



Universidad de Concepción

NEXO AGUA-ENERGÍA- ALIMENTOS

Yannay Casas-Ledón / Claudia Ulloa Tesser
Daniela Espinosa Navarrete / Ricardo Barra



Serie Comunicacional CRHIAM

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

Nexo Agua - Energía - Alimentos.

Yannay Casas-Ledón, Claudia Ulloa Tesser,

Daniela Espinosa Navarrete y Ricardo Barra.

Junio 2023.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos
para la Agricultura y la Minería
(CRHIAM)

ANID/FONDAP/15130015

Victoria 1295, Barrio Universitario,

Concepción, Chile

Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl



Universidad de Concepción

NEXO AGUA-ENERGÍA - ALIMENTOS

Yannay Casas-Ledón / Claudia Ulloa Tesser
Daniela Espinosa Navarrete / Ricardo Barra

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU- Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimientos y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Yannay Casas-Ledón

Ingeniera Química.
Doctor en Applied Biological Science,
Ghent University, Bélgica.
Máster en Análisis de Procesos de la Industria Química,
Universidad Central Marta Abre de Las Villas.
Profesora Asociado del Departamento Ingeniería Ambiental,
Universidad de Concepción.
Investigadora Asociada CRHIAM.



Claudia Ulloa Tesser

Ingeniero Civil Químico.
Doctor en Ciencias de la Ingeniería,
Mención en Ingeniería Química.
Universidad de Concepción.
Profesora Asociado del Departamento Ingeniería Ambiental,
Universidad de Concepción.



Daniela Espinosa Navarrete

Ingeniero Civil Químico.
Máster en Gestión Integrada en Medio Ambiente,
Riesgos Laborales y Responsabilidad Social.
Universidad de Concepción.
Seremi de Energía, Región del Biobío.



Ricardo Barra

Bioquímico.
Doctor en Ciencias Ambientales
Universidad de Concepción.
Profesor Titular Facultad de Ciencias Ambientales,
Universidad de Concepción.
Director Centro EULA Chile.
Investigador Principal CRHIAM.

RESUMEN

El acceso a agua, la energía y los alimentos son derechos esenciales de los seres humanos, dado su carácter vital para el bienestar, salud, equidad y erradicación de la pobreza. Así lo reconocen los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) al buscar para el 2030 terminar con todas las formas de hambre y desnutrición; asegurar agua potable y asequible universal; y expandir las mejores tecnologías para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo.

Las proyecciones mundiales indican que la demanda por agua dulce, energía y alimentos aumentará significativamente durante las próximas décadas bajo la presión del crecimiento y la movilidad de la población, el desarrollo económico, el comercio internacional, la urbanización, los cambios culturales y tecnológicos, sin olvidar los efectos del cambio climático, los efectos económicos de la pandemia y de los conflictos bélicos recientes.

Hasta ahora, la gestión tradicional de los distintos recursos requeridos en las economías (energía, agua, minerales, alimentos, suelo, entre otros) se ha hecho de forma independiente, desconociendo la interdependencia entre ellos. En efecto, por diversos factores, la demanda de un recurso afecta directa e indirectamente a otros, impactando la cadena de suministro de ellos en distintas escalas. Por ejemplo, se necesita agua y energía para producir alimentos y, en consecuencia, cualquier elemento que afecte la cadena de producción de agua o energía impactará el abastecimiento alimentario. Por otro lado, la demanda de agua y energía para producir alimentos genera presiones sobre los ecosistemas y los territorios. Por lo tanto, para lograr una gestión eficiente, justa y sostenible de los recursos estratégicos es vital lograr un nivel de comprensión sistémico de estas interacciones.

Es así como en la última década ha surgido un nuevo paradigma en la manera de comprender las relaciones entre recursos naturales y su demanda en el territorio: el Nexo. Esta mirada no sólo considera las interdependencias entre el suministro de distintos recursos y los ecosistemas, sino que además proporciona un marco metodológico para gestionar la demanda y reducir posibles conflictos entre los sectores involucrados.

El presente trabajo entrega una revisión general sobre el enfoque Nexo, tipos de nexos y escala de aplicación. Dada su relevancia para el desarrollo sostenible, se enfatiza en el análisis del Nexo Agua-Energía-Alimentos, abordando cada una de sus interacciones. Además, se dan a conocer los estudios que han introducido el enfoque nexo a escala país. Finalmente, se entregan los principales desafíos existentes en el enfoque, en particular para su aplicación en el diseño de políticas públicas y definiciones de gobernanza del territorio.

REFLEXIONES

DESDE EL SECTOR PÚBLICO SOBRE EL NEXO

En el presente escrito evidenciamos los principales desafíos existentes en el enfoque Nexo, en particular su aplicación en el diseño de políticas públicas y definiciones de gobernanza del territorio. Como país tenemos que seguir trabajando en pro de avanzar hacia el Chile que queremos, el cual se encuentra en un proceso de transición socio-ecológica justa que nos permitirá acceder a un nuevo modelo de desarrollo, para que a través de él se pueda construir una sociedad más equitativa y armónica con los ecosistemas, que sea sostenible en el tiempo y que garantice una buena calidad de vida para todos y todas.

Esta transición indica un uso más sostenible de agua y la energía. En términos energéticos implicará aumentar sustancialmente la generación de energías limpias, a nivel nacional como regional, lo que nos exige desarrollar una mirada estratégica para utilizar de forma sustentable los recursos energéticos disponibles, en particular el agua.

La región del Biobío, con sus 4731 MW instalados, 90 centrales, en 24 de las 33 comunas, aporta cerca del 16% de la energía del país. Parte importante de esta energía proviene de fuentes hidráulicas. Cabe señalar que la energía hidroeléctrica constituye cerca del 60% de la capacidad instalada regional. El potencial hidráulico se concentra en la cuenca del río Biobío, que se estima en 2900,2 MW, adicionales a las ya instaladas, situándola en la cuenca con mayor potencial del país.

Lo anterior constituye un desafío importante, considerando las demandas históricas de las comunidades de los territorios intervenidos por las grandes centrales hidroeléctricas en el Biobío, los múltiples usos antrópicos del agua en la cuenca (agricultura, turismo, energía, industria, consumo humano), la necesidad de conservación de los servicios ecosistémicos, y los escenarios de escasez hídrica asociados al cambio climático.

El desarrollo energético, y en particular el desarrollo hidroeléctrico, se debe construir desde los territorios, considerando su visión, intereses, anhelos y sus sistemas de vida. Herramientas como la Gestión Integrada de Cuenkas, Planes Estratégicos Regionales en materia energética, las Estrategias Energéticas Locales, entre otras, permitirán incorporar la dimensión de sustentabilidad y entregar certezas a la comunidad, autoridades locales y desarrolladores de proyectos, así mismo, garantizar la seguridad hídrica y energética.

Se requiere generar una descentralización de decisiones y beneficios, lo cual se traduce en una democratización en el acceso y uso del agua y la energía. Por eso, es necesario trabajar y mancomunar los esfuerzos de forma coordinada y colaborativa desde el Estado, en conjunto con los diferentes actores del sector, lo cual nos permitirá diseñar políticas públicas para contribuir y avanzar hacia un este nuevo modelo de desarrollo más respetuosa y sostenible con el medio ambiente, con los territorios y con las comunidades.

Daniela Espinosa
Seremi de Energía, Región del Biobío.

ORÍGENES Y DEFINICIÓN DEL NEXO

El enfoque “nexo” surge para describir y abordar la compleja naturaleza e interdependencias de los recursos o elementos, tales como agua, energía, alimentos, uso de suelo y los ecosistemas. En términos prácticos, presenta un enfoque conceptual para comprender mejor y analizar sistémicamente las interacciones entre el entorno natural y las actividades humanas, con la finalidad de avanzar hacia una gestión coordinada e integrada de los recursos naturales, y que garantice la seguridad hídrica, energética y alimentaria, al tiempo que se salvaguardan los ecosistemas proveedores de estos recursos.

Las interacciones descritas por los distintos tipos de nexos (ver sección 3) son complejas y dinámicas, porque se verifican dentro del territorio que es dinámico y complejo por esencia. En consecuencia, los requerimientos sectoriales al interior del territorio no pueden ser considerados y abordados de manera aislada o independiente unos de otros. En la Figura 1 se ejemplifican algunas de las relaciones del agua y la energía en sectores como energía, agricultura, tratamiento y saneamiento de agua. La magnitud de dichas interacciones (grosor de las líneas) cambia entre países y reflejan las características y avances tecnológicos de cada sector. Es por ello que la Figura 1, sólo intenta demostrar la relación de los recursos agua y energía con los diferentes sectores productivos mediante sus diferentes usos.

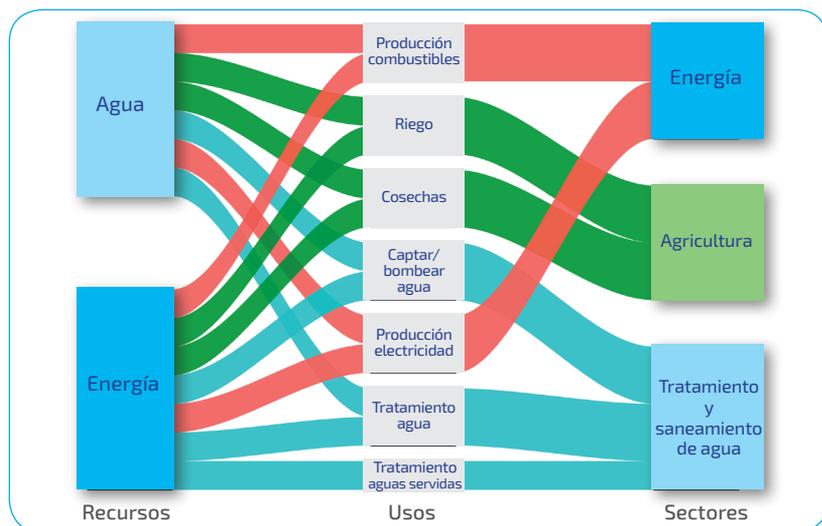


Figura 1.

Relaciones (Nexo) entre agua y energía en sectores energéticos, agricultura y tratamiento y saneamiento de agua. Fuente: Elaboración propia.

Al reconocer las interdependencias dentro del nexo se logra una mejor comprensión de cómo los sectores y procesos productivos dependen de los recursos naturales, y que la falta de disponibilidad de algún recurso puede afectar negativamente la disponibilidad de los otros. El Nexo reconoce las interdependencias e interconexiones entre múltiples sectores que comparten los mismos recursos naturales, tales como agua, energía y suelo (FAO, 2014).

El concepto Nexo fue discutido por primera vez en la conferencia "El nexo entre agua, energía y seguridad alimentaria: soluciones para la economía verde" desarrollada en Bonn, Alemania en el 2011 (Conferencia Nexus Bonn, 2011). La conferencia tuvo como objetivo explorar este nuevo enfoque como un método consistente, visionario y holístico para lograr avanzar hacia la gestión sostenible e integrada de los alimentos, agua y energía.

Desde sus orígenes, el concepto nexo ha evolucionado, incorporando sistemáticamente nuevas dimensiones ambientales, económicas, políticas y sociales. Al mismo tiempo, se han desarrollado metodologías para su evaluación, principalmente en aquellos que involucran los recursos estratégicos como agua, energía, y alimento (Naciones Unidas, 2018; Naranjo and Willarts, 2020; Oliva *et al.*, 2020). Por otra parte, se ha avanzado en la evaluación cuantitativa del nexo usando diferentes herramientas y métodos capaces de representar y cuantificar las interconexiones.

Estos avances metodológicos y conceptuales han sido acompañados de una gran diversidad de estudios de caso que han buscado conocer las interconexiones entre recursos, considerando las distintas realidades geográficas, sociales y económicas. Otros estudios han avanzado hacia proyecciones futuras frente a escenarios de cambio climático, urbanización, marcos regulatorios, desarrollo sustentable, políticas públicas, entre otros. Un resumen de los temas que ha abordado el Nexo y su evolución desde 2012-2021 fue desarrollado por (Lazaro *et al.*, 2022), los cuales se muestran en la Figura 2.

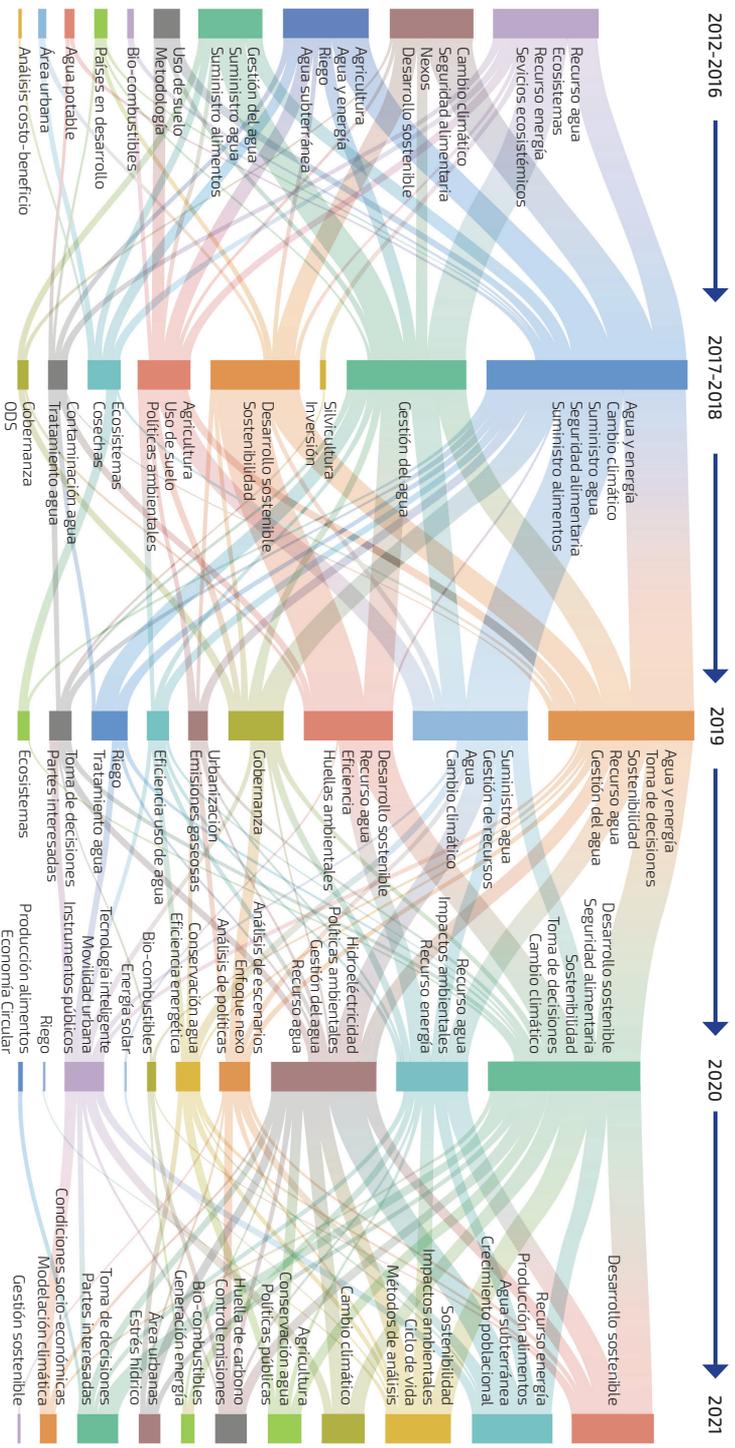


Figura 2. Evolución de los temas abordados en el enfoque Nexo. Mayor grosor de las líneas indica mayores números de estudios. Fuente: Traducido y adaptado desde Lazaro et al., (2022).

VENTAJAS Y APORTES DEL ENFOQUE NEXO

Dentro de las potencialidades que ofrece el enfoque Nexo, se pueden mencionar las siguientes (Ding *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2018):

- Un enfoque Nexo nos ayuda a comprender mejor la complejidad y la dinámica de las interrelaciones en el territorio entre el agua, la energía y los alimentos, de modo que podemos usar y administrar nuestros recursos limitados de manera sostenible.
- Este enfoque se basa en la comprensión de que los recursos ambientales están inextricablemente entrelazados. Por lo tanto, considerar sus dependencias mutuas en la gestión ambiental puede aumentar la eficiencia de los recursos y garantizar una distribución equitativa de los beneficios.
- En línea con lo anterior, este nuevo paradigma nos obliga a pensar en los impactos que una decisión en un sector o actor puede tener en el mismo y en otros. Nos permite identificar posibles compensaciones y sinergias intersectoriales, facilitando el diseño, evaluación y priorización de opciones de gestión, políticas u otros instrumentos que permitan promover el diálogo entre distintos sectores. Es por ello, por lo que el Nexo también se ha definido como una Herramienta de Gestión Multisectorial (Torres *et al.*, 2019).
- Por otro lado, adoptar un enfoque de Nexo para la gestión de recursos naturales puede ayudar a disminuir los riesgos ambientales y la escasez ecológica, incluida la capacidad resiliencia y de adaptación al cambio climático.
- El enfoque Nexo aplicado a las políticas públicas contribuye a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas. Ambos tienen como premisa "usar los recursos presentes sin comprometer los servicios para las generaciones futuras", por lo tanto, este enfoque contribuiría directamente a alcanzar las metas asociadas al ODS 2 (seguridad alimentaria), ODS 6 (seguridad hídrica) y ODS 7 (seguridad energética), entre otros.

A pesar de las ventajas antes mencionadas, una crítica que surge recurrentemente del Nexo es que se confunden con los enfoques integrados ya existentes que abordan la gestión de recursos, en particular la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH). La GIRH podría argumentarse que persigue la gestión integrada y coordinada del agua y el suelo como un medio para equilibrar los diferentes usos del agua, al mismo tiempo que satisface las necesidades sociales y ecológicas. Sin embargo, al centrarse explícitamente en el agua, existe el riesgo de priorizar los objetivos de desarrollo relacionados con el agua sobre otros, reforzando así los enfoques sectoriales tradiciona-

les. Por el contrario, el Nexo considera las diferentes dimensiones del agua, la energía y los alimentos por igual y reconoce las interdependencias de los diferentes usos de los recursos para el desarrollo sostenible (FAO, 2014).

TIPOS DE NEXOS

Dada la versatilidad de este enfoque, en los últimos años se ha abordado el estudio de diferentes tipos de nexos, resultantes de la combinación de las interacciones de los diferentes recursos o elementos según se muestra en la Figura 3. Como se observa en ella, en la mayoría de los casos los principales recursos que considera el Nexo son agua, energía, alimentos, suelo y ecosistemas.

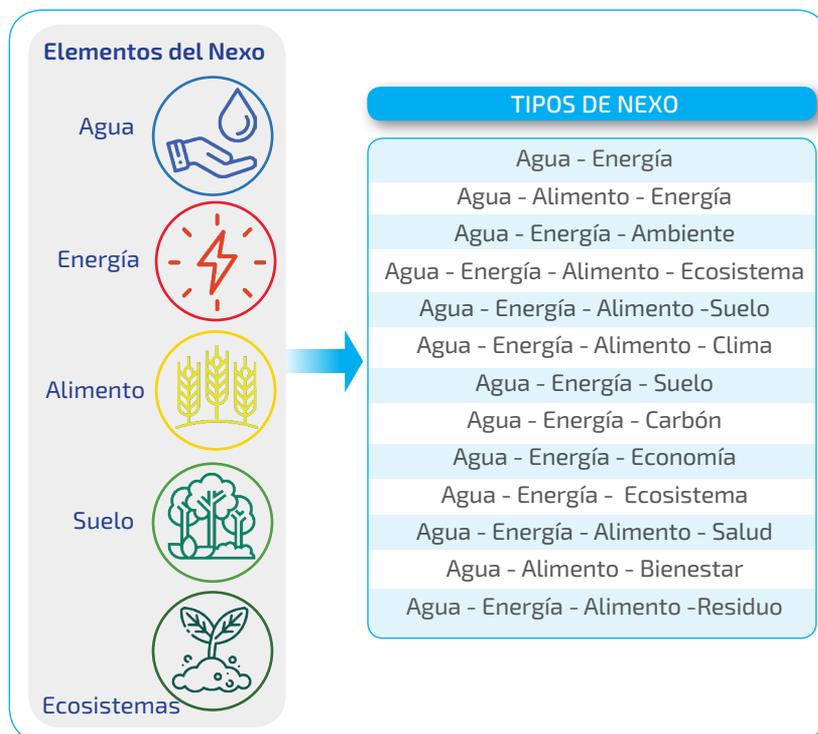


Figura 3.

Los principales elementos que consideran el nexo y ejemplos de nexos. Fuente: Adaptado desde Torres *et al.*, (2019)

Como se mencionó previamente, las principales interacciones que se han estudiado corresponden a aquellas entre agua-energía-alimentos: nexo agua-energía, agua-energía-suelo y agua-energía-suelo-ecosistema (Ding *et al.*, 2020). Otros estudios han focalizado relaciones centradas en el ambiente y ecosistemas, entre ellos agua-energía-carbono, agua-energía-ambiente, agua-energía-alimento-ecosistema.

Incluso, parámetros como el bienestar humano y salud también han sido involucrados dentro del enfoque Nexo (Nexo agua-alimento-bienestar, Nexo agua-energía-alimento-salud) (Ponce-Oliva *et al.*, 2021).

ESCALAS DE EVALUACIÓN DEL NEXO

Dado que el Nexo representa las interrelaciones entre la demanda por recursos en el territorio, ha sido evaluado a distintas escalas, entre las cuales podemos mencionar: procesos, sectores productivos y geográficos. La dimensión geográfica abarca distintas formas o alcances, incluyendo cuencas hidrográficas regionales y transfronterizas, como se muestra en la Figura 4. Estas escalas definen el alcance y el objetivo de cada estudio, haciendo posible entender de mejor manera las posibles interrelaciones dentro él.

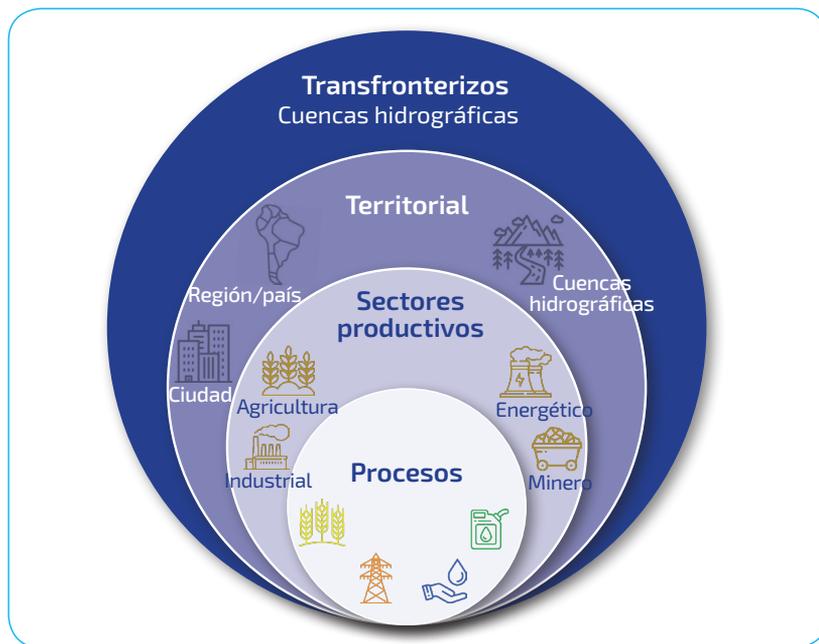


Figura 4.

Posibles escalas de aplicación del Nexo. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen los aspectos que consideran los estudios para cada una de las escalas.

Procesos productivos: Los estudios realizados a escala de procesos se centran en evaluar diferentes tipologías de procesos de forma independiente. Por ejemplo, producción de trigo, desalinización de agua, la producción de energía a partir de algún tipo de fuentes renovables de energía, producción de acero, entre otros. Esta escala se considera la base en la evaluación del nexo, ya que contiene información necesaria para avanzar hacia escala superiores tales como sectorial y territorial.

Sectores productivos: Considera todos los sectores productivos que conocemos; como son, la agricultura, silvicultura, transporte, generación de energía, minería, saneamiento de agua, potabilización de agua. Estos sectores agrupan los diferentes procesos característicos de ellos. Por ejemplo, el sector energía considera todos los procesos relacionados a la producción de combustibles (extracción y refinación de combustibles) y generación de electricidad.

Territorial/Geográfica: Esta se caracteriza por considerar áreas de estudios de nivel macro, es decir, estudios a nivel de ciudad, cuencas hidrográficas, regiones, países. Este nivel de aplicación ofrece una mirada general del nexo en un territorio o cuenca hidrográfica, considerando no solamente los usuarios del agua sino también la dinámica de las cuencas hidrográficas.

Transfronterizos: Si bien esta escala se puede considerar dentro de los alcances territoriales, algunos autores prefieren separarlos debido su complejidad (Dai *et al.*, 2018), principalmente se realizan cuando se comparten recursos entre naciones, poniendo su centro en la gestión del recurso agua en cuencas hidrográficas.

VISUALIZANDO EL NEXO AGUA-ENERGÍA-ALIMENTOS

Las actuales crisis económica, sanitaria y bélica, en distintas partes del mundo, han impactado fuertemente en los precios de la energía y disponibilidad de alimentos, mientras que el cambio climático tiene efectos insospechados sobre los recursos hídricos. En consecuencia, la tríada que compone el Nexo

Agua-Energía- Alimentos ha cobrado aún más relevancia, siendo imperativo incorporar sus alcances en la formulación de políticas públicas e iniciativas privadas de sostenibilidad.

Para ello, resulta clave que los tomadores de decisiones logren comprender en profundidad la complejidad del concepto. El Nexa agua, energía y alimentos es profundamente complejo, entendiéndose que las acciones que se tomen en un determinado sector afectarían inevitablemente a los otros dos, implicando compensaciones en el proceso de toma de decisiones. Debido a que la producción de alimentos requiere agua, la gestión del agua (extracción, tratamiento y redistribución) requiere energía, y producción de energía (extracción, producción combustible y electricidad) requiere de suministro de agua (Figura 5).

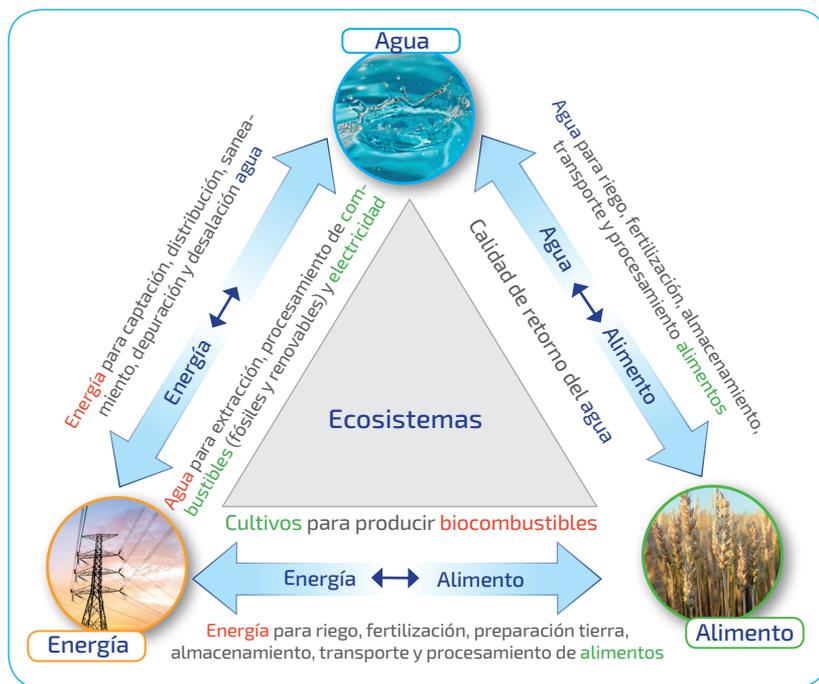


Figura 5.

Interrelaciones multidimensionales del Nexa agua-energía-alimento.

Fuente: Elaboración propia.

APLICACIÓN DEL ENFOQUE NEXO EN CHILE

Se han realizado algunos esfuerzos en Chile para evaluar y proporcionar evidencia del Nexo en diferentes dimensiones y casos de estudio, que han permitido proporcionar información relevante sobre el estado del nexo a escala nacional y regional según se resumen en la Tabla 1.

La mayoría de los estudios realizados a escala nacional han intentado destacar las interrelaciones, interdependencias y sinergias existentes entre tres elementos claves en el desarrollo económico y social local, ellos son el agua, la energía y los alimentos. Se han usado diferentes escalas de aplicación para evaluar el nexo desde procesos hasta territorial, donde este último ha sido el más abordado. Sin embargo, los alcances de los estudios reportados han sido múltiples, considerando entre ellos escenario de cambio climático, proyecciones futuras, marco regulatorio, evolución de las políticas públicas, planificación y gestión de los componentes del nexo.

En términos de políticas públicas, Blanco (2020) hace mención de varias políticas públicas en Chile que implícitamente abordan el enfoque nexo, particularmente en la adaptación de un enfoque intersectorial. Por ejemplo:

- **Ley de Fomento al Riego y Drenaje:** Aborda además de la seguridad hídrica y alimentaria la utilización de energías renovables para cubrir el aumento de la demanda energética generada por las nuevas tecnologías de riego.
- **Gestión Integrada de Cuencas:** Intenta reunir los actores de todos los sectores involucrados en el uso del agua a escala cuenca (energía, agricultura, forestal, industrial entre otros).
- **Política Energética Nacional o Energía 2050:** Explícitamente menciona la vinculación del desarrollo de planes energéticos con otros planes sectoriales.

A pesar de los intentos de visualizar la relevancia del Nexo, aún siguen siendo escasas las experiencias desarrolladas a escala país, limitando entender la relevancia de este enfoque y su transferencia hacia las políticas públicas.

Tabla 1. Ejemplos de aplicación del enfoque Nexo en Chile.

Estudios	Escala aplicación	Tipos de nexo	Alcances del estudio
(Meza <i>et al.</i> , 2015) (Arce <i>et al.</i> , 2019)	Territorial Cuencas (Antofagasta, Copiapó, Maipo y Maule)	Nexo agua-alimento-energía	Evaluar la situación actual v/s escenario de variabilidad climática, escasez de agua y competencia entre usuarios del agua.
(Suárez and Urtubia, 2016)	Proceso Desalinización	Nexo agua-energía	Evaluar el rendimiento de un sistema de destilación de membrana de contacto directo impulsado por estanques solares de gradiente de sal para diferentes parámetros operativos. Se consideró un análisis espacial de la distribución del agua producida en diferentes continentes.
(Vergara <i>et al.</i> , 2017)	Proceso Hidroeléctricas	Nexo agua-energía	Este artículo ofrece una descripción general de las regulaciones hidroeléctricas en Chile, donde dos sectores que se regulan por separado se encuentran: el agua y la industria eléctrica.
(Peña, 2018)	Territorial País	Nexo agua-alimento-energía	Analiza el caso del Nexo en Chile abarcando la aparición del tema de electricidad en la agenda pública, la evolución de las políticas públicas y el marco jurídico institucional relacionado con la gestión del agua, y el desarrollo del riego y de la energía eléctrica.
(Rodríguez-Merchan <i>et al.</i> , 2019)	Sectores Productivos Sector energía	Nexo agua-energía-suelo	Se propuso un método para evaluar la eficiencia del Nexo, integrando los principios del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y el análisis energético, utilizando el Sistema Eléctrico Chileno como caso de estudio.
(Kelly and Negroni, 2020)	Territorial Cuencas (Ríos del Sur de Chile)	Nexo agua-energía	Analiza desde un enfoque institucional y étnico, para entender las inequidades e ineficiencias en el Nexo agua-energía en el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas en Chile.
(Vergara-Araya <i>et al.</i> , 2020)	Territorial Ciudad (Curauma)	Nexo agua-energía	Evaluación de impactos ambientales de la implementación de un sistema integrado de gestión de agua, desechos y energía, utilizando el asentamiento de tamaño mediano en Curauma, Chile. Se analizan proyecciones futuras.

(Ponce-Oliva <i>et al.</i> , 2021)	Territorial Cuencas (Río Vergara)	Nexo agua-alimento-bienestar	Propone un enfoque del Nexo, considerando las dimensiones económicas de las interdependencias e interconexiones entre la producción de alimentos y el sector urbano como usuarios del agua dentro de una cuenca común.
(Bórquez and Fuster, 2021)	Territorial País	Nexo agua-energía	Entender cuáles son los factores claves que han causado que el desarrollo, impacto e inclusión de nuevas políticas públicas relacionadas con el agua y la energía, pues han sido diferentes en Chile en 2014-2015, y cómo eso puede afectar la relación del Nexo.
(Rodríguez-Merchan <i>et al.</i> , 2021)	Sectores Productivos Plantas tratamiento agua potable	Nexo agua-energía	Se evalúa el Nexo en la cadena de suministro de agua potable en Chile mediante el Análisis de Ciclo de Vida Energético.
(Godoy <i>et al.</i> , 2021)	Sectores Productivos Agricultura y minería	Nexo agua-energía-alimento	Enfoque conceptual de la importancia de comprender cómo el Nexo agua-energía-alimentos está vinculado a los modelos de economía circular para transitar hacia un sistema agroalimentario circular y la minería verde en Chile.

CONCLUSIONES

El surgimiento del pensamiento del Nexo es el recordatorio de que los actuales estándares de gestión hacia los recursos deben ser revisados y actualizados con los nuevos paradigmas de la sustentabilidad. Sin embargo, existen algunas limitaciones para lograr la anhelada integración en términos de dar forma al debate de políticas públicas, innovar nuevos conceptos, desarrollar nuevas herramientas y aplicaciones de análisis o iniciar una hoja de ruta.

Actualmente existen varias restricciones en la implementación del Nexo, particularmente para América Latina y el Caribe (ALC) (Naranjo and Willaarts, 2020). No hay conocimiento suficiente de la dinámica del Nexo a nivel local, existe falta de información (limitada, fragmentada, incompleta y poco confiable) y la mayoría de los estudios están desconectados o abordan de forma parcial las interrelaciones entre los recursos dentro de él. Otra barrera es que los tomadores de decisiones entiendan qué se gana en términos de integrar los temas, cuando las políticas se implementan en silos.

La mayoría de los estudios que han abordado el Nexo coinciden que uno de los desafíos es su comprensión. Entender el enfoque, la dinámica y los patrones del Nexo es una gran limitación para el público objetivo, especialmente para los encargados de la toma de decisiones y generadores de políticas. Cerrar esta brecha de conocimiento entre los académicos del Nexo agua-energía y los tomadores de decisiones podría conducir a un avance significativo en este campo.

Otro desafío que enfrenta, indistintamente de los tipos de nexos (agua-energía, agua-energía-suelo, agua-energía-alimento, entre otros), es el hecho de que, aunque actualmente se emplean muchos métodos, no existe un marco metodológico estandarizado que pueda usarse para los estudios a diferentes escalas de aplicación. Es por ello, que la mayoría de los estudios abordan un alcance limitado y la diversidad de métodos para cuantificarlo dificulta la comparación y/o replicabilidad de los resultados a diferentes casos de estudio.

Por otra parte, la dinámica del Nexo presenta una dependencia multifactorial e influenciada por características locales, las cuales son al mismo tiempo variables en el tiempo. En otras palabras, la intensidad del nexo, por ejemplo, agua-energía puede intensificarse en función de:

- La variabilidad climática
- La disponibilidad y calidad del agua
- Las diferencias en los usos y la demanda del agua y energía
- Las características socio-económicas
- Los avances tecnológicos (eficiencia hídrica y energética)
- Las políticas relacionadas a la gestión de ambos recursos

Por lo tanto, se requiere aun de aplicaciones que aborden su dinámica espacial y temporal, que permita apoyar la toma de decisiones considerando las realidades de cada lugar. Al mismo tiempo, disponer de experiencias locales que demuestren que la implementación del Nexo presenta ventajas frente a un contexto de no nexo.

Debido a la fuerte dependencia del Nexo a las condiciones locales, se hace muy complejo realizar *benchmarking* con experiencias similares o replicar experiencia de otros lugares al contexto local. Por lo tanto, es necesario desarrollar un enfoque integral en el pensamiento Nexo a nivel nacional y regional para proporcionar en primer lugar información confiable sobre su estado, identificando oportunidades potenciales que podrían contribuir a implementar soluciones factibles que garanticen la seguridad hídrica y energética o la eficiencia de la gestión de los recursos naturales dentro del territorio.

REFERENCIAS

- Arce, G., Gironás, J., Molinos Senante, M., Suárez, F., Pastén, P., Meza, F., Donoso, G., Vicuña, S., Vargas, I., 2019. The Food–Water–Energy Nexus in Chile: Agriculture, Water Companies, and Mining. *Environ. Water* 2, 1–19. <https://doi.org/10.1002/9781119300762.wsts0047>
- Bórquez, R., Fuster, R., 2021. Energy and water policies in Chile, two different endings with implications in the water–energy nexus. *Energies* 14. <https://doi.org/10.3390/en14113286>.
- Blanco, E., 2020. Lecciones de Chile para la adopción del enfoque del Nexo: análisis de políticas de fomento de tecnologías de riego, gestión integrada de cuencas, fondos de agua y energía sostenible", serie *Recursos Naturales y Desarrollo*, N° 202 (LC/TS.2020/164), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.
- Dai, J., Wu, S., Han, G., Weinberg, J., Xie, X., Wu, X., Song, X., Jia, B., Xue, W., Yang, Q., 2018. Water-energy nexus : A review of methods and tools for macro-assessment. *Appl. Energy* 210, 393–408. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.243>
- Ding, T., Liang, L., Zhou, K., Yang, M., Wei, Y., 2020. Water-energy nexus: The origin, development and prospect. *Ecol. Modell.* 419, 108943. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.108943>
- FAO, 2014. The water-energy-food nexus. A new approach in support of food security and sustainable agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821605-7.00025-8>
- Godoy-Faúndez, A., Rivera, D., Aitken, D., Herrera, M., El Youssefi, L., 2021. Circular Economy in a Water-Energy-Food Security Nexus Associate to an SDGs framework: Understanding Complexities. Book. L. Liu and S. Ramakrishna (eds.), *An Introduction to Circular Economy*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8510-4_12
- Kelly, S.H., Negroni, J.M.V., 2020. Tracing institutional surprises in the water–energy nexus: Stalled projects of Chile's small hydropower boom. *Environ. Plan. EPE Nat. Sp.* 0, 2–25. <https://doi.org/10.1177/2514848620945936>

- Mahlkecht, J., González-Bravo, R., Loge, F.J., 2020. Water-energy-food security: A Nexus perspective of the current situation in Latin America and the Caribbean. *Energy* 194, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116824>
- Meza, F.J., Vicuna, S., Gironás, J., Poblete, D., Suárez, F., Oertel, M., 2015. Water–food–energy nexus in Chile: the challenges due to global change in different regional contexts. *Water Int.* 40, 839–855. <https://doi.org/10.1080/02508060.2015.1087797>
- Lazaro, L.L.B., Bellezoni, R.A., Puppim de Oliveira, J.A., Jacobi, P.R., Giatti, L.L., 2022. Ten Years of Research on the Water–Energy–Food Nexus: An Analysis of Topics Evolution. *Front. Water* 4, 1–16. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.859891>
- Naciones Unidas, 2018. Metodología de evaluación del nexo agua-alimentos-ecosistemas en cuencas transfronterizas, y experiencias en su aplicación: síntesis.
- Naranjo, L., Willaarts, B.A., 2020. Guía metodológica Diseño de acciones con enfoque del Nexo entre agua, energía y alimentación para países de América Latina y el Caribe 83.
- Peña, H., 2018. Agua, producción de alimentos y energía: La experiencia del Nexo en Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Ponce-Oliva, R.D., Fernández, F.J., Vasquez-Lavín, F., Montevechio, E.A., Julio, N., Stehr, A., 2021. Nexus thinking at River Basin scale: Food, water and welfare. *Water (Switzerland)* 13. <https://doi.org/10.3390/w13071000>
- Rodríguez-Merchan, V., Ulloa-Tesser, C., Baeza, C., Casas-Ledón, Y., 2021. Evaluation of the Water–Energy nexus in the treatment of urban drinking water in Chile through exergy and environmental indicators. *J. Clean. Prod.* 317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128494>
- Rodríguez-Merchan, V., Ulloa-Tesser, C., Casas-Ledón, Y., 2019. Evaluation of the Water–Energy–Land Nexus (WELN) using exergy-based indicators: The Chilean electricity system case. *Energies* 13. <https://doi.org/10.3390/en13010042>

- Suárez, F., Urtubia, R., 2016. Tackling the water-energy nexus: an assessment of membrane distillation driven by salt-gradient solar ponds. *Clean Technol. Environ. Policy* 18, 1697–1712. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1210-3>
- Torres, C.J.F., de Lima, C.H.P., Goodwin, B.S. de A., de Aguiar Junior, T.R., Fontes, A.S., Ribeiro, D.V., da Silva, R.S.X., Medeiros, Y.D.P., 2019. A literature review to propose a systematic procedure to develop "nexus thinking" considering the water-energy-food nexus. *Sustain.* 11, 1–32. <https://doi.org/10.3390/SU11247205>
- Vergara-Araya, M., Lehn, H., Poganietz, W.R., 2020. Integrated water, waste and energy management systems – A case study from Curauma, Chile. *Resour. Conserv. Recycl.* 156, 104725. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104725>
- Vergara, A., Bravo, D.R., de Undurraga, G.S., Ortega, E.C., 2017. The water-energy nexus in Chile: A description of the regulatory framework for hydroelectricity. *J. Energy Nat. Resour. Law* 35, 463–483. <https://doi.org/10.1080/02646811.2017.1369278>
- Zhang, C., Chen, X., Li, Y., Ding, W., Fu, G., 2018. Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. *J. Clean. Prod.* 195, 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194>



Universidad de Concepción

NEXO AGUA-ENERGÍA- ALIMENTOS



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia



10
AÑOS
CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/15130015

Serie Comunicacional CRHIAM