que converge en un resultado final simple con límites mínimos y máximos. Se evalúa críticamente el enfoque seleccionado y se discute su utilidad para la toma de decisiones. El prototipo se prueba contra un producto en la industria de procesamiento químico. Los puntos fuertes incluyen: facilidad de uso; sencillez; velocidad; y una metáfora eficaz para la difusión de los principios de EC. Las limitaciones incluyen: la naturaleza opaca y potencialmente engañosa de una sola métrica; participación superficial en la toma de decisiones; y la confianza en supuestos específicos del contexto. Los desarrollos futuros podrían incluir el perfeccionamiento del enfoque para fomentar una reflexión más profunda y el uso del enfoque a diferentes industrias o marcos de sostenibilidad.
Cadena de valor, agua potable y economía circular	Kayal, B., Abu-Ghunmi, D., Abu-Ghunmi, L., Archenti, A., Nicolescu, M., Larkin, C., y Corbet, S. (2019). An economic index for measuring firm's circularity: The case of water industry. <i>Journal of Behavioral and Experimental Finance</i> , 21, 123-129.	Reducir, reutilizar, reciclar, índice circonomics, aguas residuales	Métricas de economía circular	La transición hacia el modelo de economía circular es imprescindible para mantener los recursos del planeta. Bajo el modelo de economía circular, las aguas residuales se transforman de un desecho en un recurso. Por lo tanto, un índice integral de economía circular; Se propone el Índice Circonomics para medir la circularidad de la industria de aguas residuales. Los indicadores componentes del índice están vinculados directamente a las tres R; reducir, reutilizar y reciclar, de economía circular. La novedad del Índice propuesto es que utiliza ponderaciones construidas objetivamente que reflejan los beneficios ambientales del proceso de tratamiento, y el índice captura la eficiencia de reutilización y reciclaje de una PTAR, que reflejan la naturaleza específica de las aguas residuales. Los hallazgos muestran que la tecnología de tratamiento es un factor importante para determinar la eficiencia de producción, la tasa de reutilización y el rendimiento de reciclaje de una EDAR. Los resultados del uso del Índice Circonomics tienen una profunda implicación para que los responsables políticos aceleren el proceso de transición a una economía circular.

Tema	Artículo	Palabras clave	Metodología	Resumen
Cadena de valor, agua potable y economía circular	Nika, C. E., Vasilaki, V., Expósito, A., y Katsou, E. (2020). Water cycle and circular economy: developing a circularity assessment framework for complex water systems. <i>Water Research</i> , 187, 116423.	Marco de evaluación de la circularidad, sistema de agua, servicios de ecosistem, sistemas gestionados por humanos y naturaleza, indicadores de rendimiento de circularidad	Métricas de economía circular	El agua, el recurso más vital, afectado negativamente por el patrón lineal de crecimiento, todavía intenta encontrar su posicionamiento dentro del concepto emergente de economía circular. Los enfoques fragmentados de circularidad sectorial ocultan el riesgo de subestimar tanto la preservación como los impactos sobre los recursos hídricos y el capital natural. En este estudio, se desarrolla un marco de evaluación de la circularidad que cambia el juego (es decir, MSWCA). La MSWCA sigue un enfoque de sistemas multisectoriales, gestionando simbióticamente sectores clave socioeconómicos relacionados con el agua (es decir, agua urbana, agroalimentación, energía, industria y manejo de desechos) y no económicos (es decir, medio ambiente natural). El marco de modelado MSWCA permite la investigación de los ciclos de retroalimentación entre los sistemas gestionados por la naturaleza y los gestionados por humanos para evaluar la circularidad del agua y los recursos relacionados con el agua. Los tres principios de CE se encuentran en el centro del marco desarrollado, permitiendo la consideración de aspectos físicos, técnicos, ambientales y económicos. Se desarrolla aún más una base de datos de indicadores, que incluye todos los requisitos de datos relevantes, así como indicadores existentes y recientemente desarrollados que evalúan la circularidad de los sistemas multisectoriales. El marco MSWCA se aplica conceptualmente a una ciudad ficticia, facilitando su comprensión y uso práctico.
Cadena de valor, agua potable y economía circular	Rambau, L. D., Mativenga, P. T., y Marewick, A. L. (2022). A framework to assess circularity of potable water through its lifecycle. <i>Procedia CIRP</i> , 105, 501-506.	Agua; circularidad; reciclaje; economía circular; Sudáfrica	Métricas de economía circular y LCA	Esta investigación presenta el sistema de la cadena de suministro para agua potable identificando las opciones de circularidad y revisando las métricas de economía circular existentes para desarrollar principios para evaluar la circularidad del agua. Aunque hay una serie de marcos de evaluación de la circularidad, la mayoría de los marcos se centran en los bienes de consumo y se debe examinar su transferibilidad al sector del agua. En este contexto, este documento define los pilares esenciales de una métrica de circularidad para el agua y, por lo tanto, contribuye al pensamiento en evolución sobre un nuevo marco para la circularidad del agua considerando su cadena de suministro, el espacio de solución y el desarrollo sostenible.
Cadena de valor, agua potable y economía circular	Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., y Cluzel, F. (2017, August). Hybrid top-down and bottom-up framework to measure products' circularity performance. In <i>International Conference on Engineering Design, ICED 17</i> .	Economía circular, indicadores de circularidad, sostenibilidad, estudio de caso	Métricas de economía circular	Los profesionales industriales están cada vez más dispuestos a cambiar sus productos y negocios a modelos más circulares. El paradigma de la economía circular requiere la optimización del sistema en lugar de los componentes. Sin embargo, los métodos y herramientas existentes, destinados a diseñadores, ingenieros o gerentes, para evaluar y mejorar el potencial de circularidad de los productos carecen de visión sistémica y consideraciones operativas. Este trabajo de investigación contribuye a llenar este vacío a través del diseño de un marco holístico e integrado que apunta a medir, mejorar y monitorear el desempeño de la circularidad del producto. El marco desarrollado se basa en un enfoque híbrido de arriba hacia abajo (impulsado por objetivos) y de abajo hacia arriba (basado en datos) que incluye los cuatro componentes básicos de la economía circular definidos por la Fundación Ellen MacArthur. Los primeros pasos maduros del marco propuesto se detallan y experimentan en un estudio de caso industrial. También se analizan las ideas para mejorar el marco de medición y del rendimiento de la circularidad de los productos y conducen a otras perspectivas de investigación prometedoras.

Tema	Artículo	Palabras clave	Metodología	Resumen
Cadena de valor, agua potable y economía circular	Sartal, A., Ozcelik, N., y Rodriguez, M. (2020). Bringing the circular economy closer to small and medium enterprises: Improving water circularity without damaging plant productivity. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 256, 120363.	Índice de circularidad del agua, economía circular, prácticas esbeltas, productividad de la planta, estudio de caso	Métricas de economía circular	Desde la perspectiva del taller, esta investigación aborda cómo las prácticas lean (5S) afectan simultáneamente los objetivos de la economía circular (CE) y el rendimiento de la planta. Usando la lente de la Teoría de Swift, Even Flow y combinando cuasi-experimentos con datos de series temporales financieras, el estudio de caso propuesto evalúa la evolución del Índice de Circularidad del Agua y la productividad laboral en un entorno lean. El documento destaca las prácticas 5S que permiten la creación de un entorno de trabajo adecuado para mejorar simultáneamente la eficiencia del agua y el rendimiento de la planta. De hecho, los resultados obtenidos confirman que la implementación conjunta de iniciativas lean-CE puede reducir el consumo de agua en un 45 % mejorando la circularidad del agua al mismo tiempo que la productividad laboral aumenta en un 20 %. Estos hallazgos no solo brindan lecciones valiosas para los gerentes, sino que también muestran a los formuladores de políticas un camino verdaderamente viable en el que las empresas (en particular, las pequeñas y medianas empresas) pueden estar más interesadas en la transición hacia una economía más circular. También hay algunas implicaciones sociales secundarias para los presupuestos públicos y sus costos de oportunidad. La reducción en los requisitos de extracción de agua generará ahorros adicionales con respecto a la reducción de las operaciones y el mantenimiento diarios (es decir, monetarios y ambientales) y en futuras inversiones en servicios públicos (por ejemplo, infraestructura de agua y alcantarillado).
Cadena de valor, agua potable y economía circular	Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. <i>Current Opinion in Environmental Science y Health</i> , 2, 32-45.	Economía circular, tratamiento y reutilización de aguas residuales, escasez de agua, contaminantes emergentes	Métricas de economía circular	Las consideraciones que incluyen la escasez de agua en las regiones áridas y semiáridas, las preocupaciones sobre la seguridad del agua en áreas donde la demanda de agua supera la disponibilidad de agua y los requisitos rigurosos y costosos para eliminar los nutrientes y los contaminantes emergentes de la descarga de efluentes a las aguas superficiales han impulsado la reutilización del agua como alternativa. suministro de agua en algunas partes del mundo. Sin embargo, el potencial de reutilización de aguas residuales tratadas aún no se ha explotado en muchas áreas. Una transición a una economía circular podría crear sinergias significativas para la adopción generalizada de la reutilización del agua como suministro de agua alternativo. Por lo tanto, este documento examina las oportunidades y los riesgos de la transición a una economía de este tipo. Los resultados muestran que, si bien muchas de las barreras a las que se enfrenta la reutilización del agua, que van desde la percepción del público hasta los precios y los desafíos regulatorios, podrían abordarse de manera más efectiva a través de una perspectiva de economía circular más amplia, se debe tener cuidado con la regulación y el monitoreo de los niveles de contaminantes. en el agua reciclada según su uso. Una revisión de los esquemas y regulaciones de reutilización existentes en todo el mundo encontró variaciones, lo que demuestra la necesidad de evaluar los beneficios y riesgos caso por caso. El reciclaje y la reutilización son fundamentales para un enfoque de economía circular y ofrecen una estrategia para mejorar el suministro de agua mediante la gestión de las aguas residuales. Dicha estrategia también debe garantizar la seguridad de la reutilización del agua y, por lo tanto, aplicar estándares de calidad del agua apropiados para el uso específico, pero también garantizar el funcionamiento adecuado y confiable de los sistemas de reutilización del agua y la aplicación normativa adecuada.

Fuente: Elaboración propia.



NACIONES UNIDAS

Serie

C E P A L

Recursos Naturales y Desarrollo**Números publicados**

La lista completa y los archivos pdf están disponibles en
www.eclac.org/publicaciones

221. Oportunidades para la adopción del enfoque de cadenas de valor en el ámbito de los recursos hídricos, Elisa Blanco (LC/TS.2023/201), 2024.
220. Recursos naturales y desarrollo sostenible. Propuestas teóricas en el contexto de América Latina y el Caribe, Jeannette Sánchez y Mauricio León (LC/TS.2023/198), 2023.
219. Cuentas satélite de bioeconomía para 13 países de América Latina y el Caribe: metodología y resultados, Renato Vargas, Andrés Mondaini y Adrián G. Rodríguez (LC/TS.2023/138), 2023.
218. Necesidades de inversión en agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe: efectos en el empleo verde y el valor agregado bruto, Silvia Saravia Matus, Diego Fernández, Alfredo Montañez, Santiago López, Lisbeth Naranjo y Alba Llavona (LC/TS.2023/101), 2023.
217. Diagnóstico de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en El Salvador, México y Panamá, Silvia Saravia Matus, Alfredo Montañez, Diego Fernández y Natalia Sarmanto (LC/TS.2023/96), 2023.
216. Pathways to sustainable planning for a just energy transition in Latin America and the Caribbean: an analysis of best practices in selected countries, Antonio Levy, Diego Messina, René Salgado and Rubén Contreras Lisperguer (LC/TS.2023/4), 2023.
215. Acción climática en la agricultura: la experiencia de países miembros de la Plataforma de Acción Climática en Agricultura de Latinoamérica y el Caribe, Walter Oyhantçabal y Adrián G. Rodríguez (LC/TS.2022/240), 2022.
214. Cuenta satélite de bioeconomía para Costa Rica: propuesta metodológica y aplicación práctica, Renato Vargas, Irene Alvarado, Mónica Rodríguez, Adrián Rodríguez y Paul Wander (LC/TS.2022/223), 2022.
213. Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe, Silvia Saravia Matus, Marina Gil Sevilla, Diego Fernández, Alfredo Montañez, Elisa Blanco, Lisbeth Naranjo, Alba Llavona y Natalia Sarmanto (LC/TS.2022/193), 2022.
212. La institucionalidad y la regulación minera en los países andinos: Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia, Ecuador y Perú, Rafael Poveda Bonilla (LC/TS.2022/190), 2022.
211. Brechas, desafíos y oportunidades de agua y género en América Latina y el Caribe. Silvia Saravia Matus, Marina Gil Sevilla, Natalia Sarmanto, Elisa Blanco, Alba Llavona y Lisbeth Naranjo (LC/TS. 2022/170), 2022.

RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO

Números publicados:

- 221 Oportunidades para la adopción
del enfoque de cadenas de valor
en el ámbito de los recursos hídricos
Elisa Blanco
- 220 Recursos naturales y
desarrollo sostenible
Propuestas teóricas en el contexto
de América Latina y el Caribe
Jeannette Sánchez y Mauricio León
- 219 Cuentas satélite de bioeconomía
para 13 países de América Latina
y el Caribe
Metodología y resultados
*Renato Vargas, Andrés Mondaini
y Adrián G. Rodríguez*
- 218 Necesidades de inversión
en agua potable y saneamiento
en América Latina y el Caribe
Efectos en el empleo verde y el valor
agregado bruto
*Silvia Saravia Matus, Diego Fernández,
Alfredo Montañez, Santiago López,
Lisbeth Naranjo y Alba Llavona*

