



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Facultad de Economía "Vasco de Quiroga"
División de Estudios de Posgrado



**Una década después: revisión sistemática en torno a la operacionalización del
marco analítico Nexo agua-energía-alimentos**

T E S I S

P R E S E N T A

Edilvia Arreola Villa

Para obtener el grado de

Maestra en Desarrollo y Sustentabilidad

Directora de Tesis

Hilda R. Guerrero García Rojas

Codirector de Tesis

Faustino Gómez Santiz

Morelia, Michoacán, febrero 2022



Índice

Introducción	1
1 El Nexo agua-energía-alimentos	4
1.1 La genealogía del Nexo	5
1.2 El Nexo como un enfoque para la sustentabilidad	8
1.3 La definición del Nexo	12
1.4 Las críticas del Nexo	15
2 Antecedentes	19
2.1 Las revisiones de literatura del Nexo.....	19
2.2 Preguntas de investigación	29
3 Metodología de investigación	30
3.1 El Manual Cochrane para la revisión de literatura.....	30
3.2 Métodos.....	33
3.2.1 Estrategia de búsqueda	33
3.2.2 Criterios de selección e inclusión de estudios	34
3.2.3 Justificación de los criterios de búsqueda	35
3.2.4 Evaluación de la calidad	36
3.2.5 Sintaxis de búsqueda.....	37
3.2.6 Identificación de las variables en los estudios de caso	38
3.2.7 Limitaciones de la investigación.....	41
4 Resultados	42
4.1 Características generales	42
4.2 Estudios de caso en América Latina	55
4.3 Estudios de caso en México	61
4.4 Dentro del Nexo	63
4.4.1 Categoría alimentos.....	63
4.4.2 Categoría energía.....	64
4.4.3 Categoría agua.....	65
4.5 Las variables utilizadas en los estudios de caso	66
5 Discusión	72
5.1 Tendencias temáticas y espaciales de los estudios de caso	72
5.2 La emergencia del Nexo en el contexto de la crisis alimentaria	73
5.3 Las variables dentro de los estudios de caso del Nexo.....	74

5.4	La sustentabilidad dentro del Nexo.....	75
	Conclusiones.....	76
	Referencias.....	79
	Anexos.....	93

Índice de Cuadros

Cuadro 2.1 Revisiones de literatura sobre el Nexo agua-energía-alimentos.....	26
Cuadro 3.1 Conceptos clave de la estrategia de búsqueda	34
Cuadro 3.2 Justificación de los criterios de búsqueda	36
Cuadro 3.3 Sintaxis de búsqueda.....	37
Cuadro 4.1 Las diez revistas más productivas en los estudios de caso del Nexo	43
Cuadro 4.2 Contribución científica por país a los estudios de caso del Nexo.....	45
Cuadro 4.3 Estudios de caso del Nexo por regiones del mundo	46
Cuadro 4.4 Contribuciones por afiliación a los estudios de caso del Nexo	48
Cuadro 4.5 Los diez autores más productivos en los estudios de caso del Nexo	49
Cuadro 4.6 Los diez estudios de caso del Nexo más citados a nivel global.....	52
Cuadro 4.7 Las diez palabras clave más frecuentes utilizadas en los estudios de caso	54
Cuadro 4.8 Estudios de caso del Nexo en América Latina.....	56
Cuadro 4.9 Los diez autores más productivos en los estudios de caso en América Latina.....	57
Cuadro 4.10 Los diez estudios de caso más citados de América Latina.....	60
Cuadro 4.11 Los estudios de caso del Nexo en México.....	61
Cuadro 4.12 Cultivos de frutas y vegetales de la categoría de alimentos	64
Cuadro 4.13 Los estudios de caso del Nexo incluidos para la revisión de las variables	66
Cuadro 4.14 Variables climáticas utilizadas en los estudios de caso	69
Cuadro 4.15 Variables ecológicas utilizadas en los estudios de caso.....	70
Cuadro 4.16 Variables económicas utilizadas en los estudios de caso.....	71
Cuadro 4.17 Variables sociales utilizadas en los estudios de caso	71

Índice de Figuras

Figura 3.1 Diagrama de flujo para la selección de los estudios de caso	40
Figura 4.1 Producción científica de estudios de caso del Nexo a lo largo del tiempo	42
Figura 4.2 Revistas principales donde se publican los estudios de caso del Nexo.....	44
Figura 4.3 Producción científica por país según los estudios de caso del Nexo	45
Figura 4.4 Redes de colaboración entre países basado en el análisis de co-autoría.....	47
Figura 4.5 Red de colaboración entre investigadores	50
Figura 4.6 Palabras clave más frecuentes en los estudios de caso del Nexo.....	53
Figura 4.7 Co-ocurrencia de palabras en los estudios de caso Nexo	55
Figura 4.8 Redes de colaboración entre países en los estudios de caso en América Latina	58
Figura 4.9 Co-ocurrencia de palabras en los estudios de caso en América Latina	59
Figura 4.10 Nube de palabras de los estudios de caso en América Latina	59

Resumen

El Nexo agua-energía-alimentos es un marco de investigación para comprender las interdependencias entre los recursos de agua, energía y alimentos, así como las sinergias y compensaciones que surgen al momento de su gestión. Se popularizó a partir de la Conferencia Bonn 2011 en la que se dejaron sentadas las bases conceptuales. En este estudio se realizó una revisión sistemática de literatura para comprender cómo se ha operacionalizado el Nexo una década después por la comunidad científica. Con la orientación del Manual Cochrane de revisiones Sistemáticas de Intervenciones se analizaron 249 estudios de caso obtenidos de la base de datos Scopus. Los resultados muestran que los estudios de caso han crecido a partir del 2014 diseminados en 66 países alrededor del mundo, siendo Asia la región que concentra el 47% de éstos. Los seis métodos comúnmente utilizados en estos estudios son el análisis de ciclo de vida, la huella hídrica, optimización multiobjetivo, análisis envolvente de datos (DEA), el modelado de agentes y la dinámica de sistemas. Dentro de las variables utilizadas en los estudios de caso destaca el uso de variables ecológicas, climáticas, económicas y sociales; por lo que las investigaciones Nexo incorporan fuentes de perturbación demográficas, económicas y climáticas para comprender la relación entre el agua, la energía y los alimentos.

Palabras clave: Nexo agua-energía-alimentos, Revisión de literatura, Manual Cochrane, Estudios de caso

Abstract

The Water-Energy-Food Nexus is a research framework for understanding the interdependencies between water, energy, and food resources, as well as the synergies and trade-offs that arise when managing them. It became popular after the 2011 Bonn Conference where the conceptual foundations were laid. In this study, a systematic literature review was conducted to understand how the Nexus has been operationalized a decade later by the scientific community. With guidance from the Cochrane Handbook of Systematic Reviews of Interventions, 249 case studies obtained from the Scopus database were analyzed. The results show that case studies have grown from 2014 scattered in 66 countries around the world, with Asia being the region that concentrates 47% of these. The six methods commonly used in these studies are life cycle assessment, water footprint, multi-

objective optimization, data envelopment analysis, agent based modeling, and system dynamics. Among the variables used in the case studies is the use of ecological, climatic, economic, and social variables; therefore, Nexus research incorporates demographic, economic, and climatic sources of disturbance to understand the relationship between water, energy and food resources.

Keywords: Water-energy-food Nexus, Literature review, Cochrane Handbook, Case study

Una década después: revisión sistemática en torno a la operacionalización del marco analítico Nexo agua-energía-alimentos

Introducción

Para el 2030 se espera que la población mundial consuma alrededor de 50% más alimentos, 40% más energía y 30% más agua (Hoff, 2011; World Economic Forum, 2011). Este aumento de la demanda impulsado por el crecimiento de la población (European Report on Development, 2012), el crecimiento económico y la urbanización (World Economic Forum, 2011) puede resultar en una escasez que ponga en riesgo la seguridad hídrica, energética y alimentaria de las personas (Leese & Meisch, 2015). En este contexto, los recursos de agua, energía y alimentos se han convertido en un área de investigación que está recibiendo una gran atención de expertos y académicos (Fan et al., 2021) y que se ha materializado bajo el marco analítico Nexo agua-energía-alimentos (water-energy-food nexus).

El Nexo (de aquí en adelante) tuvo sus orígenes en el 2007 en una situación de crisis alimentaria mundial (Ringler et al., 2013) y desde entonces se ha popularizado gracias a una serie de conferencias, talleres, agendas de investigación e informes de gran alcance (Leck et al., 2015). El Nexo se concibe como un marco de investigación para analizar las interdependencias entre el agua, la energía y los alimentos, así como las sinergias y compensaciones que surgen al momento de su gestión. El propósito fundamental es aumentar la eficiencia en el uso de los recursos y proveer un mejor entendimiento de las políticas necesarias para satisfacer las necesidades de las personas sin comprometer la sustentabilidad (Albrecht et al., 2018; Hoff, 2011; Liu et al., 2017; Simpson & Jewitt, 2019).

A lo largo de la última década ha ganado una gran prominencia no solo en la investigación académica, sino también en las agendas de desarrollo internacional. Por ejemplo, la Organización de las Naciones Unidas busca adoptar una perspectiva Nexo para implementar los objetivos de desarrollo sustentable (Wiegleb & Bruns, 2018). Gracias a esta prominencia, se considera como el "nuevo chico de la cuadra" en el discurso del desarrollo (Allouche et al., 2015). Pese a este gran interés, el Nexo se concibe aún como un enfoque inmaduro (Allouche et al., 2015), que no está claramente definido y donde hay una gran variedad de temas (Wichelns, 2017).

Las revisiones de literatura que se han hecho hasta la fecha han aportado mucha claridad para comprender cómo se ha llevado a la práctica este marco. Estas revisiones han encontrado el poco acuerdo entre la comunidad científica sobre su significado. Mientras los hidrólogos hablan de water-energy-food, la fraternidad agrícola utiliza food-energy-water, y el sector energético utiliza energy-water-food (Simpson & Jewitt, 2019). Además de esta variación en la terminología, el concepto puede ser muy estrecho donde solo se consideran el agua, la energía y los alimentos o puede ser mucho más amplio donde se incluyen elementos como tierra, ecosistemas, seguridad, minerales y cambio climático (Purwanto et al., 2021). Asimismo, tampoco existe una definición común. Para algunos, el Nexo es un enfoque de análisis para cuantificar los vínculos entre agua, energía y alimentos (Zhang et al., 2018), mientras que para otros es una herramienta de gestión para evaluar sistemas interdependientes (Torres et al., 2019).

También estas revisiones han encontrado que en la práctica no se puede hablar de una sola investigación Nexo, sino que hay muchas variantes (Endo et al., 2017; Zhang et al., 2018). Torres et al. (2019) descubrieron 23 tipos de investigación Nexo donde solamente el 66% se puede considerar water-energy-food nexus. Además, el tema central dentro de la investigación Nexo es el agua, por lo que lo han calificado como "agua centrismo" (Urbinatti et al., 2020) y se sugiere que no es un enfoque suficientemente integrador con la energía y con los alimentos (Fan et al., 2021).

Por otro lado, los métodos utilizados proceden principalmente de las ciencias ambientales, la economía y las ciencias sociales (Albrecht et al., 2018). Sin embargo, se privilegia el uso de algunos métodos cuantitativos entre los que se destaca el análisis de ciclo de vida, indicadores ecológicos, análisis insumo-producto, modelos de agroecosistemas, modelos de suelo e hidrología y el modelado de agentes (Proctor et al., 2021). Además, hay dos dificultades centrales que se reportan en la literatura para llevar a la práctica el marco. La primera es la falta de claridad para discernir qué es un problema Nexo y qué metodología es necesario seguir para abordarlo (Weitz et al., 2017). La segunda es la escasez de datos que pueden no existir o variar en disponibilidad y cantidad (Tolba et al., 2018; C. Zhang et al., 2018).

Uno de los aspectos críticos que han encontrado las revisiones de literatura es la falta de evidencia de que las investigaciones Nexo contribuyan a mejorar la gestión de los recursos. Si bien el Nexo considera necesaria la coherencia de políticas entre los sectores de agua, energía y alimentos, no profundiza en cómo se podría producir (Weitz et al., 2017). En la práctica, solo una mínima parte de los estudios Nexo ha proporcionado apoyo directo a la toma de decisiones (Galaitis et al., 2018) y a pesar de la gran aceptación entre los sectores académico, político y privado, el Nexo no se ha implementado ampliamente (Tolba et al., 2018).

Aun cuando hay grandes avances con estas revisiones existen vacíos de conocimiento por superar que motivaron esta investigación. Por un lado, son pocas las revisiones de literatura que se han centrado en estudios de caso (véase Albrecht et al., 2018; Galaitis et al., 2018; Tolba et al., 2018). Por otro lado, ninguna de las revisiones anteriores ha intentado responder qué se ha considerado bajo el término agua, energía y alimentos. Ni tampoco con qué variables los investigadores operacionalizan las categorías de agua, energía y alimentos y su nexos.

Atendiendo a estos vacíos de conocimiento, el objetivo de esta revisión sistemática de literatura es analizar cómo se ha operacionalizado el marco analítico Nexo en los estudios de caso durante la última década. Específicamente, identificar las tendencias temáticas y espaciales, describir de qué se habla cuando se habla de agua, energía y alimentos e identificar las variables analíticas de estudio que incorporan los investigadores en los estudios de caso. Para ello, se utiliza la guía metodológica del Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas que se considera la guía más detallada y robusta para llevar a cabo una revisión de literatura (Aveyard, 2007).

Esta investigación está desarrollada en cinco apartados. En la sección 1 se describe el Nexo como marco analítico. En la sección 2 se presentan los resultados de las revisiones de literatura del Nexo que se han hecho hasta la fecha. En la sección 3 se describe la metodología para identificar, valorar y sistematizar los estudios de caso del Nexo para responder a la pregunta de investigación. En la sección 4 se sistematizan los hallazgos centrales de acuerdo con cada objetivo específico. En la sección 5 se desarrolla la discusión con los resultados más significativos.

1 El Nexo agua-energía-alimentos

El Nexo es un marco de investigación científica que intenta comprender la compleja relación que existe entre el ser humano y el medio ambiente (Howarth & Monasterolo, 2017). Este marco trae de nuevo a la mesa el debate de la escasez de recursos naturales y la dificultad para satisfacer con estos recursos limitados las necesidades de una población que crece cada vez más (Allouche et al., 2015). El Nexo reconoce la presión sobre los recursos naturales que vienen tanto del lado de la demanda como de la oferta. Por un lado, el aumento de la población y el cambio en los patrones de consumo aumentan la demanda. Por otro lado, factores como el cambio climático, la deforestación, la degradación del suelo y la degradación de los ecosistemas provocan que los suministros de agua, energía y alimentos se acerquen a su límite.

La Conferencia de Bonn 2011 se considera el hito para el surgimiento de este enfoque y la pieza conceptual fundamental (Leck et al., 2015; Scott et al., 2015). El Nexo reconoce que el agua, la energía y los alimentos están interconectados y estos vínculos incorporan muchos conflictos entre ellos en tanto que el desarrollo de un sector agota los recursos de los otros dos sectores (Chang et al., 2016). En este sentido, el objetivo del Nexo es abordar el agua, la energía y los alimentos de forma conjunta para minimizar las compensaciones o resultados no óptimos entre sectores y maximizar sus sinergias, aumentar la eficiencia en el uso de los recursos y proveer un mejor entendimiento de las políticas necesarias para satisfacer las necesidades de las personas sin comprometer la sustentabilidad (Hoff, 2011).

En este capítulo se introduce al tema del Nexo. En primer lugar, se describen los orígenes de este marco. En segundo lugar, se describe el problema que dio origen al Nexo y las diferentes perspectivas que consideran que es necesario agregar otros elementos. En tercer lugar, se analiza el concepto del Nexo y el entendimiento de conceptos clave como compensaciones, sinergias y eficiencia. Finalmente, se cierra este capítulo con las críticas que se le han hecho, particularmente, se pone en tela de juicio su originalidad y su capacidad para entregar soluciones a los problemas de la vida real.

1.1 La genealogía del Nexo

El Nexo surgió del entendimiento de las implicaciones que tiene la escasez de recursos naturales para el crecimiento económico y el bienestar humano (Allouche et al., 2015; Benson et al., 2015; Ringler et al., 2013). Tuvo sus orígenes a finales del 2000 en un contexto donde los precios mundiales de los alimentos se dispararon hasta en un 40% en el 2007 y continuaron aumentando en el 2008 y en el 2011. Este incremento tuvo muchas implicaciones negativas sobre otros recursos, como el acaparamiento de tierras y el aumento de la competencia por los recursos hídricos y energéticos (Ringler et al., 2013).

Esta subida sustancial de precios se consideró una señal clave del aumento de la escasez de recursos naturales porque la producción de alimentos depende de recursos como la tierra, el agua y la energía. Por ejemplo, la agricultura es el mayor consumidor de agua, a nivel mundial se estima que utiliza el 70% de las extracciones de agua dulce lo que equivale a utilizar 1 litro de agua por cada caloría de alimento (World Economic Forum, 2011). Asimismo, la agricultura también consume el 30% de la energía global (Garcia & You, 2016). En síntesis, el aumento de los precios mundiales de los alimentos dejó ver la vulnerabilidad de los sistemas de producción y la sobreexplotación del agua (Benson et al., 2015).

En este contexto de crisis alimentaria se popularizó¹ el concepto del Nexo gracias a una serie de conferencias, talleres, agendas de investigación e informes de gran alcance (Leck et al., 2015). Se considera que uno de los impulsos iniciales provino de la reunión del Grupo de Recursos Hídricos 2030 en el año 2007. Este grupo estuvo integrado por empresas como Barilla Group, CocaCola Company, Nestlé, SabMiller, PepsiCo; y organizaciones como el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y el Foro Económico Mundial (WEF), entre otros actores. Durante esta reunión se abordó el problema de la escasez del agua no solo como un riesgo para los negocios de las empresas sino también como un problema para la estabilidad política de los países. Aunque el tema central del Grupo fue la seguridad del

¹ El concepto del Nexo ya era utilizado desde 1980 para hacer referencia a la interrelación entre recursos naturales, aunque estos primeros estudios solo se centraron en la interacción entre dos sectores. La primera referencia se puede situar en 1983 con el *Food-energy Nexus Programme* de la Universidad de las Naciones Unidas. Este programa pretendía abordar en conjunto los desafíos de los alimentos y la energía en los países en desarrollo. Años más tarde, a través de diversos trabajos académicos se reconoció el Nexo agua-energía (Scott et al., 2015).

agua, se dejó por primera vez sobre la mesa la propuesta del Nexo agua, energía y seguridad alimentaria (Leese & Meisch, 2015).

Este conjunto de empresas transnacionales hizo un llamado a reexaminar la relación entre el agua y el crecimiento económico. Criticaron las tarifas y los subsidios gubernamentales a la agricultura que no han hecho más que exacerbar la sobreexplotación del agua y llamaron a asignarla a usos de un mayor valor económico por litro como la producción de energía, la industria y la manufactura lo cual tendría un mayor impacto en el crecimiento económico. Concluyeron que la crisis del agua es el principal riesgo mundial en tanto que es un recurso escaso, sin sustitutos y que requiere de una regulación especial del mercado y del que dependerán las inversiones globales (Allouche et al., 2015).

El reconocimiento formal del Nexo se dio un año más tarde en la reunión del Foro Económico Mundial del 2008. En ésta los líderes de negocios llamaron a engarzar con el nexo el crecimiento económico y los recursos de agua, energía y alimentos (Cairns & Krzywoszynska, 2016; Scott et al., 2015). Esta reunión retomó el enfoque analítico del Grupo de Recursos Hídricos 2030 con la intención de cambiar la agenda del agua como una cuestión de acceso a una cuestión de seguridad y crecimiento económico (Leese & Meisch, 2015). En el 2011 publicaron su reporte "*Water security: the water-food-energy-climate nexus*" en el que afirman que la seguridad del agua es la telaraña que une la red de desafíos de la alimentación, la energía, el clima, el crecimiento económico y la seguridad humana que enfrenta la economía mundial a lo largo de los años (World Economic Forum, 2011).

En ese mismo año se celebró el evento que marcó el hito para el surgimiento de este marco: "*Bonn 2011 Nexus Conference: The Water, Energy and food security Nexus-Solutions for the Green Economy*" en la que participaron muchos actores, entre ellos: el gobierno de Alemania, el Foro Económico Mundial, el Foro Mundial para la Naturaleza, el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI), el Instituto Internacional de Agua de Estocolmo (SIWI), el Instituto de Energía y Recursos (TERI), el Consejo Empresarial Mundial para el desarrollo sostenible (WBCSD) (Leck et al., 2015; Scott et al., 2015). El documento que se generó "*Understanding the Nexus*" se considera uno de los más influyentes en el que se planteó al

Nexo como un enfoque necesario para mejorar la seguridad del agua, la energía y los alimentos y como una forma de transición hacia la economía verde² (Hoff, 2011).

Los resultados de Bonn 2011 se discutieron unos meses más tarde en la Conferencia de la Organización de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sustentable en Rio de Janeiro 2012. El evento se tituló "*The water, energy and food security nexus. Make it happen*" (Leese & Meisch, 2015). Uno de los desafíos en lo que se hizo hincapié durante esta conferencia fue suministrar agua, energía y alimentos para todos y gestionar las sinergias y compensaciones entre estos recursos (Tolba et al., 2018).

Después del 2012 se celebraron diversos foros y conferencias para seguir abordando los temas del Nexo³. Desde entonces ha habido una gran atención y numerosos esfuerzos por llevarlo a la práctica. Por ejemplo, la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (CESPAP) publicó en el 2013 un informe sobre el estado del Nexo en esa región. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) desarrolló un enfoque para evaluar y gestionar el Nexo. La Asociación Mundial para el Agua (GWP) se centró en un programa sobre la relación del Nexo y ecosistemas. El Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) estableció un programa para estudiar los vínculos del Nexo, así como la mejor manera para gobernar y gestionar estos recursos de manera sustentable. En el 2015 la Fundación Nacional de la Ciencia de Estados Unidos publicó una convocatoria para financiar con 50 millones de dólares a la investigación Nexo. Desde el 2017 China incorporó el Nexo en su Programa Nacional de Investigación y Desarrollo (Chen et al., 2019).

Además, el Nexo también tuvo un fuerte impacto en la academia. A lo largo de estos años se han realizado numerosos estudios de caso en todas las regiones del mundo haciendo hincapié en las interdependencias entre estos tres sectores (Leese & Meisch, 2015). En este sentido, el Nexo se convirtió en un tema de gran interés no solo para los hacedores de políticas y el sector empresarial, sino también para la comunidad científica.

² Uno de los resultados de esta Conferencia fue la plataforma de recursos en línea en la que se presentan documentos, noticias, mensajes, entre otros recursos para mostrar la relevancia del Nexo (Leese & Meisch, 2015). <http://www.water-energy-food.org/nexus-platform-the-water-energy-food-nexus/>

³ Para una descripción detallada véase Leck et al. (2015)

1.2 El Nexo como un enfoque para la sustentabilidad

Desde sus inicios el Nexo se planteó como un enfoque absolutamente necesario para abordar los desafíos complejos que enfrenta la humanidad y que tienen que ver muchos de ellos con los recursos de agua, energía y alimentos. Estos recursos no solamente son indispensables para la satisfacción de las necesidades humanas, sino que también se consideran como un pilar fundamental sobre los que se asientan la seguridad, la prosperidad y la equidad de todo el mundo (Bazilian et al., 2011).

El problema central del que parte el Nexo es la preocupación por la presión sin precedentes sobre los recursos naturales escasos que está ejerciendo la demanda de bienes y servicios. Dentro de los drivers más importantes que impulsan esta presión está el crecimiento de la población⁴(European Report on Development, 2012). Se estima que la población mundial va a aumentar de 8500 millones de personas en el 2030 a 11200 millones en el 2100 y se prevé que al menos la mitad de este crecimiento ocurrirá en África (Brears, 2018). Pero no solamente es el hecho de que una mayor población va a demandar más recursos, sino también una población que es cada vez más rica y que está cambiando sus patrones de consumo por productos que tienen grandes implicaciones para el agua, la energía y la tierra, como es el caso de la carne, las frutas y los vegetales (Hoff, 2011). En este sentido, el crecimiento de la población aunado al cambio en la tasa de consumo están poniendo cada vez más presión sobre los recursos y estiman que para el 2030 la población mundial va a consumir alrededor de 50% más alimentos, 40% más energía y 30% más agua (Hoff, 2011; World Economic Forum, 2011).

Además del aumento de la demanda, también hay un panorama muy sombrío en cuanto al acceso a estos recursos a nivel mundial. Alrededor de 1400 millones de personas no tienen acceso a la electricidad y alrededor de 3000 millones no tienen acceso a tecnologías modernas para cocinar o para la calefacción; 900 millones de personas no tienen acceso al agua potable; más de 900 millones de personas padecen hambre crónica y más de 2000 millones de personas no tienen seguridad alimentaria (Bazilian et al., 2011).

⁴ Algunos autores consideran que el Nexo representan el regreso de los neomalthusianos en el debate sobre la sustentabilidad (Giampietro, 2018).

Asimismo, la urbanización, la globalización, las consecuencias del desarrollo tecnológico y la innovación, la degradación de los ecosistemas, la deforestación, la degradación del suelo y el cambio climático agravan la escasez de recursos (Brears, 2018; Hoff, 2011). De estos factores, la adaptación al cambio climático se considera una necesidad urgente dentro del Nexo (Rasul & Sharma, 2015). El aumento de la temperatura global inducida por el cambio climático acelera la pérdida de la humedad del suelo, reduce las reservas de agua subterránea, aumenta el derretimiento de los glaciares, afecta la biodiversidad y los hábitats de algunas especies, favorece las condiciones para especies exóticas y aumenta el riesgo de propagación de enfermedades y plagas; además el cambio climático también induce fenómenos meteorológicos extremos como las sequías e inundaciones cada vez más frecuentes (Brears, 2018).

Ahora bien, es probable que la escasez de recursos naturales que viene inducida por presiones demográficas y exacerbada por cambios ambientales, agrave la competencia por el uso de los recursos donde normalmente un uso excluye al otro. Por ejemplo, el aumento de la demanda de alimentos implica una mayor demanda de tierra y agua, pero estos recursos pueden estar destinados ya a otros usos como producir biocombustibles o energía hidroeléctrica. Esta competencia por el uso de los recursos se puede trasladar de un país a otro a través del comercio internacional cuando la oferta doméstica no es suficiente, por ejemplo, la demanda de carne en una parte del mundo traslada la presión de tierra y agua a los países donde ésta se produce (European Report on Development, 2012).

En palabras simples, no hay recursos naturales suficientes para todos los usos sociales que las personas desean. Un aumento de la demanda no solo implica una mayor presión sobre el uso de los recursos escasos, sino que exagera la competencia por el uso de los mismos donde normalmente un uso suele excluir al otro y, por ende, las personas tienen que tomar decisiones difíciles sobre la asignación de recursos escasos.

Considerando estos desafíos, el Marco Bonn 2011 en el documento "*Understanding the Nexus*", propone al Nexo como una forma de transición hacia la economía verde. De hecho, se asume que la economía verde es el enfoque del Nexo por excelencia (Hoff, 2011) y a su vez, esta economía es una vía para lograr el desarrollo sustentable (Brears, 2018). Se entiende por economía verde aquella economía que tiene como resultado "(...) la mejora

del bienestar humano y la equidad social al tiempo que se reducen los riesgos ambientales y la escasez ecológica” (United Nations Environment Programme citado en Brears, 2018).

El paradigma de la economía verde se opone al modelo tradicional de crecimiento económico insostenible llevado hasta ahora a costa del medio ambiente. Si bien se reconoce que este crecimiento ha elevado el nivel de vida de las personas también ha resultado en el agotamiento de los recursos naturales y la degradación de los ecosistemas. Dicho esto, el modelo de crecimiento económico debe ser verde, es decir, uno que garantice que los activos naturales sigan proporcionando los recursos para producir y los servicios medioambientales de los que depende la vida de las personas (Brears, 2018). La economía verde considera que el capital natural para producir bienes y servicios no es sustituible por otros factores de producción y su destrucción es irreversible.

En Bonn 2011 se abogan por tres principios para lograr esta economía verde. El primero de ellos es mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. Esto significa que las economías deben usar los recursos limitados para “hacer más con menos” y dentro de las vías para lograrlo está reducir la tasa del uso de recursos por unidad (aumentar la productividad) y reducir los residuos⁵. El segundo, es invertir en los servicios ecosistémicos, en tanto que los ecosistemas reducen la escasez ecológica. El tercero es mejorar la equidad social al integrar a los más pobres, pues el acceso al agua, la energía y los alimentos no solo impacta en la salud de las personas sino que también implica que sean personas más productivas y que contribuyan al desarrollo económico (Hoff, 2011).

Uno de los componentes clave para crear esta economía verde es garantizar la *seguridad* del agua, la energía y los alimentos (Hoff, 2011). La seguridad hídrica, energética y alimentaria tradicionalmente se ha estudiado por separado (Taniguchi et al., 2017), pero desde el punto de vista del Nexo estos tres conceptos están interconectados.

Brears (2018) define la seguridad hídrica como:

“(…) la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua y de calidad aceptable para mantener los medios de

⁵ Algunos autores utilizan el término “desacoplar” (decoupling en inglés) la actividad económica del consumo de recursos y del impacto ambiental para lograr la eficiencia en el uso de los recursos (Brears, 2018).

vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por las aguas, y las catástrofes relacionadas con el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política". En una economía verde solo se puede alcanzar esta seguridad si se gestiona el agua más allá de los límites sectoriales y las fronteras políticas, se desarrollan instrumentos fiscales y financieros para su gestión y se hace un uso eficiente (Brears, 2018).

La Agencia Internacional de Energía (IEA, 2016 citado por Silva De Amorim et al., 2018, p.2) define la seguridad energética como "la disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a un precio asequible". Hay dos aspectos de la seguridad energética que conviene aclarar. En el corto plazo, la seguridad se refiere a la capacidad del sector energético de reaccionar rápidamente a los cambios en la oferta y la demanda. En el largo plazo, la seguridad se refiere a las inversiones necesarias para garantizar energía en consonancia con el desarrollo económico y las necesidades medioambientales sustentables (Silva De Amorim et al., 2018). Al calce de lo anterior, para lograr una economía verde el sector energético debe reemplazar los combustibles fósiles por opciones bajas en carbono y promover las energías renovables (Brears, 2018).

La Cumbre Mundial de la alimentación en 1996 (World Food Summit citado por Silva De Amorim et al., 2018, p. 2) define la seguridad alimentaria como "(...) cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficientes alimentos, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para vivir una vida activa y saludable". En consonancia con lo anterior, en una economía verde el sector alimentario debe reconstruir los recursos ecológicos como el suelo, el agua, el aire y la biodiversidad; debe reducir sus externalidades negativas y mantener o aumentar la productividad y la rentabilidad (Brears, 2018).

Aunque estas definiciones sobre la seguridad de los elementos del Nexo son diferentes, las tres implican al menos tres cosas: *disponibilidad*, es decir, que seamos capaces de producir o importar suficiente agua, energía y alimentos; *acceso*, que se refiere a que todas las personas tengan los medios para acceder a estos recursos y la *utilización* que no es otra cosa que sean recursos en cantidad y calidad suficientes.

En síntesis, el Nexo integra una triada de conceptos: escasez, seguridad y desarrollo sustentable. Dentro del discurso del Nexo el agua, la energía y los alimentos son los recursos más importantes para satisfacer las necesidades del ser humano y las presiones demográficas, económicas y ecológicas pueden resultar en una escasez que ponga en riesgo la seguridad hídrica, energética y alimentaria de las personas. El Nexo se presenta entonces como un enfoque para mejorar la seguridad del agua, la energía y los alimentos y, en última instancia, como una vía para alcanzar el desarrollo sustentable (Hoff, 2011).

1.3 La definición del Nexo

La palabra Nexo viene del latín *nectere* que significa “conectar”, “vincular” o “juntar” y expresa la interacción, dependencia o interdependencia entre dos o más cosas (De Laurentiis et al., 2016; Giampietro, 2018). De acuerdo con su sentido etimológico, el Nexo es un enfoque de investigación científica⁶ para analizar las interdependencias entre el agua, la energía y los alimentos, así como las sinergias y compensaciones que surgen al momento de su gestión (Albrecht et al., 2018; Hoff, 2011; Liu et al., 2017; Simpson & Jewitt, 2019).

Las interdependencias entre agua, energía y alimentos son diversas y dependiendo de la perspectiva del sector que se adopte se pueden ver como un insumo para producir o como un resultado (Bazilian et al., 2011). Por ejemplo, el agua es necesaria para producir casi todas las formas de energía, aunque hay algunas que son mucho más intensivas que otras. Mientras que para producir 1 GJ de gas se requieren de 1 a 10 litros de agua, para producir 1 GJ de energía a partir de biocombustibles se requieren entre 10,000 y 100,000 litros de agua (Hoff, 2011). Por otro lado, la energía se requiere para tratar, mover y distribuir el agua. En particular, la desalinización de agua es una actividad muy intensiva en energía, donde para desalinizar 1 metro cúbico de agua de mar se requiere de entre 2.6 a 4.6 Kwh de energía (Hoff, 2011).

Desde la perspectiva de los alimentos, el agua y la energía se consideran como insumos. La producción de alimentos consume entre el 80 y 90 por ciento del uso consuntivo de agua

⁶ El Nexo como un enfoque científico es solo uno de los entendimientos del Nexo que se pueden encontrar en la literatura, pero existen otros. Por ejemplo, el Nexo se entiende como un concepto límite que facilita la discusión entre la academia y la política; el Nexo como un problema de gobernanza; el Nexo como un discurso o el Nexo como un marco conceptual (Albrecht et al., 2018; Giampietro, 2018; Wiegler & Bruns, 2018). Si algo caracteriza a la definición de Nexo es su imprecisión conceptual (David Benson et al., 2015; Simpson & Jewitt, 2019).

azul y el 30 por ciento de la energía global (Hoff, 2011). En términos generales, se estima que para producir una caloría de alimento se requiere 1 litro de agua y 1 kilocaloría de energía (Hoff, 2011; World Economic Forum, 2011), aunque las productividades pueden variar por región del mundo y por grupos de alimentos. Por otro lado, la producción de alimentos tiene impactos negativos sobre la calidad del agua por la escorrentía que tiene fertilizantes, pesticidas y sedimentos (Brears, 2018).

Desde la perspectiva de la energía, los alimentos se pueden ver como un insumo para la producción de biocombustibles. Se pueden utilizar varios tipos de cultivos para este fin como la caña de azúcar, el maíz, el betabel, la canola o la soya. De estos cultivos, la soya es el más intensivo en agua pues se requieren aproximadamente 10,000 litros por cada litro de biocombustible (Hoff, 2011). Actualmente, solo el 10 por ciento de la demanda de energía global se puede satisfacer con biocombustibles y, dependiendo del tipo de cultivo que se utilice, puede crear una competencia con la tierra que se destina a producir alimentos para el consumo humano (Hoff, 2011). En este sentido, se aboga por la energía hidroeléctrica como una opción libre de carbono y que actualmente provee el 86 por ciento de la energía global renovable (Hoff, 2011).

Por otra parte, una de las grandes fortalezas del Nexo es minimizar las compensaciones (resultados no óptimos) entre sectores (Albrecht et al., 2018; Proctor et al., 2021). Las compensaciones surgen de las limitaciones de recursos y de los diferentes objetivos, intereses y necesidades de las personas frente a esos recursos escasos. Por ejemplo, en el caso anterior de los biocombustibles donde aumentar la producción a través de los cultivos mencionados puede crear competencia con la tierra. Otro ejemplo, al aumentar la demanda de alimentos aumenta la cantidad de agua para el riego, lo que a su vez, reduce el agua disponible para otros usos, como la producción de energía eléctrica (Brears, 2018).

Por esta razón, el Nexo aboga por mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y generar resultados mutuamente beneficiosos o sinergias (Albrecht et al., 2018). Por ejemplo, los cultivos resistentes a las sequías aumentan los rendimientos de los cultivos en zonas áridas y reducen la demanda de agua (Proctor et al., 2021). Se considera que el aumento de la eficiencia en el uso del agua, la energía y los alimentos puede ayudar a reducir las presiones sobre el Nexo (Brears, 2018).

Para resumir, el Nexo es un enfoque de investigación que reconoce la interdependencia entre el agua, la energía y los alimentos, donde normalmente las acciones de un sector tienen implicaciones negativas para los otros. Es por ello que el Nexo tiene como propósito reducir las compensaciones o resultados no óptimos entre sectores, aumentar las sinergias o resultados mutuamente beneficiosos a través de la mejora en la eficiencia en el uso de los recursos.

Ahora bien, se observa que parte de la literatura incluye otros elementos además del agua, la energía y los alimentos como parte sustantiva del Nexo. De hecho, hay varios conceptos, marcos y metodologías que difieren en alcance, objetivos y comprensión de los factores interdependientes y causales (Smajgl et al., 2016). En un sentido amplio, un problema Nexo no es definido necesariamente como aquel que involucra solo el agua, la energía y los alimentos (Tolba et al., 2018).

European Report on Development (2012); Hoff et al. (2013) y Ringler et al. (2013), presentan una visión del Nexo donde se incluye la tierra y el suelo (*water-energy-food-land nexus* o *water-energy-land nexus*). La tierra es un elemento indispensable para la producción de alimentos que se encuentra en una situación comprometida. Las cifras indican que el 24% de toda la tierra del planeta está degradada por prácticas agrícolas insustentables (Hoff et al., 2013). Este marco del Nexo mucho más amplio considera la tierra no solo como un recurso indispensable para la producción de alimentos, sino también para producir biocombustibles y gas equisto, así como para tener un mejor suministro de agua a través de los reservorios y almacenamiento de agua subterránea (Ringler et al., 2013).

Otro de los elementos que se añaden es el cambio climático (*water-energy-food-climate nexus*) (World Economic Forum, 2011). Los eventos meteorológicos extremos inducidos por el cambio climático, como las sequías y las inundaciones, van a afectar la disponibilidad y el acceso a los recursos hídricos, energéticos y alimentarios. Aunque no hay una predicción certera, se estima que el cambio climático desaparecerá el glaciar del Himalaya (conocido como el "tercer polo"), disminuirá los rendimientos de los cultivos lo que a su vez provocará pérdidas en la agricultura, desempleo y decrecimiento económico (World Economic Forum, 2011).

Fasel et al. (2016) y Karabulut et al. (2016) incluyen al ecosistema dentro de las interacciones del Nexo (*ecosystem-water-energy-food nexus*). Estos autores sostienen que el ecosistema está en el centro del Nexo y es indispensable para la producción de agua, energía y alimentos. A los servicios que los seres humanos obtienen del ecosistema se les llama servicios ecosistémicos, dentro de los cuales los más estudiados son el servicio de regulación del clima y el suministro y regulación del agua. Dentro de este análisis integrado, los autores abogan por evaluar el agua disponible en el ecosistema a través de indicadores ecológicos para los diferentes usos en las ciudades, la industria, la energía, el riego y la ganadería.

Asimismo, al Nexo también se le ha llamado por otros nombres. Font Vivanco et al. (2019) discuten el Nexo de Recursos (*the resource nexus*) que a grandes rasgos se puede entender como los vínculos entre dos o más recursos como consecuencia de la actividad económica. Por ejemplo, los sistemas de agricultura tradicionales requieren de tierra fértil, nutrientes y agua para producir alimentos. Otros autores también llaman al Nexo como "*stress nexus*" (Cairns & Krzywoszynska, 2016; Proctor et al., 2021). Este concepto de stress nexus surgió de los círculos de gobernanza tecno-gerencial en respuesta a los conflictos entre sectores a principios del 2000 (Williams et al., 2018). A falta de una definición común, algunos autores abogan por llamarlo pensamiento Nexo (*Nexus thinking*) (Simpson & Jewitt, 2019).

1.4 Las críticas del Nexo

Varios autores han puesto en tela de juicio la originalidad del Nexo. Pandey & Shrestha (2017); Scott et al. (2015); Wichelns (2017) concluyen que la idea de la interdependencia entre recursos naturales ya era bien conocida mucho antes del 2011, incluso en las conferencias mundiales de 1950 ya se discutían los problemas relacionados en el agua, la energía hidroeléctrica y los desafíos para proveer de alimentos a una población que crece cada vez más. Se ha llegado a considerar que el Nexo solo es un subconjunto de las acciones descritas por el Plan de Acción de la Conferencia de la ONU en Mar de Plata, Argentina en 1977 (Wichelns, 2017). Con esta evidencia, se afirma que el Nexo solo es un resurgimiento de un debate ya existente solo que reforzado por un conjunto de empresas multinacionales poderosas quienes consideran la escasez de agua como un riesgo para su negocio y para la estabilidad política de los países en los que operan (Allouche et al., 2015; Leese & Meisch, 2015).

Giampietro (2018) sostiene que el problema de la escasez de recursos naturales del Nexo no es un problema nuevo y tiene una larga historia dentro de la economía. El Nexo solo retomó este debate incómodo de la sustentabilidad y los límites del crecimiento de la década de 1980. Leese & Meisch (2015) argumentan que lo novedoso del discurso de la escasez en el enfoque del Nexo es que se considera una amenaza para la seguridad y atenta contra la supervivencia de los seres humanos una vez que se alcanzan los límites planetarios. Sin embargo, aun cuando se considera la escasez como una amenaza para la vida, los instrumentos para dar una solución a esta cuestión de la sustentabilidad se siguen tratando solo desde la economía. Se aboga por una economía "verde" que se anuncia como una cuestión ecológica necesaria para sobrevivir al cruce de los límites planetarios pero que en su interior no hace más que mantener la marcha de la máquina de la productividad.

Allouche et al. (2015) encuentran que la visión de la economía es una visión limitada. Por ejemplo, la optimización tiene sus límites pues solo considera las compensaciones entre agua, energía y alimentos dentro de un modelo de equilibrio perfecto en el que se puede decidir cuál es la mejor asignación de recursos sin considerar aspectos fundamentales como las externalidades, el cambio climático o la pobreza. Además, el Nexo ignora las cuestiones de economía política como la distribución del poder, el acceso a los recursos y las partes interesadas. Desde esta perspectiva se cuestiona la utilidad de los modelos de optimización para resolver los conflictos por el uso de los recursos (Weitz et al., 2017).

Hay que mencionar, además que en este discurso de la escasez se ha eliminado las desigualdades de acceso como la raíz de los conflictos por los recursos. Allouche et al. (2015) afirman que el Nexo solo se ha centrado en la disponibilidad de los recursos y ha ignorado el acceso como una parte importante para alcanzar la seguridad. Sostienen que las medidas de políticas como aumentar la eficiencia en el uso de los recursos a través de la disminución del desperdicio, sistemas de microriego, cultivos modificados, entre otras, se basan en el simplismo de que una mayor disponibilidad de recursos disminuirá el hambre en el mundo o aumentará el acceso al agua, cuando el problema de la seguridad no es si los recursos están disponibles sino si las personas tienen los recursos monetarios y no monetarios para acceder a ellos.

Asimismo, Wichelns (2017) argumentan que el Nexo es una descripción muy convincente de las interacciones entre agua, energía y alimentos, pero desde la posición de la agricultura no está claro que el Nexo sea suficiente para describir todas las interacciones importantes. Para producir alimentos, el agua y la energía son los recursos más importantes, pero también hay otros recursos necesarios que no están siendo considerados, tales como la tierra, la mano de obra, el capital, las semillas, los nutrientes de las plantas y los productos químicos. Este autor termina cuestionando si un enfoque que omite tantas variables realmente pueda mejorar el entendimiento de la interacción entre recursos para mejorar la seguridad alimentaria y los medios de vida.

Otro aspecto relacionado con su originalidad es su parecido como otros enfoques. Allouche et al. (2015) califican al Nexo como "el nuevo chico de la cuadra" en el discurso del desarrollo, pero sugieren que en el fondo puede ser una mera repetición del debate de 1990 con el nacimiento de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). En una comparación que llevó a cabo Benson et al. (2015) de la GIRH y el Nexo determinaron que ambos enfoques tienen muchas similitudes e incluso comparten el mismo objetivo, es decir, promover el uso sustentable de los recursos naturales, pero difieren en ciertos aspectos.

Benson et al. (2015) señalan las siguientes similitudes. Ambos apuntan a la integración y coordinación de las políticas públicas para alcanzar la sustentabilidad, ambos dan orientación acerca de la gobernanza óptima, ambos consideran la participación de las partes interesadas entre las que se incluye la sociedad civil y las empresas, ambos se refieren al uso eficiente de los recursos y ambos promueven el desarrollo sustentable de los recursos hídricos. Pero tienen varias diferencias. Mientras que el Nexo es un enfoque multicéntrico, la GIRH parte desde la perspectiva de la gestión del agua. El Nexo estudia las interacciones entre sectores a diferentes escalas (rio, cuenca, país, región y hogar), la GIRH solo lo hace desde la escala de cuenca. El Nexo habla de la eficiencia desde la racionalidad económica con una fuerte base empresarial, la GIRH promueve la eficiencia mediante un proceso similar a la optimización. Finalmente, mientras el Nexo promueve la seguridad de los recursos, la GIRH promueve la gestión de la demanda.

Considerando estas diferencias, el Nexo no se podría considerar una repetición de la GIRH, pero tampoco se podría considerar como una alternativa. El concepto de seguridad de

recursos aún permanece bastante confuso y aún no constituye un nuevo modelo de gobernanza que ofrezca alternativas a los gobiernos. Aunque el Nexo es un enfoque normativamente deseable aún se considera un enfoque inmaduro que solamente ha sido promovido por intereses corporativos y en menor medida académicos (Benson et al., 2015).

2 Antecedentes

2.1 Las revisiones de literatura del Nexo

Uno de los primeros pasos antes de embarcarse en una revisión de literatura es confirmar si hay necesidad de hacer una nueva y esto implica dos cosas: determinar qué se ha hecho y necesita ser actualizado o qué no se ha hecho y requiere de una nueva investigación. Es por esta razón que antes de comenzar el proceso de esta revisión se identificaron las investigaciones previas que han hecho una revisión de la literatura del Nexo.

En primer lugar, se ingresaron en Google Académico los siguientes términos: "water-energy-food nexus" AND "bibliometric" OR "systematic" OR "review" OR "overview" OR "meta analysis". En segundo lugar, se ingresaron las palabras "literatura review" en el sitio web de la Plataforma Nexo. De esta búsqueda se identificaron 20 revisiones de literatura que se detallan en el Cuadro 2.1. Estas investigaciones se han producido durante los últimos seis años, es decir, desde el 2017 hasta la fecha y han producido avances importantes para entender cómo se ha desarrollado la investigación académica del Nexo.

Hay varios hallazgos similares a los que han llegado estas revisiones. Por ejemplo, el Nexo se ha convertido en un área de investigación que está recibiendo una gran atención de expertos y académicos. Las publicaciones han crecido rápidamente desde el 2015 dominados por las ciencias ambientales. Con respecto al número de publicaciones, se ha encontrado que Estados Unidos es el país más productivo en el mundo sobre el tema. Algunas revisiones han encontrado que Reino Unido y Alemania son el segundo y tercer país más productivo (Chen et al., 2019; Itayi et al., 2021; Sarkodie & Owusu, 2020, Proctor et al., 2021) otras sitúan a China y Reino Unido (Fan et al., 2021). Aunque los estudios de caso del Nexo se presentan principalmente en regiones de África y Asia (Tolba et al., 2018; Wiegleb & Bruns, 2018). La revisión más reciente concluye que el 70% de las investigaciones del Nexo son hechas por científicos cuyas afiliaciones corresponden a países desarrollados, mientras que solo el 30% por investigadores afiliados a países en desarrollo (Itayi et al., 2021).

Por otra parte, otro de los descubrimientos de estas revisiones es el poco acuerdo entre la comunidad científica sobre el significado del Nexo. Simpson & Jewitt (2019) encuentran que los hidrólogos e ingenieros del agua hablan de water-energy-food, mientras que la fraternidad agrícola utiliza el término food-energy-water, pero el sector energético utiliza energy-water-food. Para estos autores, esta variación de la terminología refleja de la perspectiva del investigador o del responsable de las políticas. Asimismo, el concepto puede significar cosas diferentes para diferentes personas. El Nexo puede ser un concepto muy estrecho que solo considera estos tres elementos y no incluye el cambio climático ni el medio ambiente, aunque también puede ser un concepto mucho más amplio vinculado a la economía verde, la reducción de la pobreza y la seguridad global de los recursos (Simpson & Jewitt, 2019).

Zhang et al. (2018) llegaron a la conclusión de que se puede hablar dos categorías de definiciones del Nexo. La primera, que es el enfoque prevalente, es que el Nexo es un enfoque de análisis para cuantificar los vínculos entre agua, energía y alimentos. La segunda, que se trata de determinar las interacciones entre recursos dentro del sistema del Nexo. En una revisión más reciente Torres et al. (2019) mostraron que el Nexo no es un enfoque de análisis sino que es una herramienta de gestión multisectorial para evaluar sistemas interdependientes. Concluyen que hay varios temas que han impulsado su formación dentro de los cuales los más importantes son: desarrollo sustentable, seguridad, eficiencia, resiliencia, gobernanza y economía verde. Conviene resaltar que, en las revisiones más actuales, los autores encontraron que el Nexo se ha movido del tema de la seguridad de los recursos hacia la interdependencia y la integración (Fan et al., 2021).

Ahora bien, aunque el Nexo se concibió como un enfoque multicéntrico donde todos los sectores tienen la misma importancia, en la práctica las investigaciones han mostrado preferencia por un sector. Endo et al. (2017) y Endo et al. (2020) encontraron que se le ha dado una mayor importancia a la relación agua y energía. Albrecht et al. (2018) sostuvieron que el 55% de los trabajos que ellos evaluaron mostraron preferencia por el sector del agua, el 8% por la energía y el 7% los alimentos. Solo el 19% de los trabajos consideraron los dos o los tres sectores en conjunto. Urbinatti et al. (2020) descubrieron un resultado muy similar, el tema principal dentro de la investigación Nexo es el agua y calificaron al Nexo como "agua centrismo" concluyendo que el predominio del agua socava la intención original

de ser un enfoque multicéntrico. Parece que la preocupación por el tema del agua no ha cambiado, Fan et al. (2021) encontraron que 9 de las 20 palabras clave más utilizadas son relacionadas con el agua. A partir de este análisis, sugieren que el análisis del Nexo no es suficientemente integrador ni intersectorial.

Otro aspecto que conviene resaltar es que en la práctica no se puede hablar de una sola investigación Nexo agua-energía-alimentos. Hay muchas variantes. Endo et al. (2017) clasificaron cuatro tipos de investigación Nexus: water-food, water-energy, water-energy-food y climate nexus. Zhang et al. (2018) hallaron una mayor diversificación de la investigación: investigaciones de dos sectores (water-irrigation, energy-water, food-energy y water-land); estudios de tres sectores (water-energy-food, energy-food-water, water-energy-climate, land use-climate change-energy y environment-water-climate) e investigaciones de cuatro sectores (water-food-energy-climate y climate-land-energy-water). Torres et al. (2019) descubrieron 23 tipos de investigación Nexo donde solamente el 66% de la investigación se puede considerar water-energy-food nexus. A diferencia de las revisiones anteriores, esta revisión encontró elementos del Nexo que no aparecen en las anteriores, en concreto: water-energy-food-health, food-energy-water-waste y water-food-nutrition-health.

Esta variación en la investigación se puede explicar por los diferentes marcos conceptuales existentes del Nexo. Si bien el Nexo se propuso como un enfoque que resalta las interconexiones entre el agua, la energía y los alimentos, en la literatura se han postulado las interconexiones con otras variables como el cambio climático, la población o los ecosistemas. Purwanto et al. (2021) señalan que, aunque los marcos de la Conferencia de Bonn en el 2011 y del Informe Global Risk del Foro Económico Mundial en ese mismo año son los que dieron vida al enfoque del Nexo hay al menos otros diez marcos conceptuales que han desarrollado modificaciones al marco Nexo original. Dentro de estas modificaciones han añadido variables como tierra, ecosistemas, seguridad, minerales y cambio climático, señalando la necesidad de considerar factores externos para la gestión integrada del Nexo. La principal diferencia entre estos marcos tiene que ver con cuál es la preocupación principal de cada organización que lo propone, por ejemplo, en algunos casos pueden ser los recursos hídricos, los alimentos o las partes interesadas, pero también se diferencian en la escala de aplicación y en las variables externas que consideran se deben añadir al Nexo.

Otra razón por la que se pueden explicar estas diferencias es por la diversidad de perspectivas de los investigadores para estudiar y aplicar el concepto del Nexo. Proctor et al. (2021) identificaron cinco perspectivas contemporáneas clave que han guiado las investigaciones: la perspectiva de los ecosistemas, la perspectiva de la gestión de residuos, la perspectiva del cambio institucional, la perspectiva de la confianza de las partes interesadas y la perspectiva del proceso de aprendizaje. A partir de su análisis, los autores concluyen que la investigación del Nexo ha estado dominada por la perspectiva del cambio institucional que se centra en estudiar la forma en que las políticas pueden impactar al Nexo. Estas investigaciones tienen un carácter pronóstico en donde hay análisis cuantitativo o cualitativo ya sea para sugerir una política o para comprender las implicaciones de una política dentro del Nexo. A su vez, la segunda perspectiva que más ha influenciado los trabajos es la perspectiva de los ecosistemas en la que se utiliza el Nexo como un marco para comprender los impactos ambientales del ser humano y establecer restricciones razonables para el uso de los recursos. En este sentido, se considera que si una acción causa daño al medio ambiente por encima de un umbral establecido debe retirarse, aunque aumente la producción de los elementos del Nexo.

Uno de los hallazgos más relevantes de estas revisiones es la existencia de múltiples preguntas de investigación, métodos y conclusiones. Ante esta diversidad de objetivos y métodos de análisis, autores como Galaitsi et al. (2018) argumentan que es muy difícil hacer cualquier tipo de generalización útil aplicable en general o producir ideas transversales para investigaciones futuras. Las revisiones que se han hecho en este aspecto han tenido que hacer un gran trabajo para identificar las preguntas y métodos de investigación y tratar de clasificarlos.

En particular, Zhang et al. (2018) catalogaron las preguntas de investigación en tres categorías: análisis de relaciones internas, análisis de impacto externo y análisis del sistema acoplado. Las preguntas que se refieren a análisis de relaciones internas son las más simples y se utilizan para capturar las relaciones entre diferentes sectores. Pueden ser un impacto unidireccional, como cuál es el impacto del cambio de uso de la tierra por producir biocombustibles en la calidad del agua. También pueden ser de impacto interactivo, como comprender el impacto de los alimentos y la energía en el sector hídrico a nivel de cuenca al tiempo que se conoce el impacto del suministro de agua sobre los alimentos.

La segunda categoría, el análisis de impacto externo, se refieren a aquellas preguntas que contemplan los factores físicos y sociales que modifican la dinámica del sistema. Por ejemplo, cómo el cambio climático, las sequías y las inundaciones impactan negativamente en la producción agrícola. Dentro de los factores sociales están los hábitos alimenticios, las políticas y la tecnología. Un ejemplo es cómo las políticas agrícolas destinadas a mejorar la autosuficiencia alimentaria pueden conducir a una disminución notable de las aguas subterráneas. Finalmente, las preguntas que entran en la categoría de análisis del sistema acoplado son las más difíciles de responder porque buscan evaluar la sustentabilidad o la resiliencia del sistema y donde los ejemplos son casi inexistentes.

Así como hay diversidad de preguntas de investigación también hay una pluralidad de métodos y modelos para evaluar las interacciones entre el agua, la energía y los alimentos. Albrecht et al. (2018) encontraron que los enfoques analíticos para evaluar el nexo proceden de diversas disciplinas. El 60% de los estudios analizados utilizaron métodos derivados de la gestión medioambiental, el 45% herramientas económicas y el 26% métodos derivados de las ciencias sociales. Desafortunadamente, la mayoría de estos métodos fueron tomados prestados de otras disciplinas y no están diseñados para evaluar las interacciones en el Nexo, por lo que muchos investigadores han optado por utilizar una combinación de métodos.

Zhang et al. (2018) descubrieron que hay ocho métodos clave para: modelos económicos, análisis econométrico, análisis de redes ecológicas, modelo de agentes, índices integrados, análisis de ciclo de vida, modelos de dinámica de sistemas y modelos matemáticos y estadísticos. La revisión de Torres et al. (2019) encontraron una conclusión muy similar a las revisiones anteriores al observar que la mayor parte de las investigaciones utilizan métodos cuantitativos, especialmente análisis de ciclo de vida, indicadores e índices y análisis insumo-producto. Dentro de las investigaciones que utilizan una combinación de enfoques destacan el uso de indicadores o modelos con combinación con algún método cualitativo.

Proctor et al. (2021) identificaron dos categorías de métodos claves. Por un lado, el análisis de ciclo de vida e indicadores ecológicos. Por otro lado, el modelado matemático dentro de los cuales los más utilizados son el análisis insumo-producto, los modelos de

agroecosistemas, los modelos de suelo e hidrología y el modelado de agentes. En una revisión más reciente, Itayi et al. (2021) llegaron a una conclusión muy semejante al destacar que el 50% de los trabajos revisados utilizaron métodos cuantitativos dentro de los que se destaca la técnica de modelado, el análisis de ciclo de vida y el análisis insumo-producto; el 37% utilizó métodos cualitativos como el análisis de documentos y el análisis de contenido y solo el 5% utilizó métodos mixtos. A pesar de que los métodos mixtos son los menos populares dentro de la investigación, Endo et al. (2020) concluyen que la mejor forma de llevar a cabo la investigación Nexo es combinando métodos cuantitativos y cualitativos.

Una de las dificultades principales que se reportan en la literatura para la aplicación del enfoque del Nexo es la disponibilidad de datos. Zhang et al. (2018) sostienen que hay escasez de datos para llevar a cabo la investigación y que los datos publicados por organizaciones y gobiernos varían en disponibilidad y calidad. Kaddoura & El Khatib (2017) llegan a una conclusión similar al afirmar que hay herramientas muy completas para evaluar las sinergias y compensaciones dentro del Nexo como el marco CLEW (Climate, Land use, Energy and Water) pero requiere de grandes entradas de datos que en los países en desarrollo pueden no estar disponibles. Tolba et al. (2018) argumentan que la disponibilidad de datos es una barrera importante para la implementación del Nexo. Purwanto et al. (2021) mencionan que es necesaria la creación de una base de datos del Nexo completa y de acceso abierto pues debido a la escasez de datos muchos investigadores han tenido que usar métodos indirectos para realizar el análisis. Fan et al. (2021) concluyen que la disponibilidad de datos es uno de los retos para analizar el Nexo.

Otro de los desafíos a los que se enfrenta la aplicación del enfoque del Nexo es la falta de claridad para discernir qué es un problema Nexo y qué metodología es necesario seguir para abordarlo. Weitz et al. (2017) argumentan que debido a la imprecisión conceptual del Nexo es muy difícil establecer límites para el análisis para poder determinar qué cuestiones se deben considerar como problemas Nexo y qué procesos son relevantes para su investigación. Ahora bien, autores como Galaitsi et al. (2018) concluyen que no hay una metodología clara para llevar a cabo la investigación en tanto que el concepto no proporciona a los investigadores un conjunto significativo de supuestos y de definiciones iniciales y los límites del sistema y los objetivos varían entre casos de estudio. En cuanto a

los métodos, los autores argumentan que son tan dispares entre sí que no es posible hacer una caja de herramientas aplicable en general. Endo et al. (2020) argumentan que, aunque se pueden considerar una serie de etapas para llevar a cabo la investigación Nexo que van desde la definición de la pregunta de investigación hasta la identificación de los usuarios finales, es un desafío generalizar estas etapas a todos los estudios y a todas las escalas geográficas. Señalan que frecuentemente es necesario adaptar esta metodología para poder replicar las investigaciones o desarrollar una nueva.

Uno de los aspectos críticos que han encontrado estas revisiones es la falta de evidencia de que las investigaciones Nexo contribuyan a mejorar la gestión de los recursos y han puesto en entredicho la promesa inicial del Nexo como un enfoque para mejorar la gobernanza de los recursos naturales. Por ejemplo, Weitz et al. (2017) señalan que el principal problema de gobernanza en el Nexo es que considera necesaria la coherencia de políticas entre los sectores de agua, energía y alimentos pero no profundiza en cómo se podría producir. Concluyen que la literatura se ha enfocado en el análisis técnico de la optimización de los recursos y se ha desconectado del contexto político donde suceden los problemas. No se ha considerado en qué condiciones puede ocurrir la colaboración entre sectores o qué factores políticos y cognitivos determinan el cambio, como es el caso de los diferentes significados de la palabra “optimización” de recursos para la comunidad académica o las negociaciones entre las partes interesadas.

Galaiti et al. (2018) muestran que solo una mínima parte de los estudios que revisaron proporcionaron apoyo directo a la toma de decisiones y concluyen que aún no está documentado que las aplicaciones del Nexo mejoren la gobernanza de los recursos. Tolba et al. (2018) muestran que el Nexo no se ha implementado ampliamente sobre el terreno a pesar de la gran aceptación de los sectores académico, político y privado. Los autores identifican la organización del gobierno de forma vertical y en departamentos y las políticas sectoriales como algunas de las barreras centrales para pasar de la teoría a la práctica del Nexo. En una revisión más reciente Urbinatti et al. (2020) llegan a una conclusión muy similar al encontrar que hay un tratamiento muy superficial del tema de la gobernanza en la literatura del Nexo y señalan la falta de una definición más precisa del concepto, así como enfoques que capturen la participación de las partes interesadas.

Cuadro 2.1 Revisiones de literatura sobre el Nexa agua-energía-alimentos

Referencia	Título	Objetivo	Tipo de revisión	País
Itayi et al. (2021)	Understanding the conceptual frameworks and methods of the food–energy–water nexus at the household level for development-oriented policy support: a systematic review	Comprender las tendencias actuales en el Nexa para el apoyo de políticas orientadas al desarrollo	Sistemática	Zimbabwe
Fan et al. (2021)	A bibliometric analysis of the water-energy-food nexus based on the SCIE and SSCI database of the Web of Science	Proveer una revisión de la literatura del Nexa	Bibliométrica	China
Proctor et al. (2021)	Gateway to the perspectives of the Food-Energy-Water nexus	Hacer una revisión para comprender las perspectivas clave que han influenciado el Nexa y catalogar sus principales herramientas	Sistemática	Estados Unidos
Purwanto et al. (2021)	Water-Energy-Food Nexus: Critical Review, Practical Applications, and Prospects for Future Research	Revisar los marcos del Nexa existentes, las críticas clave e identificar las brechas de investigación	X	Países Bajos
Sarkodie & Owusu (2020)	Bibliometric analysis of water–energy–food nexus: Sustainability assessment of renewable energy	Proporcionar una evaluación crítica de la literatura existente del nexa	Bibliométrica	Noruega
Opejin et al. (2020)	A bibliometric analysis of food-energy-water nexus literature	Evaluar la trayectoria de las publicaciones Nexa, identificar temas y preguntas clave e identificar desafíos	Bibliométrica	Estados Unidos
Urbinnati et al (2020)	The conceptual basis of water-energy-food nexus governance: systematic literature review using network and discourse analysis	Investigar las bases conceptuales sobre la gobernanza en el Nexa para aclarar los temas centrales, redes y brechas	Sistemática	Brasil
Endo et al. (2020)	Dynamics of water–energy–food nexus methodology, methods, and tools	Identificar el estado del arte la metodología, métodos y herramientas existentes dentro del nexa y subnexa	X	Estados Unidos
Simpson & Jewitt (2019)	The development of the water-energy-food nexus as a framework for achieving resource security: A review	Comprender el término Nexa, sus críticas y beneficios en gobernanza y políticas	X	Sudáfrica
Torres et al. (2019)	A literature review to propose a systematic procedure to develop "nexus thinking" considering the water-energy-food nexus	Revisar la literatura del Nexa considerando: concepto, enfoque, escala geográfica, elementos del sistema, contexto de aplicación y métodos	Sistemática	Brasil

Referencia	Título	Objetivo	Tipo de revisión	País
Chen et al. (2019)	Recent progress on the water-energy-food nexus using bibliometric analysis	Ofrecer una visión general de la investigación Nexo	Bibliométrica	China
Albrecht et al. (2018)	The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment	Revisar los métodos del nexa para proporcionar una base de conocimientos de los enfoques existentes y promover un mayor desarrollo de métodos analíticos que se ajusten al pensamiento nexa	Sistemática	Estados Unidos
Shannak et al. (2018)	Moving from theory to practice in the water-energy-food nexus: An evaluation of existing models and frameworks	Comprender qué se sabe del nexa e identificar las oportunidades y desafíos que enfrenta el diseño y modelado	X	Estados Unidos
Galaitis et al. (2018)	Where is the added value? A review of the water-energy-food nexus literature	Revisar si los estudios de caso pueden ofrecer una caja de herramientas para estudios futuros y examinar en qué medidas las aplicaciones han mejorado del outcomes del Nexa	X	Estados Unidos
Wiegleb & Bruns (2018)	What Is Driving the Water-Energy-Food Nexus? Discourses, Knowledge, and Politics of an Emerging Resource Governance Concept	Identificar los discursos dominantes o marginados en el Nexa, así como los conocimientos y las relaciones de poder en juego	X	Alemania
Tolba et al. (2018)	The water-energy-food security nexus: a review of Nexus literature and ongoing Nexus initiatives for policy makers	Resumir las aplicaciones regionales del Nexa y proporcionar una visión general sobre cómo puede aplicarse eficazmente	X	Alemania
Zhang et al. (2018)	Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies	Proveer una revisión crítica del Nexa desde tres aspectos: concepto, preguntas de investigación y metodologías y direcciones y retos para la investigación futura	X	China
Kaddoura & El Khatib (2017)	Review of water-energy-food Nexus tools to improve the nexus modelling approach for integrated policy making	Revisar las herramientas de modelado Nexa para la formulación de políticas integradas	X	Emiratos
Weitz et al. (2017)	Governance in the water-energy-food nexus: gaps and future research needs	Explorar cómo la literatura del Nexa aborda la gobernanza e identificar las lagunas de conocimiento que deben ser llenadas por futuras investigaciones	X	
Endo et al. (2017)	A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus	Comprender el estado actual de la investigación Nexa, al analizar las regiones de estudio, palabras clave y partes interesadas	X	

Recapitulando, existen múltiples revisiones que se han realizado durante los últimos seis años que han aportado mucha claridad a la forma en cómo se realiza la investigación académica del Nexo. En general, se observa que las publicaciones han aumentado a partir del 2015 provenientes de Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y China. Pero parece que los estudios de caso se realizan principalmente en África, Asia y América Latina. Hay múltiples perspectivas que han influenciado a la investigación y hay una imprecisión conceptual. Asimismo, no se puede hablar de sola una investigación Nexo agua-energía-alimentos, sino que hay una serie de variantes y que las investigaciones han mostrado preferencia por el sector del agua socavando la intención original de ser un enfoque multicéntrico. Además, los revisores señalan que no existe una metodología clara de investigación y que existen muchas barreras para acceder a los datos. Asimismo, que no existe evidencia de que el Nexo haya contribuido a la gestión sustentable de los recursos naturales.

Además, las revisiones anteriores han puesto una gran atención en la parte metodológica de los estudios de caso y han encontrado resultados similares en cuanto a los métodos que utilizan los investigadores para capturar las interacciones entre el agua, la energía y los alimentos. Parece ser que aún entre la diversidad de estudios que proceden de diversas disciplinas hay un uso común de métodos para llevar a cabo la investigación Nexo. En general, hay un menosprecio por los métodos cualitativos para comprender las interacciones del Nexo y un mayor aprecio por los métodos cuantitativos. Conviene subrayar que se privilegia el uso de unos cuantos métodos entre los que se destaca el análisis de ciclo de vida, indicadores ecológicos, análisis insumo-producto, modelos de agroecosistemas, modelos de suelo e hidrología y el modelado de agentes. Parece que hay un patrón en el uso de estos métodos en la investigación del Nexo.

2.2 Preguntas de investigación

Existen hallazgos comunes en las revisiones de literatura sobre la investigación del Nexo, tal como se mostró previamente. Sin embargo, prevalecen algunas diferencias acerca de cómo y dónde se realiza la investigación. Asimismo, hasta ahora ninguna revisión se ha adentrado a explorar de qué se habla cuando se habla de agua, energía y alimentos. Ni tampoco si en la diversidad de estudios de caso del Nexo existe un patrón común de variables con las cuales los investigadores están cuantificando las interdependencias entre agua, energía y alimentos. Por variable se entiende una característica de una población o una muestra que es susceptible de medir, contar o categorizar. En este sentido, las preguntas que guían la investigación son:

¿Cómo se ha operacionalizado el marco analítico en los estudios de caso del Nexo WEF durante la última década?

1. ¿Cuáles son las tendencias temáticas y espaciales de los estudios de caso?
2. ¿De qué se habla cuando se habla de agua, energía y alimentos en los estudios de caso?
3. ¿Cuáles son las variables analíticas de estudio que incorporan los investigadores en los estudios de caso?

3 Metodología de investigación

3.1 El Manual Cochrane para la revisión de literatura

Una revisión de literatura es un estudio exhaustivo donde se valora de forma crítica la literatura relevante para responder a una pregunta de investigación (Aveyard, 2007). Permite situar a toda la investigación que se ha hecho de un tema en particular para analizar su impacto sistemáticamente y obtener conclusiones que de otro modo permanecerían parcialmente ocultas si solo se consideran artículos de investigación vistos por separado. Por ejemplo, en este tipo de revisiones se sopesa: lo que se puede afirmar con base en los hallazgos; lo que funcionó o no funcionó en términos de métodos y enfoques; los desafíos, lagunas e inconsistencias que quedan pendientes en la investigación; lo que se puede extraer de la amplia gama de posturas teóricas y los resultados que se puede esperar que sean repetibles y bajo qué circunstancias (Kiteley & Stogdon, 2014).

En principio se realiza una revisión de literatura para descubrir algo. Este proceso puede ser más o menos riguroso. A las revisiones menos detalladas y rigurosas se les llama revisiones narrativas, mientras que a las revisiones más robustas y rigurosas se les conoce como revisiones sistemáticas⁷. (Aveyard, 2007; Gough et al., 2017; Kiteley & Stogdon, 2014). La revisión sistemática se considera el "patrón oro" de las revisiones de literatura (Kiteley & Stogdon, 2014). Ésta es una revisión exhaustiva sobre un tema en particular, rigurosa y transparente en términos de cómo se llevó a cabo el proceso de revisión, cómo se evaluó el material y cómo se informaron los hallazgos.

El método más conocido para llevar a cabo una revisión sistemática es Cochrane Collaboration, y se considera la forma más detallada y robusta para llevar a cabo la revisión. Una de las características principales de este tipo de revisión es que los revisores siguen un protocolo estricto donde se detalla de forma explícita el método que seguirán para

⁷ En el medio hay otros tipos de revisiones de literatura que pueden ser similares a las revisiones sistemáticas pero que omiten algunos componentes sobre todo cuando se trata de tomar decisiones rápidas sobre temas emergentes. Por ejemplo, las revisiones rápidas, las revisiones críticas, las revisiones de alcance y las revisiones sombrilla.

identificar, valorar y sistematizar los estudios relevantes que respondan a la pregunta de investigación (Aveyard, 2007).

The Cochrane Collaboration es una red global independiente de investigadores, profesionales, pacientes y personas interesadas en la salud más grande a nivel mundial involucrada en este tipo de trabajo (Higgins et al., 2021). Su propósito fundamental es proveer revisiones sistemáticas de alta calidad que promuevan la toma de decisiones basadas en la evidencia y libres de cualquier patrocinio comercial y otros conflictos de interés. Su enfoque se caracteriza por la transparencia y la reproducibilidad de sus métodos. Este trabajo ha sido desarrollado por redes específicas de personas (Methods groups) que han contribuido en áreas específicas, tales como: la búsqueda, la evaluación de sesgos, la incorporación de análisis cualitativos y económicos, la interpretación de los hallazgos y los problemas de equidad, por mencionar algunos (Chandler & Hopewell, 2013).

Para Cochrane una revisión sistemática es aquella que integra toda la evidencia empírica para responder a una pregunta de investigación. Utiliza una serie de métodos que se consideran sistemáticos para minimizar el sesgo y proveer de hallazgos confiables. Sus características principales son (Higgins et al., 2021):

1. Objetivos claros y criterios de elegibilidad predefinidos
2. Una metodología explícita y reproducible
3. Una estrategia de búsqueda sistemática para intentar identificar todos los estudios de acuerdo con los criterios de elegibilidad
4. Una evaluación de los resultados, por ejemplo, mediante la evaluación del riesgo de sesgo
5. Una síntesis sistemática de los hallazgos

Cochrane preparó *The Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*, que es la guía para los investigadores que desean emprender una revisión sistemática de literatura. Es de acceso público y en éste se detalla el proceso a seguir para llevar a cabo una revisión sistemática. En términos generales, este proceso comienza con la formulación de una pregunta de investigación articulada bajo los elementos del acrónimo PICO: *Population, Intervention, Comparison y Outcome*. Por ejemplo, un investigador puede formular una pregunta muy amplia como ¿el aceite de pescado es benéfico? Si considera los elementos PICO esta pregunta será mucho más clara y específica ¿el aceite de pescado mejora la

función cognitiva en niños? En este caso, los elementos PICO son los siguientes: People (niños), Intervention (aceite de pescado), Control (es opcional) y Outcome (función cognitiva).

Después de formular la pregunta, el siguiente paso es escribir y registrar el protocolo de investigación. Éste es un registro público en el que se detalla la forma en que los investigadores conducirán su revisión. Este documento contiene el problema de salud, la pregunta de investigación y los criterios según los cuales se identificarán, evaluarán y resumirán los resultados de la investigación.

El tercer paso es la identificación de las publicaciones relevantes. La búsqueda es un proceso exhaustivo que incluye no solamente fuentes de información como las bases de datos más importantes en el área de la salud, sino también de bases de datos gubernamentales, agencias reguladoras y literatura gris. Los estudios encontrados son revisados con base en los criterios de elegibilidad por dos investigadores de forma independiente. Primero se revisan los títulos y resúmenes y después se revisa el texto completo de aquellos estudios potenciales. Los criterios de inclusión y exclusión deben ser reportados utilizando el diagrama de flujo de PRISMA. Se recomienda la utilización de este diagrama para informar de forma transparente los métodos para identificar, seleccionar y valorar los estudios encontrados.

El cuarto paso es la valoración de la calidad de cada estudio seleccionado. Los revisores deben usar una serie de herramientas validadas para evaluar el grado en que cada estudio emplea medidas para reducir el sesgo en el diseño de la investigación, la realización de la misma y el análisis. Por ejemplo, si en los estudios aleatorizados el proceso de asignar a un paciente a determinada intervención fue hecho de forma aleatoria, si el proceso de asignación fue hecho a ciegas tanto para el personal médico como para los participantes, si hubo una evaluación a ciegas de los resultados o esta evaluación fue hecha por terceros, si durante el proceso hubo personas que decidieron no continuar y, por ende, hay datos incompletos, por mencionar algunos.

El quinto paso es hacer una síntesis cualitativa o cuantitativa del conjunto de estudios. La síntesis cualitativa puede incluir datos como las características de los estudios, las características de los participantes y los resultados. La síntesis de estos resultados se

presenta en un formato de tabla. Si los estudios son lo suficientemente similares y combinables se puede realizar una síntesis estadística conocida como metaanálisis. Finalmente, el último paso es la interpretación de los resultados siempre teniendo en cuenta el riesgo de sesgo en los estudios considerados. En el caso del metaanálisis, se examinan las diferencias entre los estudios para considerar si la estadística global es fiable. Con base en la solidez de esta evidencia se formulan recomendaciones.

3.2 Métodos

Se llevó a cabo una revisión de literatura bajo la orientación del Manual Cochrane para identificar cómo se ha operacionalizado el marco analítico en los estudios de caso del Nexo durante la última década. Esta revisión tuvo tres objetivos particulares.

1. Determinar las tendencias temáticas y espaciales de los estudios de caso.
2. Describir de qué se habla cuando se habla de agua, energía y alimentos en los estudios de caso.
3. Identificar las variables analíticas de estudio que incorporan los investigadores en los estudios de caso.

3.2.1 Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda para identificar los estudios de caso del Nexo con un alto rigor académico se desarrolló de manera iterativa y se refinó a través de varios procesos en consulta con el equipo de trabajo. Se utilizó Scopus como fuente principal de información. Scopus es una base de datos que ofrece una amplia cobertura de documentos desde diversas disciplinas (Itayi et al., 2021; Visser et al., 2021). Además, Scopus permite exportar de manera sencilla la información bibliográfica para exportarse al administrador de referencias Mendeley o para codificar datos en programas como Atlas.ti, R o Phytion (Gomez-Santiz et al., 2021).

Para encontrar las investigaciones relevantes y no resultados falsos, se utilizó una combinación de palabras clave provenientes de una búsqueda de texto libre para ejecutar una búsqueda iterativa en Scopus limitada al título, resumen y palabras clave. Para identificar variantes ortográficas, sinónimos y acrónimos se realizaron dos actividades. La primera fue una búsqueda de texto libre en los títulos, resúmenes y palabras clave de los

resultados. La segunda fue una búsqueda en las palabras clave con las que se indexan estas publicaciones en Scopus. Este proceso permitió capturar conceptos provenientes de vocabulario controlado, es decir, conceptos universales para denominar el concepto del Nexo. Una vez identificadas todas las variantes, se construyó la categoría con todas las palabras que se presenta en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Conceptos clave de la estrategia de búsqueda

Categoría	Palabras clave asociadas con la categoría
Water-energy-food nexus	"water-energy-food nexus" OR "WEF nexus" OR "WEFN" OR "W-E-F system" OR "water-energy-food" OR "food-energy-water nexus" OR "FEW nexus" OR "energy-food-water nexus" OR "food/energy/water nexus" OR "food energy water nexus" OR "water-energy-food security" OR "water-energy-food availability" OR "water-energy-food symbiosis" OR "food-energy-water systems" OR "FEWS" OR "water-energy-food system" OR "water-energy-food-climate nexus" OR "WEFC nexus" OR "water-energy-food-land-climate nexus" OR "water-energy-food-environment nexus" OR "WEFE nexus" OR "environment-water-energy-food nexus" OR "water-energy-food-ecosystem nexus" OR "water-energy-food-land nexus" OR "land-water-energy-food nexus" OR "stress nexus" OR "resource nexus" OR "nexus thinking"
Case study	"comparative study" OR "model*" OR "analytical method" OR "quantitative modeling" OR "qualitative analysis" OR "case study" OR "case studies" OR "method*" OR "measur*" OR "quantitative analysis" OR "empirical research" OR "experimental study" OR "evaluation method" OR "study design" OR "numerical methods" OR "qualitative data" OR "evaluation" OR "quantifying" OR "tool" OR "analytical modeling"

3.2.2 Criterios de selección e inclusión de estudios

El proceso de selección de las investigaciones incluyó dos pasos clave. Primero, se ejecutó la búsqueda en Scopus y se extrajeron los metadatos de los estudios seleccionados. La información de citación (autor, título, año, revista y citas), la información bibliográfica (afiliación, editor, idioma del documento), resúmenes y palabras clave (palabras clave del autor y palabras clave de índice), el financiamiento (número, acrónimo y patrocinador) y las referencias. Esta información se exportó al software de gestión de referencias Mendeley. En segundo lugar, se examinaron los títulos y resúmenes de los estudios de caso recuperados por un equipo de seis personas de forma independiente. Para la selección de los estudios de caso se consideraron ocho criterios, que se enumeran a continuación. Los desacuerdos

se resolvieron mediante la relectura de los títulos y resúmenes evaluados solamente por un solo autor.

1. Estudios de caso que se denominen investigaciones Nexo explícitamente
2. Inclusión de al menos los tres sectores clave (agua, energía y alimentos)
3. Realizados entre 2011 y 2021
4. Publicados en inglés
5. Emplear un método o un modelo en el estudio
6. Estudios realizados en cualquier parte del mundo
7. Estudios realizados desde cualquier disciplina
8. Investigaciones limitadas a artículos

3.2.3 Justificación de los criterios de búsqueda

El Cuadro 3.2 resume las razones principales de la elección de los criterios de búsqueda. Para esta investigación solo se consideraron “artículos”, publicados entre el primero de enero del 2011 y el primero de agosto del 2021. Asimismo, el lenguaje de las publicaciones estuvo limitado al idioma inglés. Las palabras clave consideradas en la sintaxis de búsqueda reflejan el concepto amplio del Nexo, donde se incluyen otros elementos como “tierra”, “cambio climático” y “ecosistemas”.

Cuadro 3.2 Justificación de los criterios de búsqueda

Categoría	Criterio	Justificación
Tipo de documento	Artículo	Trabajos de calidad donde hay un proceso de revisión por pares
Período de tiempo	01/01/2011 - 01/06/2021	Se consideró la fecha de inicio el 2011 porque la Conferencia de Bonn celebrada en ese año marcó el hito para el surgimiento del enfoque del nexo (Scott et al., 2015). La fecha de corte es el primer semestre del 2021 por la gran cantidad de estudios realizados durante este año (190 comparados con los 184 del 2020), sobre todo estudios en América Latina.
Lenguaje	Inglés	De las diferentes búsquedas hechas se encontró que menos del 1% de las publicaciones del nexo se hacen en otros idiomas (chino, francés, portugués y alemán). Por lo que solamente se consideraron las publicaciones en inglés. De acuerdo con Cochrane, excluir los estudios que no están en inglés no cambia las conclusiones de la mayoría de las revisiones sistemáticas, aunque considerarlas se puede tomar como un indicador de la calidad de la revisión (Higgins et al., 2021).
Palabras clave	query	No hay un único marco conceptual del nexo. Hay varios conceptos, marcos y metodologías que han analizado las interrelaciones entre agua, energía y alimentos. Todos difieren en alcance, objetivos y comprensión de los factores interdependientes y causales (Smajgl et al., 2016). El marco de Bonn 2011 es el que se considera el hito del enfoque y solamente considera el nexo entre agua-energía-alimentos (Hoff, 2011). Las revisiones de literatura anteriores solo se han limitado a revisar estos tres elementos y han dejado fuera a las otras conceptualizaciones del nexo. Algunos de los marcos más representativos son los siguientes: el nexo entre agua-energía-alimentos-cambio climático (World Economic Forum, 2011). El nexo entre agua-energía-alimentos-tierra (European Report on Development, 2012; Hoff et al., 2013; Ringler et al., 2013). El nexo entre agua-energía-alimentos-ecosistemas (Fasel et al., 2016; Karabulut et al., 2016). Para algunos, estos elementos ya están implícitos en cada uno de los tres sectores del nexo (Tolba et al., 2018), pero al hacer las búsquedas se encontró que se consideran estos elementos explícitamente por lo que se consideró necesario incluirlos en los términos de búsqueda.

3.2.4 Evaluación de la calidad

La autora declara no conocer ninguna herramienta u orientación para evaluar la calidad de los estudios de caso del Nexo. Para garantizar la calidad de las investigaciones de esta revisión se consideraron solo "artículos" porque éstos pasaron por un proceso de revisión por pares de expertos en el tema. Por esta razón, se excluyeron de esta revisión todos aquellos documentos como libros, capítulos de libros, reseñas, así como documentos

provenientes de la literatura gris ante la ausencia de herramientas para garantizar su calidad.

3.2.5 Sintaxis de búsqueda

Cuadro 3.3 Sintaxis de búsqueda

	Sintaxis	Resultados
1	<p>TITLE-ABS-KEY ("water-energy-food nexus" OR "WEF nexus" OR "W-E-F system" OR "water-energy-food" OR "food-energy-water nexus" OR "FEW nexus" OR "energy-food-water nexus" OR "food energy water nexus" OR "water-energy-food security" OR "water-energy-food availability" OR "water-energy-food symbiosis" OR "food-energy-water systems" OR "water-energy-food system" OR "water-energy-food-climate nexus" OR "water-energy-food-land-climate nexus" OR "water-energy-food-environment nexus" OR "environment-water-energy-food nexus" OR "water-energy-food-ecosystem nexus" OR "water-energy-food-land nexus" OR "land-water-energy-food nexus" OR "stress nexus" OR "resource nexus" OR "nexus thinking") AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2022 AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))</p>	714 papers
2	<p>(TITLE-ABS-KEY ("water-energy-food nexus" OR "WEF nexus" OR "W-E-F system" OR "water-energy-food" OR "food-energy-water nexus" OR "FEW nexus" OR "energy-food-water nexus" OR "food energy water nexus" OR "water-energy-food security" OR "water-energy-food availability" OR "water-energy-food symbiosis" OR "food-energy-water systems" OR "water-energy-food system" OR "water-energy-food-climate nexus" OR "water-energy-food-land-climate nexus" OR "water-energy-food-environment nexus" OR "environment-water-energy-food nexus" OR "water-energy-food-ecosystem nexus" OR "water-energy-food-land nexus" OR "land-water-energy-food nexus" OR "stress nexus" OR "resource nexus" OR "nexus thinking") AND TITLE-ABS-KEY ("comparative study" OR "model*" OR "analytical method" OR "quantitative modeling" OR "qualitative analysis" OR "case study" OR "case studies" OR "method*" OR "measur*" OR "quantitative analysis" OR "empirical research" OR "experimental study" OR "evaluation method" OR "study design" OR "numerical methods" OR "qualitative data" OR "evaluation" OR "quantifying" OR "tool" OR "analytical modeling")) AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2022 AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))</p>	528 papers

La sintaxis se ejecutó el 16 de agosto del 2020 limitado a título, resumen y palabras clave en Scopus. Con los términos que se refieren al nexo agua-energía-alimentos se encontraron un total de 714 artículos que se redujeron a 528 después los términos relacionados con los estudios de caso. Una vez realizada la lectura de títulos y resúmenes para excluir aquellos artículos irrelevantes, se incluyeron únicamente 249 artículos que cumplieron con los criterios de elegibilidad. El análisis se realizó con cuatro tipos de software: Mendeley, la paquetería Bibliometrix de R, VOSviewer y Atlas.ti. En la sección de anexos se incluyen los códigos desarrollados para el análisis realizado en Atlas.ti.

3.2.6 Identificación de las variables en los estudios de caso

Para poder identificar las variables en los estudios de caso se tomó una muestra aleatoria simple de los documentos para su análisis a texto completo. La fórmula para determinar el tamaño de muestra es:

$$n = \frac{Nz^2pq}{d(N - 1) + z^2pq}$$

Dónde:

n= Tamaño de muestra

N= Total de artículos, 249

z= Nivel de confianza, se consideró 95%

p= Variabilidad, se consideró 0.5

q= Variabilidad, se consideró 0.5

d= Error aceptable, se consideró 0.10

Aplicando la fórmula se obtiene:

$$n = 70$$

La selección de los 70 documentos fue hecha con la función aleatoria de Excel.

Una de las principales dificultades para identificar las variables en los estudios de caso del Nexo, hasta donde se sabe, es que no hay ningún trabajo previo que haya hecho un análisis similar. En los documentos conceptuales, como es el caso de Hoff (2011), solo se mencionan las interdependencias entre los recursos de agua, energía y alimentos. Pero no dan ninguna pista acerca de las variables que podrían utilizar los investigadores en la práctica. Por otro

lado, los investigadores utilizan una terminología variada en los estudios de caso, por lo que una variable puede reconocerse y medirse de manera diversa en los estudios empíricos.

En este sentido, para identificar las variables de estudio en una primera revisión de los documentos, se desarrolló el siguiente código para introducirlo en atlas.ti y encontrar las coincidencias en el texto de los artículos. Este código se desarrolló con la herramienta **science direct topics** que muestra todas las palabras relacionadas con "variable" que se pueden encontrar en el vocabulario controlado.

Código variables

variable|variables|instrumental variable|instrumental variable estimate|independent variable|environmental variable|ecological variable|dummy variable|discrete variable|dependent variable|demographic variable|dochotomous variable|continuous variable|variable optimization|categorical variable|climate variable|control variables|spatial variables|key variables|decision variables|climatic variables|interdependent variables|input variable|output variable

Después de una primera revisión se identificaron aquellas variables recurrentes en la investigación y se integraron las diferentes palabras con las que se pueden encontrar en los estudios de caso. A partir de esta revisión se codificaron estas variables en los estudios de caso.

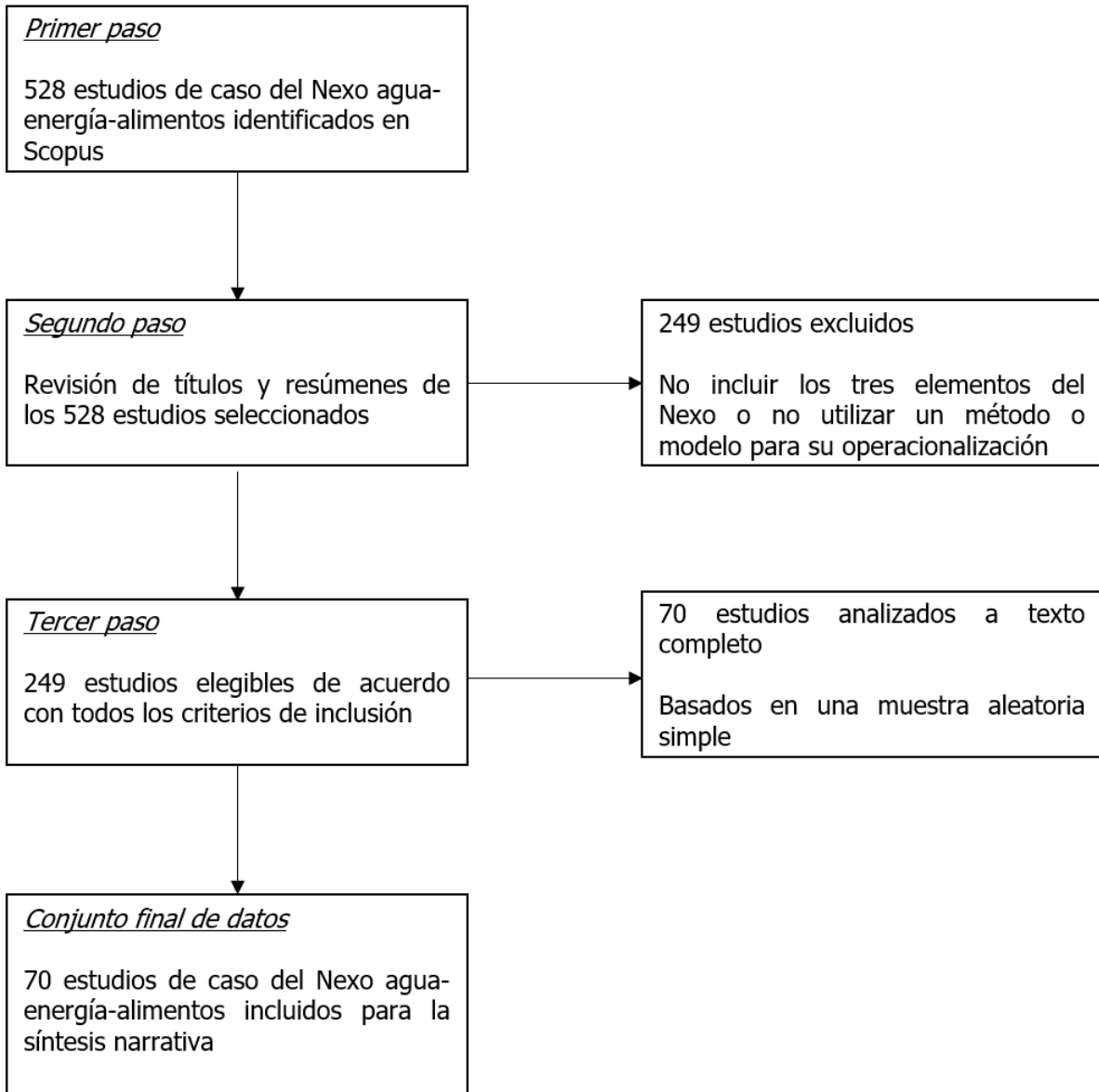


Figura 3.1 Diagrama de flujo para la selección de los estudios de caso

3.2.7 Limitaciones de la investigación

Esta revisión de literatura tiene varias fuentes de sesgo. En primer lugar, únicamente se consideró Scopus para la búsqueda de información. Esto puede implicar una subestimación de los estudios de caso del Nexo porque no se están considerando todas las fuentes de información para reunir la evidencia empírica que responda a la pregunta de investigación. En segundo lugar, no se consideraron dentro del análisis elementos del Nexo que ya habían sido reportados por revisiones anteriores, como es el caso de water-energy-food-health, food-energy-water-waste y water-food-nutrition-health. Es posible que haber omitido estas variantes, aunque no de manera intencional, haya dejado estudios de caso del Nexo fuera del análisis. En tercer lugar, los desacuerdos sobre la inclusión o exclusión del 30% de los artículos que integran esta revisión fueron resueltos por la autora, en vez de haberse resuelto mediante el diálogo con los revisores.

Asimismo, es necesario tomar con reserva el análisis de las categorías del Nexo y de las variables con las que los investigadores operacionalizan este enfoque en la práctica. Hasta donde se tiene conocimiento, esta es la primera vez que se realiza este tipo de análisis, por lo que no hubo una base detrás que permitiera predefinir las categorías que se consideran. La codificación se desarrolló a partir de los criterios de la autora, y lo más probable es que sea una codificación incompleta.

4 Resultados

4.1 Características generales

La producción científica anual de los estudios de caso del nexa aumentó continuamente con el tiempo, particularmente a partir del año 2017. Durante el período del 2014-2016 únicamente se publicaron en promedio 4 artículos por año. A partir del 2017, en promedio se publicaron 47 artículos por año (Figura 4.1). Asimismo, hay un total de 958 autores, con un promedio de 3.8 autores por documento. El promedio de citas anuales por documento es de 8.6 citas.

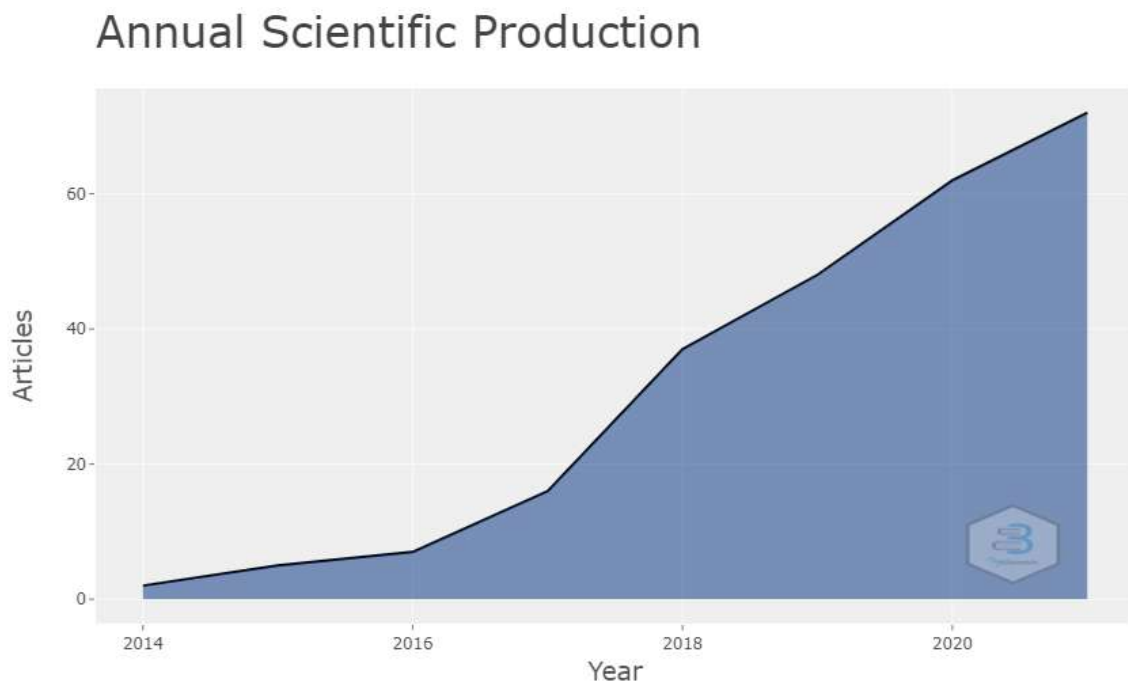


Figura 4.1 Producción científica de estudios de caso del Nexa a lo largo del tiempo

Distribución por categorías temáticas y revistas

En términos de área del conocimiento, los estudios de caso del nexa incluyeron 14 categorías de acuerdo con la clasificación de Scopus, dentro de las cuales están dominados por las ciencias ambientales (220), la energía (84), las ciencias sociales (62), ingeniería (48) y

agricultura y ciencias biológicas (38), así como una variedad de otras disciplinas. Los artículos se han publicado en 82 revistas, de las cuales el 52% de las publicaciones se concentran en 10 revistas. *Journal of Cleaner Production* es la revista más productiva con 23 publicaciones (9%), le sigue la revista *Science of Total Environment* con 22 publicaciones (8%) y *Resources Conservation and Recycling* con 18 publicaciones (7%). Se utilizó la ley de Bradford para identificar las principales revistas donde se publican los estudios que operacionalizan el nexo. De acuerdo con la distribución de la Figura 4.2, en orden decreciente hay cinco revistas que pueden considerarse el núcleo de la operacionalización del nexo: *Journal of Cleaner Production*, *Science of Total Environment*, *Resources Conservation and Recycling*, *Sustainability (Switzerland)* y *Water (Switzerland)*.

Cuadro 4.1 Las diez revistas más productivas en los estudios de caso del Nexo

Revistas	Número de publicaciones	Porcentaje	IF	h -índex
Journal of Clenear Production	23	9.24%	9.2	10
Science of Total Environment	22	8.84%	7.9	11
Resources Conservation and Recycling	18	7.23%	10.2	6
Sustainability (Switzerland)	16	6.43%	3.2	8
Water (Switzerland)	14	5.62%	3.1	5
Environmental Research Letters	11	4.42%	6.7	5
International Journal of Environmental Research and Public Health	9	3.61%	3.3	5
ACS Sustainable Chemistry and Engineering	6	2.41%	8.1	3
Agricultural Water Managment	6	2.41%	4.5	3
Sustainable Production and Consumption	5	2.01%	5	4

Bradford's Law

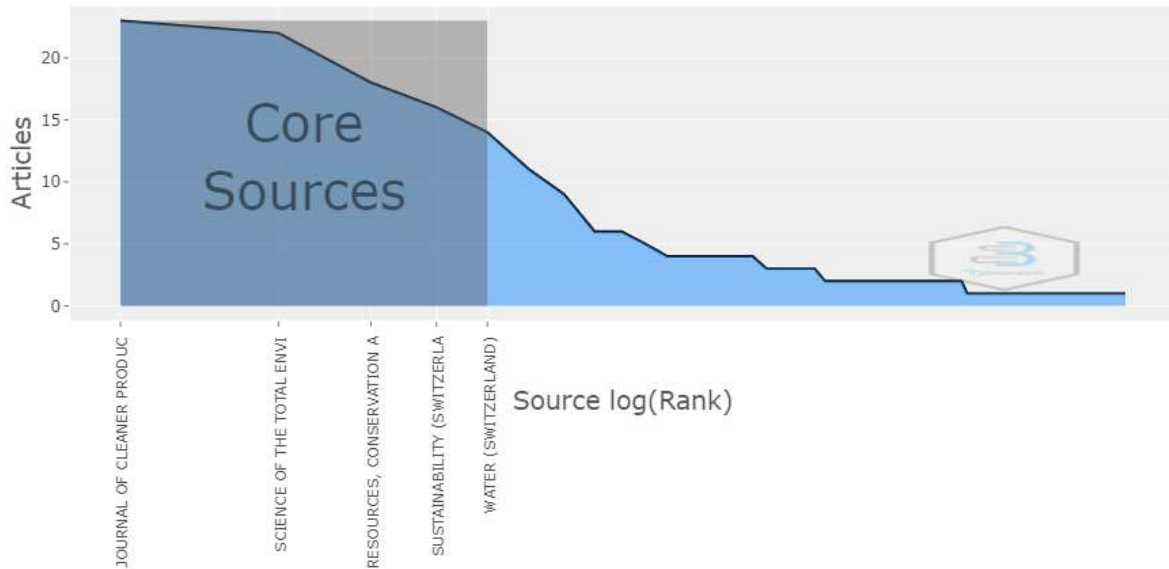


Figura 4.2 Revistas principales donde se publican los estudios de caso del Nexo

Distribución por países

Las 249 publicaciones cubrieron 66 países (Figura 4.3). Si se analiza en conjunto qué documento ha sido producido en qué país (Cuadro 4.2), se puede observar que China encabeza la lista en el número total de publicaciones (68) con un 27.3%, le siguen Estados Unidos (44, 17.7%); Reino Unido (19, 7.6%); México (11, 4.4%); Alemania, Italia y Países Bajos (10, 4.0%) cada uno; Irán (8, 3.2%), España (7, 2.8%) y Brasil (5, 2.0%). Como es posible observar, China es el país que más contribuyó con estudios de caso, seguido de Estados Unidos. Entre ambos países abarcan el 45% de los documentos producidos a nivel global. Aunque las contribuciones del resto de los países son mucho menos significativas, en conjunto estos diez países más productivos suman el 77.1% del total de documentos producidos. En términos de citas, los documentos producidos en Estados Unidos son mucho más citados, le siguen China y Reino Unido.

Country Scientific Production

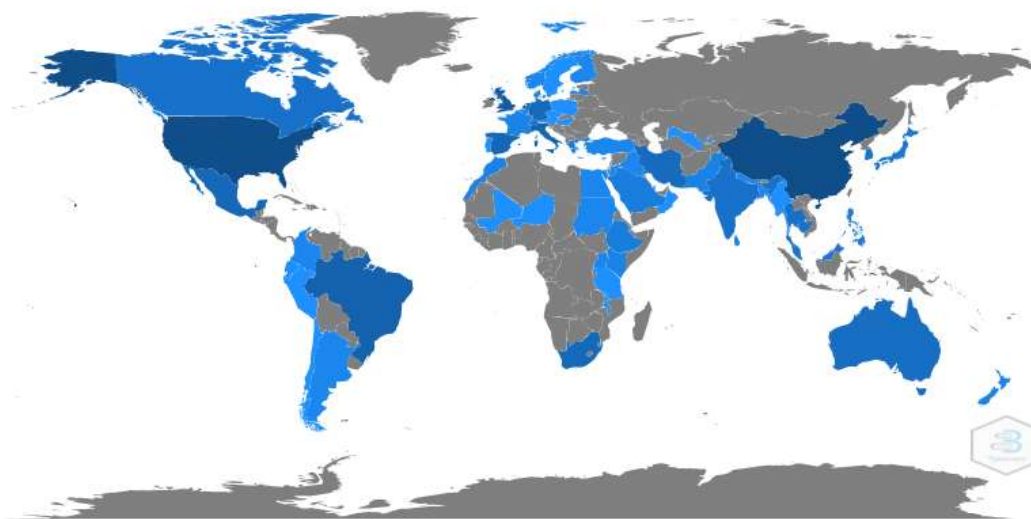


Figura 4.3 Producción científica por país según los estudios de caso del Nexo

Cuadro 4.2 Contribución científica por país a los estudios de caso del Nexo

País	Número de publicaciones	Porcentaje	Citas totales	Promedio de citas por publicación
China	68	27.31	640	9.4
Estados Unidos	44	17.67	858	19.5
Reino Unido	19	7.63	295	15.5
México	11	4.42	67	6.0
Alemania	10	4.02	126	12.6
Italia	10	4.02	164	16.4
Países Bajos	10	4.02	74	7.4
Irán	8	3.21	36	4.5
España	7	2.81	83	11.8
Brasil	5	2.01	43	8.6

De acuerdo con el número de publicaciones, aun cuando Estados Unidos es el segundo país más productivo es el país más citado a nivel global. Le siguen China (640) y Reino Unido (295). México a pesar de ser el cuarto país más productivo en la operacionalización del nexos es de los que menos citas recibe a nivel mundial (67).

Distribución por regiones

El Cuadro 4.3 muestra dónde se realizan los estudios de caso agrupados por regiones del mundo. Casi la mitad de los estudios de caso se realizan en Asia (46%). Le sigue América del Norte (Nort-Ame) con 15% y África con 14%. América Latina y el Caribe (Lat&Car) solo contribuyen con el 10% de los estudios de caso. Oceanía es la única región del mundo que contribuye con menos del 1% de los estudios de caso.

Cuadro 4.3 Estudios de caso del Nexo por regiones del mundo

Regiones	Número de publicaciones	Porcentaje
ASIA	114	46.72
NORT-AME	38	15.57
AFRICA	35	14.34
EUROPA	31	12.70
LAT&CAR	25	10.25
OCEANIA	1	0.41

Colaboraciones de países

El análisis de coautoría de países (Figura 4.4) reveló colaboraciones entre autores de diferentes países. Para la visualización de estas redes se utilizó el análisis de co-autoría por país, con un máximo de 25 países por documento y un mínimo de 3 artículos y 10 citas por país. Estas redes de colaboración se pueden ver representadas en cuatro grandes clústers dentro de los cuales hay tres grandes países dominantes: Estados Unidos, China y Reino Unido. El clúster rojo revela que Estados Unidos tiene el mayor peso en función de las citas y hay una red de colaboración más fuerte con China, Reino Unido y el Líbano y se extiende a países como México, Tailandia, Arabia Saudita, Corea del Sur, India e Irán. El segundo país que tiene un mayor peso en términos de colaboración es China, clúster amarillo, y su red de colaboración más fuerte es con Estados Unidos y Canadá y se extiende con países como Países Bajos, Francia y Australia. El tercer país con un mayor peso en colaboraciones es el Reino Unido, clúster verde, y su red de colaboración más fuerte es con Estados Unidos, China y Australia y se extiende a países como Sudáfrica, Filipinas, Sri Lanka y Kenia. Finalmente, en el clúster azul se encuentran las colaboraciones entre países como Brasil, Alemania, Italia y España donde no sobresale uno en términos de su peso.

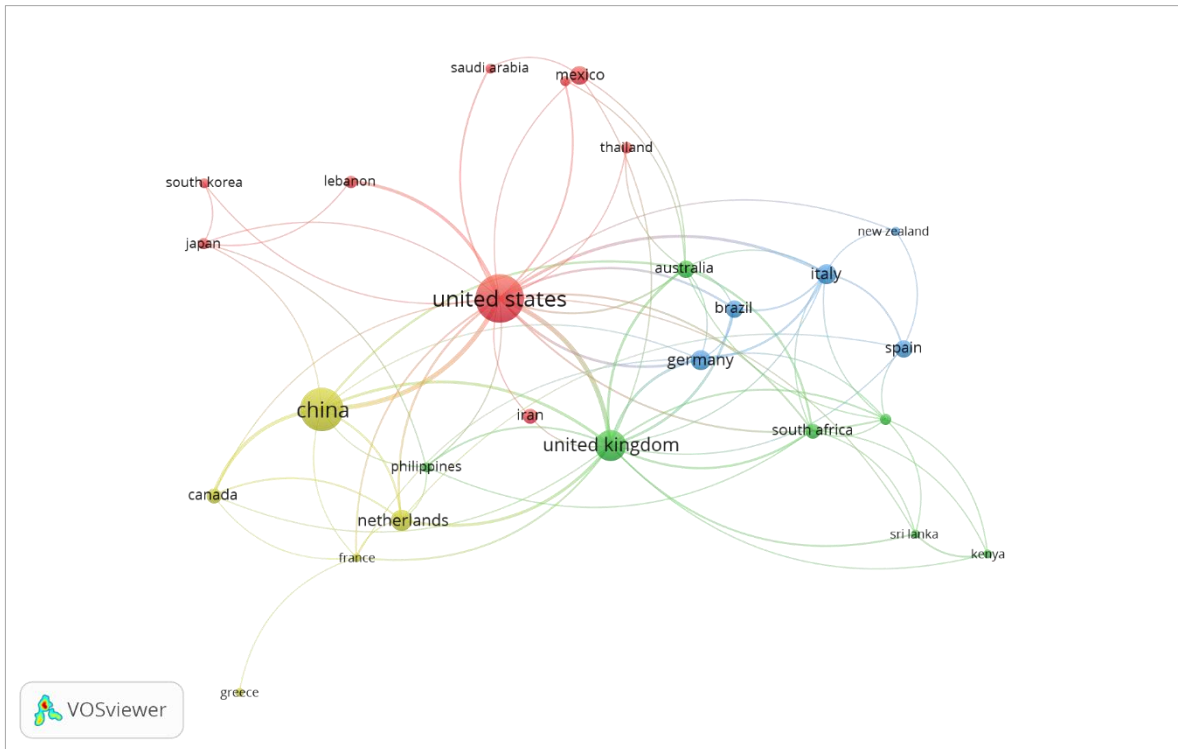


Figura 4.4 Redes de colaboración entre países basado en el análisis de co-autoría

Contribuciones por afiliación

El Cuadro 4.4 presenta los resultados de las 10 instituciones más productivas. Cabe destacar que 5 de ellas pertenecen a China, y el resto a Estados Unidos, México, Líbano y Países Bajos. La Universidad A&M de Texas es la institución que más ha contribuido a la operacionalización del nexo, con un total de 34 publicaciones que representa el 13.7% del total global. Las cinco universidades que se ubican en China en conjunto han contribuido con el 22.8% del total de publicaciones, mientras que el resto de instituciones tienen una contribución mucho menos significativa.

Cuadro 4.4 Contribuciones por afiliación a los estudios de caso del Nexo

Institución	País	Número de publicaciones	Porcentaje
Texas A&M University	EU	34	13.65
Hohai University	China	19	7.63
Beijin Normal University	China	15	6.02
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	México	11	4.42
Central University of Finance and Economics	China	9	3.61
American University of Beirut	Líbano	8	3.21
IHE Delft Institute of Water Education	Países Bajos	7	2.81
Northwest A&F University	China	7	2.81
University of California	EU	7	2.81
University of Chinese Academy of Science	China	7	2.81

Contribución por autor y red de co-autoría

Los 10 autores más productivos contribuyeron con un total de 59 (24%) artículos y recibieron un total de 756 citas (Cuadro 4.5). José María Ponce Ortega de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo fue el principal contribuyente con un total de 10 artículos y un total de citas de 65. Otros autores prolíficos fueron Yulong Li con 6 artículos (Central University of Finance and Economics, China); Rabi Mohtar con 6 artículos (Texas A&M University, United States); Janez Sušnik con 6 artículos (IHE Delft Institute of Water Education, Netherlands); Wang, H. con 6 artículos; Wang, Y. con 6 artículos; Bassel Daher con 5 artículos (Texas A&M University, United States); Li, G. con 5 artículos; Y.C. Ethan Yang con 5 artículos (Lehigh University, the United States of America) y Davide Bazzana con 4 artículos (University of Brescia, Brescia, Italy).

Cuadro 4.5 Los diez autores más productivos en los estudios de caso del Nexo

Autor	País de afiliación	Número de publicaciones	h -índice	Citas totales
Ponce Ortega JM	México	10	4	65
Li Y	China	6	4	88
Mohtar RH	Estados Unidos	6	5	213
Sušnik J	Países Bajos	6	4	74
Wang H	China	6	3	12
Wang Y	China	6	3	20
Daher B	Estados Unidos	5	3	54
Li G	China	5	4	90
Yang YCE	Estados Unidos	5	4	131
Bazzana D	Italia	4	1	9

La red de colaboración (Figura 4.5) muestra cómo los autores se relacionan en el campo de investigación del Nexo. Esta red de colaboración muestra que hay trece clústeres en torno a los cuales se articula la investigación. Estos clústeres presentan a los autores fundamentales y los grupos de estudio regulares. Al analizar esta red de colaboración, parece ser que las comunidades científicas se encuentran aisladas y los grupos de investigación son reducidos. Como se puede observar, hay cinco clústeres que solo se componen por la colaboración entre dos investigadores. Cuatro se componen por la colaboración entre tres investigadores y cuatro compuestos por cuatro o más investigadores. En el clúster azul se puede identificar la centralidad de José María Ponce Ortega; en el clúster amarillo destaca Janez Sušnik y en el clúster morado Yulong Li. Estos autores se encuentran dentro de los cinco más productivos a nivel mundial.

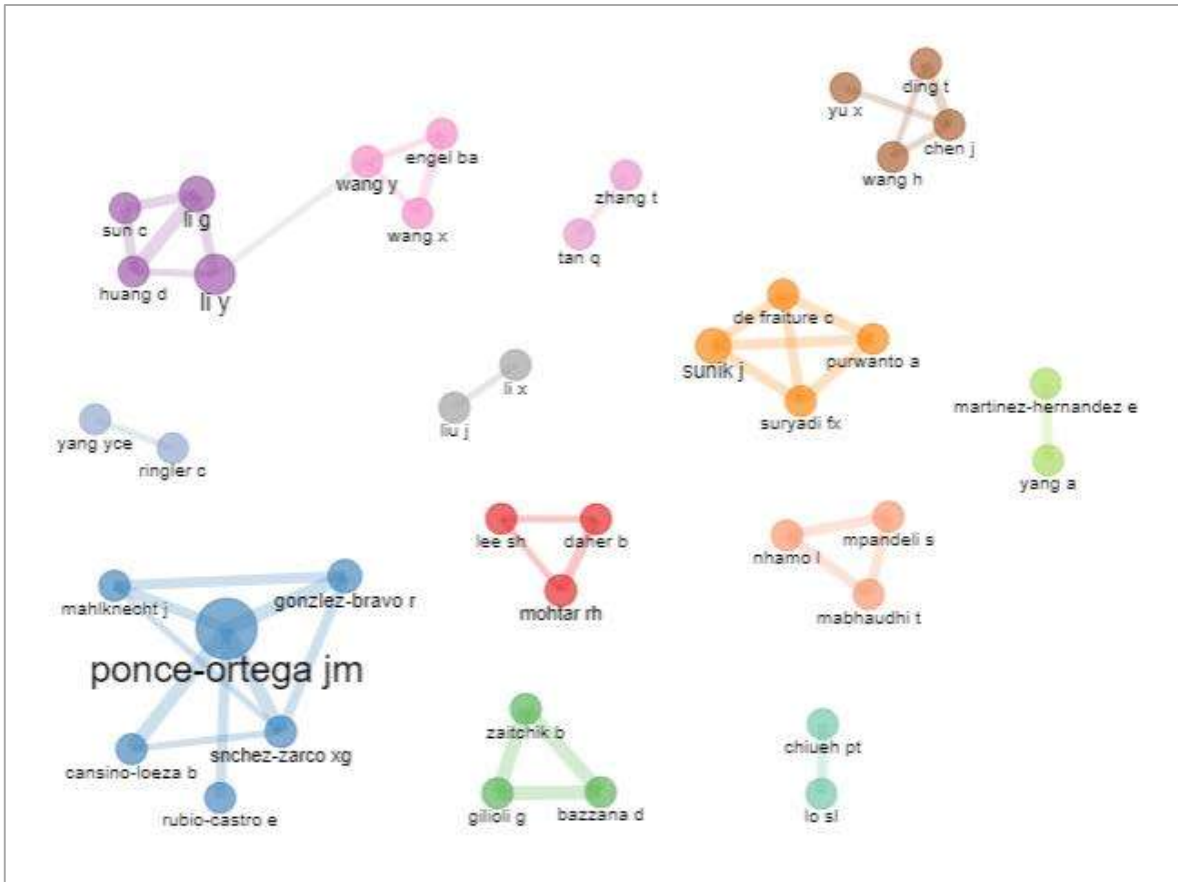


Figura 4.5 Red de colaboración entre investigadores

Contribución por estudios más citados

Los 10 estudios de caso más citados en orden de prioridad se presentan en el Cuadro 4.6. Daher & Mohtar (2015) presentan la herramienta Nexus Tool 2.0 para modelar el Nexu en Qatar con el propósito de evaluar escenarios y estrategias sostenibles para la asignación de recursos. Zhang & Vesselinov (2017) desarrollan un modelo integrado WEFO para predecir cómo satisfacer las demandas de agua, energía y alimentos en función de los costos de producción, demandas socioeconómicas y controles ambientales. Se presenta un ejemplo de aplicación con datos obtenidos de literatura previa e informes gubernamentales. Ozturk, (2015) utiliza tres modelos para examinar los vínculos entre agua-energía-alimentos, salud pública, crecimiento económico y medio ambiente en los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica), con el propósito de explorar la sostenibilidad a largo plazo de los elementos del Nexu. Li et al. (2019) desarrollan un modelo integrado AWEFSM para analizar las compensaciones entre agua, energía y tierra en un sistema agrícola en el noreste de

China, con el propósito de gestionar de manera sostenible los recursos. Daccache et al. (2014) hacen uso de un modelo de balance hídrico, una geodatabase y SIG para evaluar la demanda de agua y la huella energética en diferentes cultivos en la región mediterránea. Ramaswami et al. (2017) presentan un marco generalizado de sistemas para analizar el Nexo aplicado en la ciudad de Delhi, India. Leung Pah Hang et al. (2016) proponen un enfoque sistemático para el diseño de sistemas integrados de producción local basados en la programación matemática que se ilustra con un estudio de caso sobre el diseño integrado del Nexo en Whitehill y Bordon, Reino Unido. Hussien et al., (2017) desarrollan un modelo integrado para capturar las interacciones entre agua, energía y alimentos a nivel de uso final en los hogares de Duhok, Irak. Villamayor-Tomas et al., (2015) combinan el marco de análisis y desarrollo institucional y el análisis de la cadena de valor para estudiar las cadenas de valor de agua, energía y alimentos como redes de situaciones de acción aplicados a cuatro estudios de caso en España, Alemania, Kenia e India. Vora et al., (2017) presentan un modelo de red de comercio de 29 alimentos en donde se estima la magnitud de energía de riego incorporada, el agua virtual y las emisiones de gases de efecto invernadero en Estados Unidos.

Cuadro 4.6 Los diez estudios de caso del Nexo más citados a nivel global

Citas totales	Año	Título	Revista	Autor	País
154	2015	Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making	<i>Water International</i>	Daher & Mohtar	EU
101	2017	Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus	<i>Advances in Water Resources</i>	Zhang & Vesselinov	EU
96	2015	Sustainability in the food-energy-water nexus: Evidence from BRICS (Brazil, the Russian Federation, India, China, and South Africa) countries	<i>Energy</i>	Ozturk	Turquía
89	2019	An optimal modelling approach for managing agricultural water-energy-food nexus under uncertainty	<i>Science of The Total Environment</i>	Li et al.	China
88	2014	Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region	<i>Environmental Research Letters</i>	Daccache et al.	
70	2017	An urban systems framework to assess the trans-boundary food-energy-water nexus: implementation in Delhi, India	<i>Environmental Research Letters</i>	Ramaswami et al.	
70	2016	Designing integrated local production systems: A study on the food-energy-water nexus	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Leung Pah Hang et al.	UK
67	2017	An integrated model to evaluate water-energy-food nexus at a household scale	<i>Environmental Modelling & Software</i>	Hussien et al.	UK
62	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>	Villamayor-Tomas et al.	
58	2017	Food–Energy–Water Nexus: Quantifying Embodied Energy and GHG Emissions from Irrigation through Virtual Water Transfers in Food Trade	<i>ACS Sustainable Chemistry & Engineering</i>	Vora et al.	EU

Contribución por palabras claves

La Figura 4.6 presenta una nube de palabras con los términos más frecuentes utilizados en los estudios de caso del Nexo. Las palabras que se encuentran al centro de la nube con aquellas con una mayor frecuencia de aparición. En este sentido, los términos más comunes son "water", "energy", "food", "nexus", "resources", "management", "climate", "system", "supply", "development", "analysis", "model". Ahora bien, las palabras clave más comunes utilizadas por los autores, excluyendo al Nexo, se relacionan con la sustentabilidad, el cambio climático, la seguridad alimentaria, la optimización, el agua y la energía. Por otro lado, las palabras más comunes con las que se indexan los estudios de caso en Scopus son oferta de agua, el desarrollo sustentable, el cambio climático, la toma de decisiones y la oferta de alimentos (véase el Cuadro 4.7).

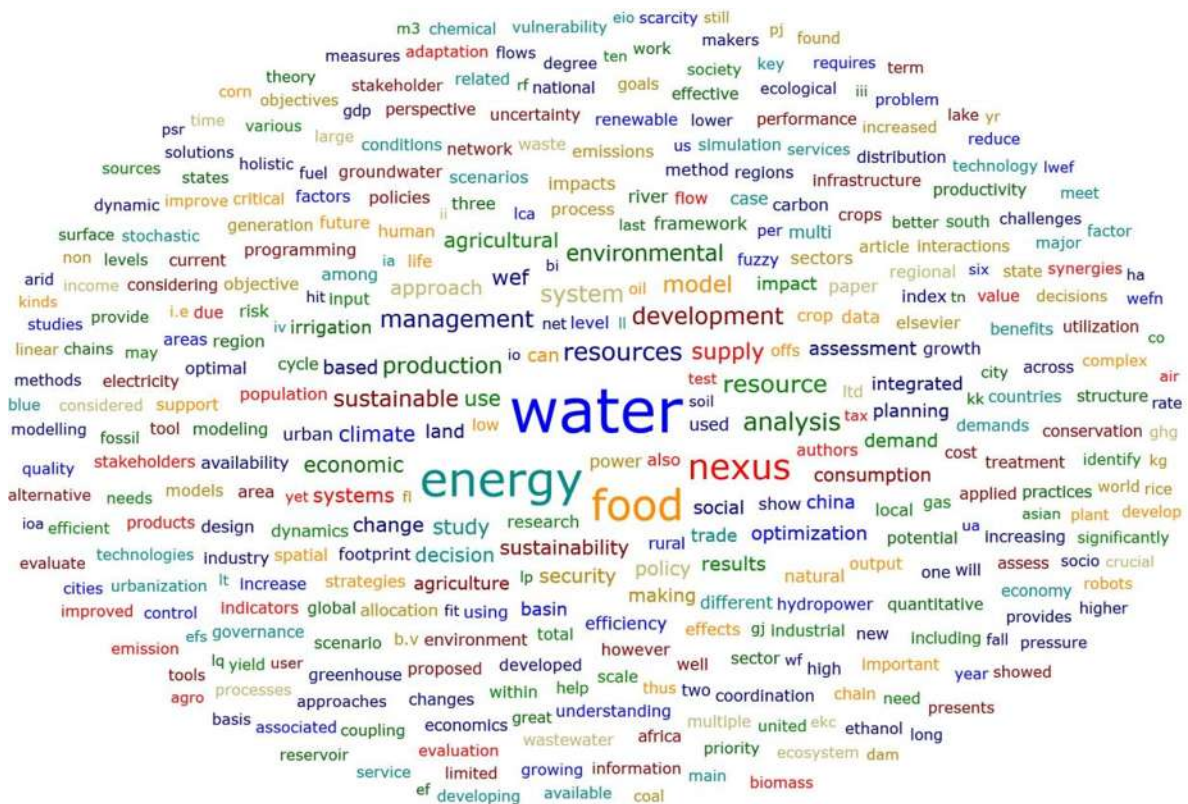


Figura 4.6 Palabras clave más frecuentes en los estudios de caso del Nexo

Cuadro 4.7 Las diez palabras clave más frecuentes utilizadas en los estudios de caso

Frecuencia	Palabras clave del autor	Frecuencia	Palabras clave indexadas
49	water-energy-food nexus	111	water supply
23	sustainability	105	sustainable development
20	food-energy-water nexus	76	climate change
16	sustainable development	69	decision making
13	climate change	68	water supply
13	nexus	66	china
12	food security	59	article
12	optimization	54	food supply
12	water	51	water resources
11	energy	50	food

La co-ocurrencia de palabras proporciona una visión general de los temas que los investigadores investigan con frecuencia. De acuerdo con la Figura 4.7 existen cuatro grandes clústers de temas dentro del Nexo. El grupo rojo está conformado por la variante del Nexo “water-energy-food” y se relaciona con el desarrollo sustentable, la seguridad hídrica, energética y alimentaria y destacan la optimización multiobjetivo y el análisis DEA como métodos de investigación. El grupo verde está formado por la variante del Nexo “food-energy-water” y se relaciona con palabras como sustentabilidad y agricultura, destacándose el análisis de ciclo de vida y la huella hídrica como métodos de investigación. El clúster azul del Nexo se relaciona fuertemente con la palabra incertidumbre y destaca el modelado de agentes y la dinámica de sistemas como métodos de investigación. Finalmente, el clúster morado se refiere al tema del cambio climático y se relaciona con palabras como resiliencia y adaptación.

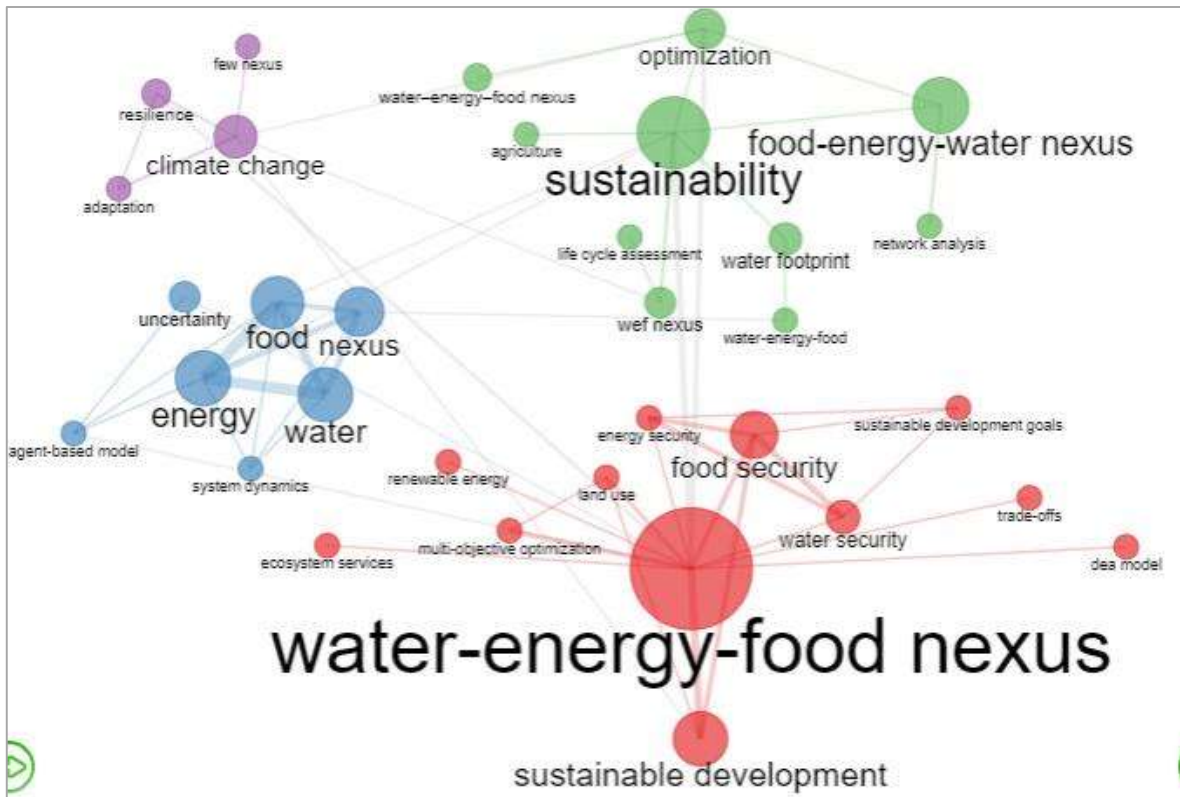


Figura 4.7 Co-ocurrencia de palabras en los estudios de caso Nexu

4.2 Estudios de caso en América Latina

Las revisiones de Literatura anteriores han mostrado que los estudios de caso del Nexu se han realizado en África y en Asia principalmente (Galaiti et al., 2018; Tolba et al., 2018; Wiegleb & Bruns, 2018). Estos estudios han estado motivados por la severa escasez de agua y por la amenaza a la seguridad del Nexu por el desarrollo de infraestructura para la energía hidroeléctrica y el riego (Galaiti et al., 2018). A diferencia de estas regiones, la aplicación del Nexu en América Latina está en su infancia y apenas figura con algunos estudios de caso. Tolba et al. (2018) argumentan que aunque América Latina tiene abundancia de recursos hídricos, terrestres y energéticos; tiene problemas de escasez en regiones particulares. Por ejemplo, en el caso de México el 72% de la disponibilidad de agua está ubicada en el sur mientras que el 75% de la actividad económica, población y tierras de regadío se ubican en el centro o norte del país.

En concordancia con las revisiones anteriores, esta revisión muestra que solamente el 10% de los estudios de caso se han realizado en esta región del mundo, es decir, 25 de los 249 estudios bajo análisis. Estos estudios de caso van desde el año 2014 hasta el 2021, distribuidos en 19 revistas con un promedio de 4 autores por documento. De los estudios de caso en América Latina, el 48% se ha hecho en México y el 40% en Brasil. Entre ambos países abarcan casi el 90% de la investigación del Nexo. El restante 12% se divide equitativamente en estudios de caso hechos en Argentina, Colombia y un estudio que combinó datos de Ecuador, Bolivia y Perú (Cuadro 4.8).

Cuadro 4.8 Estudios de caso del Nexo en América Latina

País	Número de publicaciones	Porcentaje
México	12	48.0
Brasil	10	40.0
Argentina	1	4.0
Colombia	1	4.0
Ecuador, Bolivia y Perú	1	4.0

Siete de los diez autores más relevantes en los estudios de caso en América Latina tienen por afiliación universidades ubicadas en México, en particular, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el Tecnológico de Monterrey y la Universidad Autónoma de Sinaloa. José María Ponce Ortega es el investigador que más estudios de caso produce en la región con un total de 10. Es necesario resaltar que los estudios de caso no solo se realizan por investigadores latinoamericanos, sino que también son hechos por investigadores cuyas afiliaciones corresponden a otros países. En este caso, Sophie Hadfield Hills, Peter Kraft y Catherine Walker tienen por afiliación dos universidades del Reino Unido.

Cuadro 4.9 Los diez autores más productivos en los estudios de caso en América Latina

Autor	Afiliación	País	Número de publicaciones
Ponce Ortega JM	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	México	10
Cansino Loeza B	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	México	4
González Bravo R	Tecnológico de Monterrey	México	4
Sánchez Zarco XG	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	México	4
Mahlknecht J	Tecnológico de Monterrey	México	3
Rubio Castro E	Universidad Autónoma de Sinaloa	México	3
Hadfield Hills S	Universidad de Birmingham	Reino Unido	2
Kraftl P	Universidad de Birmingham	Reino Unido	2
Mora Jacobo EG	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	México	2
Walker C	Universidad de Manchester	Reino Unido	2

Las redes de colaboración entre investigadores son escasas. En general, hay dos grades clústeres de colaboración. El primero muestra la centralidad de José María Ponce Ortega e integra relaciones con Brenda Cansino Loeza, Ramón González Bravo, Eusiel Rubio Castro, Xaté Geraldine Sánchez Zarco, Edgar Geovanni Mora Jacobo y Jürgen Mahlkecht. El segundo clúster no tiene un nodo dominante e integra las redes de colaboración entre Peter Kraftl, Catherine Walker, Cristana Zara y Sophie Hadfield. Ahora bien, en lo que respecta a la colaboración entre países (Figura 4.8), se puede observar la escasez de redes de colaboración. Brasil es el único país de América Latina que tiene relaciones de colaboración con Reino Unido (relación más fuerte), Estados Unidos e Italia.

Country Collaboration Map

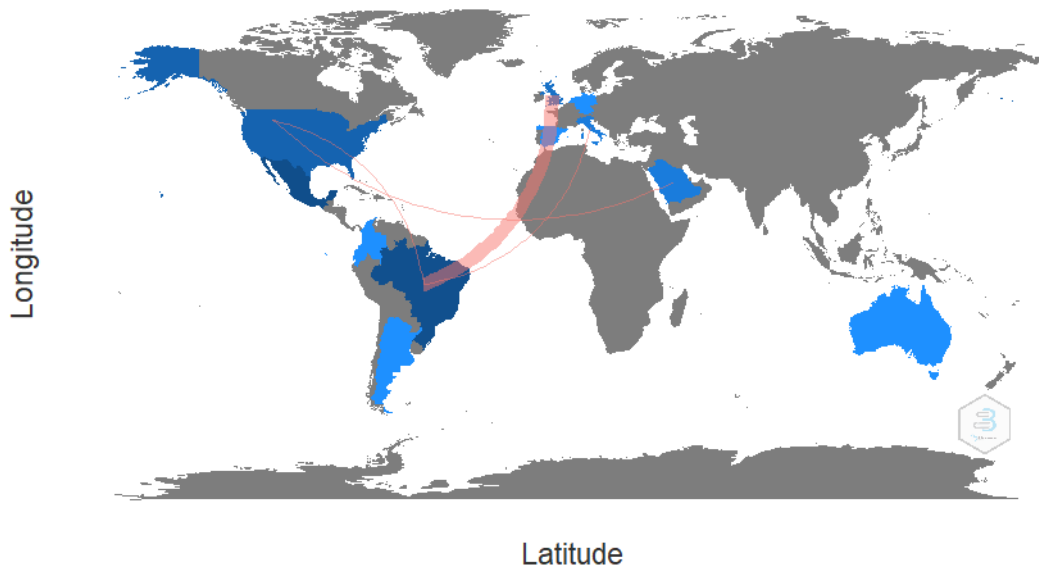


Figura 4.8 Redes de colaboración entre países en los estudios de caso en América Latina

La Figura 4.10 muestra una nube de palabras de los términos más frecuentes en los estudios de caso de América Latina. En esta nube aparecen palabras como optimización, biocombustibles, seguridad hídrica, seguridad energética, seguridad alimentaria, desarrollo sustentable, educación ambiental, por mencionar algunas. Ahora bien, cuando se analiza la aparición conjunta de dos términos en un corpus de texto (análisis de co-ocurrencia) se puede observar la relación entre temas (Figura 4.9). En los estudios de caso de América Latina, el concepto del Nexo aparece fuertemente ligado con el concepto de optimización, y particularmente al concepto de optimización multiobjetivo. En este sentido, los investigadores de América Latina utilizan ampliamente este tipo de modelos matemáticos para encontrar un valor óptimo en situaciones donde puede haber conflicto entre los objetivos económicos, sociales o ambientales. Asimismo, la optimización está relacionada con el concepto de sustentabilidad. Por otro lado, la búsqueda de los objetivos de desarrollo sustentable está relacionada con la seguridad hídrica, energética y alimentaria.

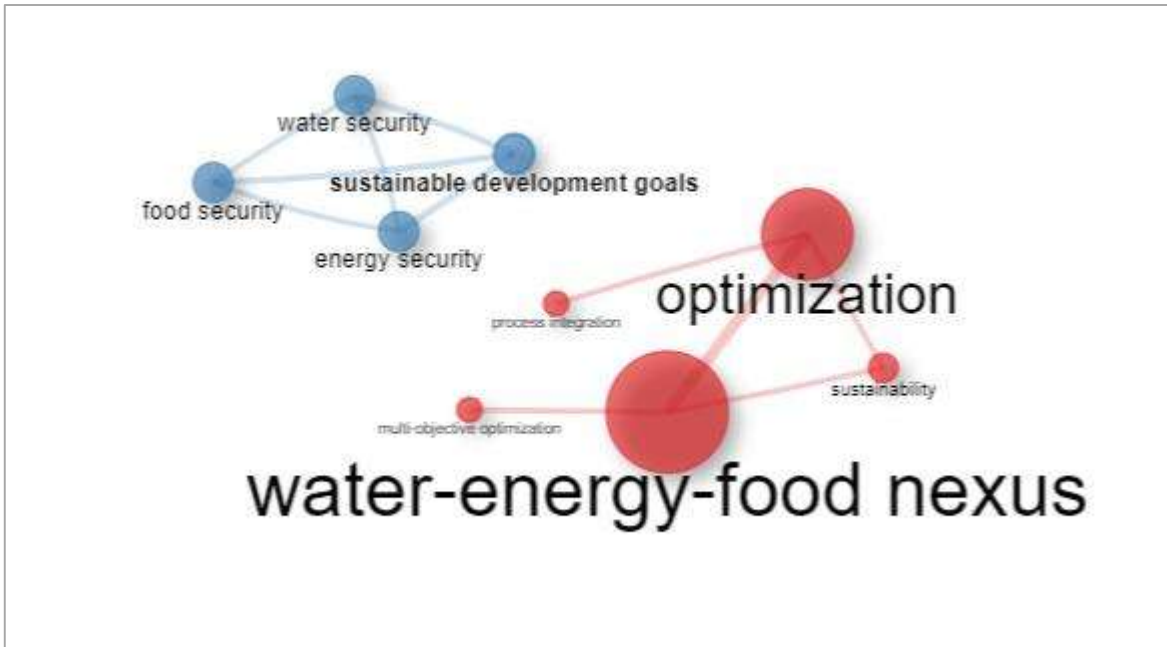


Figura 4.9 Co-ocurrencia de palabras en los estudios de caso en América Latina



Figura 4.10 Nube de palabras de los estudios de caso en América Latina

Cuadro 4.10 Los diez estudios de caso más citados de América Latina

Citas totales	Año	Título	Revista	Autor	País
48	2014	Urban material flow analysis: An approach for Bogotá, Colombia	<i>Ecological Indicators</i>	Alfonso et al.	Colombia
25	2018	Water-energy-food nexus of sugarcane ethanol production in the state of Goiás, Brazil: an analysis with regional input-output matriz	<i>Biomass and Bioenergy</i>	Bellezoni et al.	Brasil
24	2017	Optimization of biofuels production via a water-energy-food nexus framework	<i>Clean Technologies and Environmental Policy</i>	López et al.	México
18	2018	(Re)thinking (re)connection: Young people, "natures" and the water-energy-food nexus in São Paulo, State, Brazil	<i>Transactions of the Institute of British Geographers</i>	Kraftl et al.	Reino Unido
18	2018	Optimization of Water Grid at Macroscopic Level Analyzing Water-Energy-Food Nexus	<i>ACS Sustainable Chemistry and Engineering</i>	González et al.	México
17	2019	Promoting climate change transformation with young people in Brazil: participatory action research through a looping approach	<i>Action Research</i>	Trajber et al.	Reino Unido
13	2019	Strategic planning to improve the Human Development Index in disenfranchised communities through satisfying food, water and energy needs	<i>Food and Bioproducts Processing</i>	Martínez et al.	México
13	2018	Assessment of Collective Production of Biomethane from Livestock Waste for Urban Transportation Mobility in Brazil and the United States	<i>Energies</i>	Pasqual et al.	Brasil
11	2019	Involving the Water-Energy-Food Nexus in Integrating Low-Income and Isolated Communities	<i>ACS Sustainable Chemistry and Engineering</i>	Cansino et al.	México
10	2021	Environmental innovation and the food, energy and water nexus in the food service industry	<i>Resources, Conservation and Recycling</i>	Rosa et al.	Brasil

4.3 Estudios de caso en México

El Cuadro 4.11 muestra la tendencia espacial de los estudios de caso del Nexo en México. Como se puede observar, los estudios de caso se han hecho del centro del país hacia el norte. Los estados en los que se ha desarrollado la investigación Nexo son: Michoacán, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Chiapas, Sinaloa, Nuevo León, Sonora, Guerrero, Coahuila y Durango. Esta tendencia parece confirmar la hipótesis Tolba et al. (2018), según la cual América Latina tiene problemas de escasez en regiones particulares, que en el caso de México es en el norte.

Cuadro 4.11 Los estudios de caso del Nexo en México

Estado de la república	Referencia
Michoacán	Martínez-Guido et al. (2019); Medina-Santana et al. (2020)
Sinaloa	Núñez-López et al. (2021)
Nuevo León	Sánchez-Zarco et al. (2021); Sánchez-Zarco et al. (2020)
Sonora	González-Bravo et al. (2018); Cansino-Loeza et al. (2020)
Guerrero	Sánchez-Zarco et al. (2019); Cansino-Loeza & Ponce-Ortega (2019)
Comarca Lagunera (Coahuila y Durango)	Cansino-Loeza & Ponce-Ortega (2021)
Cuenca del Balsas	López-Díaz et al. (2018)
Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán y Chiapas	Guzmán-Luna et al. (2021)

En lo que respecta a los estudios de caso que se han realizado en Michoacán y Guerrero, la motivación para la realización de la investigación está en los problemas de inseguridad hídrica, alimentaria y energética de una población en situación de pobreza. Martínez-Guido et al. (2019) consideran en su estudio catorce municipios de Michoacán con el Índice de Desarrollo Humano más bajo. Medina-Santana et al. (2020) toman datos para su modelo de una comunidad rural aislada de Michoacán que no tiene luz eléctrica y tiene problemas con el abastecimiento de agua para los hogares. Sánchez-Zarco et al. (2019) y Cansino-Loeza & Ponce-Ortega (2019) presentan dos estudios de caso en Cochoapa el Grande, Guerrero. Esta comunidad se encuentra entre las más pobres del país, donde el 80% de la población se ha visto en la necesidad de migrar. No tienen energía eléctrica, el suministro de agua potable es deficiente y el acceso a los alimentos es complicado.

Ahora bien, los estudios de caso que se han realizado hacia el norte del país están motivados por la escasez de agua y la intensa actividad económica. Núñez-López et al. (2021) toman como caso de estudio la Región Hidrológica 10 que cubre el 85% del estado de Sinaloa, que se considera la zona agrícola más importante del país. Cansino-Loeza & Ponce-Ortega (2021) desarrollan su estudio en la Comarca Lagunera que abarca 5 municipios de Coahuila y 11 municipios de Durango. Esta zona del país se dedica principalmente a la agricultura, la ganadería y la agroindustria. Durante los últimos años ha sufrido de sequías, lo que ha llevado a que 5 de los 10 acuíferos que conforman la región estén sobreexplotados.

Sánchez-Zarco et al. (2021) y Sánchez-Zarco et al. (2020) consideran como área de estudio la zona metropolitana de Monterrey. Pese a que la ciudad tiene uno de los índices de desarrollo humano más altos del país y una gran aportación a la economía por la industria manufacturera, tiene un problema serio con el agua. Por un lado, la ciudad sufre de sequías severas y prolongadas, pero también es susceptible de inundaciones. Por otro lado, ha sobreexplotado los acuíferos y tiene problemas por los derechos del agua del Rio Bravo con Texas y Tamaulipas.

González-Bravo et al. (2018) y Cansino-Loeza et al. (2020) presentan dos estudios de caso en Sonora. Esta zona del país tiene un alto potencial en la producción de alimentos, de hecho, el 90% de la agricultura es de riego. También se dedica a la producción de plata, que es una actividad intensiva en agua. Sin embargo, el cambio de temperatura ha dado lugar a cambios en las precipitaciones y en la disponibilidad de agua. Esto ha provocado que el 30% de los acuíferos esté sobreexplotado y que haya disputas entre Hermosillo y Obregón por el agua para la agricultura, la industria y el uso urbano.

López-Díaz et al. (2018) toman como caso de estudio la cuenca del Balsas. Los investigadores eligieron esta región por el potencial que tiene para la instalación de una biorefinería. Tiene una excelente disponibilidad de recursos hídricos, además de que las condiciones de suelo y clima son favorables para cultivos destinados a los biocombustibles, como es el caso del maíz, el trigo, el sorgo, la caña de azúcar, la jatropha y la palma aceitera.

Finalmente, Guzmán-Luna et al. (2021) presentan una evaluación de la sustentabilidad de la producción de Tilapia. La producción de tilapia tiene una huella hídrica mayor que la producción de carne de vaca, de cerdo o de ave, por lo que no se puede considerar más

sustentable la sustitución de carne por tilapia. En México, el 91% de la producción de Tilapia se realiza en los estados de Michoacán, Nayarit, Jalisco, Sinaloa y Chiapas.

4.4 Dentro del Nexo

¿De qué se habla cuando se habla de agua, de energía y de alimentos? A continuación, se desglosan los elementos del Nexo en diferentes categorías de análisis encontradas en los estudios de caso.

4.4.1 Categoría alimentos

Dentro de las 249 publicaciones del Nexo, uno de los grandes temas abordados en el área de los alimentos son los **cereales**. El 47% de las publicaciones (118 estudios de caso) abordan los cultivos como: arroz, trigo, sorgo, maíz, cebada, avena, mijo, centeno, tef y alpiste. Algunos de estos estudios solo abordan un único cultivo, otros estudian varios cultivos de cereales o una mezcla de cereales con otros alimentos. Por ejemplo, Phetheet et al. (2021) destacan el intenso cultivo de maíz, trigo, soya y sorgo en Kansas en Estados Unidos y la capacidad de este país para influir en el precio mundial de estos alimentos. Lee et al. (2020) estudian la variación en la productividad y los requerimientos de agua y energía del cultivo de arroz representativo de Corea. Purwanto et al. (2019) discuten la seguridad alimentaria en la región de Karawang en Indonesia donde el arroz es el cultivo central. Chai et al. (2020) consideran dentro de su análisis el arroz, el trigo y el maíz en el estudio de caso realizado en China. Udias et al. (2018) analizan el maíz, el sorgo, el mijo y el arroz dentro de la cuenca transfronteriza Mékrou en África occidental. González-Bravo et al. (2018) consideran dentro de la categoría de alimentos, el cultivo de trigo y maíz en el estado de Sonora en México. Algunos de estos cereales están asociados a la categoría de biocombustibles como es el caso del sorgo y el maíz. Por ejemplo, Yan et al. (2018) analizan el potencial del sorgo para producir etanol en China.

Las **frutas y los vegetales** es otro de los grandes grupos de cultivos abordados en el Nexo. De los 249 estudios de caso, 16% (42 estudios) abordan cultivos de frutas y vegetales. Dentro de esta categoría hay una amplia variedad. Por ejemplo, dentro de las frutas se analizan los cultivos de cítricos, berries, manzana, melón, sandía o plátano. Del lado de los vegetales se pueden observar alimentos como jitomate, cebolla, lechuga, calabacita,

pimiento, betabel, chile, por mencionar algunos. En esta categoría es necesario destacar el cultivo de papa como uno de los que aparece con más frecuencia.

Cuadro 4.12 Cultivos de frutas y vegetales de la categoría de alimentos

Cereza	Uva	Papa	Perejil	Calabacín	Okra
Guayaba	Melon	Betabele	Cebollín	Menta	Brócoli
Sandía	Plátano	Cebolla	Berros	Espárragos	Aguacate
Manzana	Limón	Jitomate	Zanahoria	Chile	
Nectarina	Naranja	Lechuga	Nabo	Yuca	
Fresa	Arándano	Calabaza	Berenjena	Camote	
Piña	Coco	Pepino	Pimiento	Calabacita	
Pera	Mandarina	Cilantro	Rábano	Champiñón	

Algunos cultivos como la **caña de azúcar** se mencionan en el 6% de los estudios de caso (16) y este cultivo está fuertemente asociado con la categoría de biocombustibles. Asimismo, otra categoría de cultivos analizados en el Nexo son las **leguminosas**, como la alfalfa, los frijoles, los chícharos, la soya, garbanzos, lentejas, judías que se analizan en el 24% (60 estudios de caso). El 9.6% de los estudios (24) consideran a las **semillas oleaginosas** como la semilla de sésamo, girasol, canola, linaza, mostaza, oliva, las nueces y las almendras. También aparecen **otros cultivos** como el café, el cacao, el tabaco, el té, la palma y el algodón que se abordan en el 10% (27 estudios).

4.4.2 Categoría energía

La categoría energía se dividió en tres subcategorías para su análisis. El primer gran tema que es ampliamente abordado en los estudios de caso son los **combustibles fósiles**. El 40.9% de las publicaciones (153 estudios de caso) incluyen dentro de su análisis ya sea el carbón, el petróleo, el gas natural o algunos derivados como el diésel y la gasolina. Si bien el Nexo aboga la sustitución de combustibles fósiles por opciones bajas en carbono y la promoción de las energías renovables, estos estudios dejan ver el papel preponderante que tienen los combustibles fósiles para la producción de bienes y servicios o para la producción de energía eléctrica en la economía actual. Como bien apunta Mroue et al. (2019) en su análisis sobre la relación energía-agua en Texas, los combustibles fósiles son los que tienen un mayor impacto por la emisión de gases de efecto invernadero pero son las formas de energía que tienen mayores ingresos. Asimismo, estos autores consideran que la

infraestructura energética no está preparada para la revolución de los biocombustibles como el etanol, aunque existan las tecnologías para producirlo a un costo barato.

Ahora bien, el 48.9% (122 estudios de caso) consideran dentro de su análisis la **energía eléctrica**. Conviene resaltar que este código incluyó la producción y el consumo de energía eléctrica. Por un lado, las publicaciones consideran varias fuentes para la generación de electricidad que van desde el carbón, el gas natural, la energía nuclear, las plantas termoeléctricas, el agua, el viento, el sol y los biocombustibles. Por otro lado, la energía eléctrica puede ser utilizada para el consumo doméstico, para la industria, para bombear el agua para los cultivos de riego o para tratar el agua gris.

Finalmente, el 21.6% de los estudios de caso (54) consideran en su estudio a los **biocombustibles**. Dentro de esta categoría se habla de biodiesel, etanol, biogás, biometano, bioqueroseno y aceite vegetal hidratado. Por ejemplo, Bellezoni et al. (2018) analizan el impacto de la expansión del cultivo de caña de azúcar en el estado de Goiás en Brasil, en tanto que Brasil es el segundo país con mayor producción de etanol a nivel mundial. Abdali et al. (2021) analizan el potencial de Iraq para la producción de caña de azúcar para extraer etanol, pues en los últimos años este país ha tenido varias crisis de energía. Yan et al. (2020) concluyen que los rendimientos del agave para producir etanol con comparables con la caña de azúcar o el maíz con un menor consumo de agua y energía fósil, lo que lo hace una opción prometedora para la producción de biocombustibles.

4.4.3 Categoría agua

Con respecto a esta categoría se distinguió entre los tipos de agua. No todos los estudios de caso reportan explícitamente el tipo de agua para su análisis, por lo que será necesario en el futuro desglosarlo con otros términos para obtener un mejor resultado. El 4% de las publicaciones (10 estudios de caso) considera en su análisis el **agua azul**, es decir, el agua que está en ríos, lagos y acuíferos y que se utiliza para la agricultura, el uso doméstico y el uso industrial (Hoff, 2011). Solamente el 1% de las publicaciones (3 estudios) se refieren al **agua verde**, en otras palabras, al agua que viene directamente de la lluvia y que está disponible para las plantas y los ecosistemas naturales y agrícolas (Hoff, 2011). El 5.6% de las publicaciones (14) consideran **ambos tipos de agua**, el agua azul y el agua verde. El

3% (8 estudios) analizan el **agua gris**, es decir, el volumen de agua que ha sido contaminada por la producción de alimentos principalmente⁸.

4.5 Las variables utilizadas en los estudios de caso

A continuación, se enlistan las características de los 70 estudios de caso incluidos para la revisión de las variables.

Cuadro 4.13 Los estudios de caso del Nexo incluidos para la revisión de las variables

I	Referencias	Lugar	Métodos
1	Abdali et al. (2021)	Iraq	Multicriteria decision modelling+matemactical modelling
2	Ahamed et al. (2019)	Cuenca Denver, Estados Unidos	Urban system framework
3	Alfonso & Pardo (2014)	Colombia	Urban material flow analysis
4	Allam & Eltahir (2019)	Cuenca del Nilo	Optimization model
5	Armengot et al. (2021)	Bolivia	Life cycle assessment
6	Bakhshianlamouki et al. (2020)	Irán	System dynamics model+ Interviews+CLD
7	Bazzana et al. (2020)	Etiopía	Agent based model+scenarios
8	Bazzana et al. (2021)	Etiopía	Agent based model+scenarios
9	Bellezoni et al. (2018)	Brasil	Life cycle assessment
10	Benites-Lazaro et al. (2018)	Brasil	Text mining
11	Bozeman et al. (2020)	Estados Unidos	Life cycle assessment
12	Brear & Mbonane (2019)	Esuatini	Ethnography
13	Cabello et al. (2019)	España	Relational analysis
14	Chen et al. (2018)	China	PSR model+ cloud-matter element model; coordination degree model
15	Chen & Chen (2020)	China	System dynamics model
16	Chen & Chen (2021)	Cuenca del rio Yangtze, China	Symbiotic índices

⁸ Los códigos de análisis de la categoría de agua aún están en desarrollo. Las palabras utilizadas para determinar el uso consuntivo y no consuntivo no fueron útiles ni tampoco para determinar el uso del agua subterránea y superficial.

17	Daher et al. (2020)	Estados Unidos	Survey
18	Das et al. (2020)	Embalse Hirakud del rio Mahanadi, India	Sustainability index+ Multicriteria decision modelling
19	Font Vivanco et al. (2019)	Estados Unidos y China	Input-output analysis
20	Gallagher et al. (2020)	Cuenca Mekong	Causal loop diagrams+scenarios
21	Gao et al. (2021)	El río Lancang-Mekong	Optimization model+scenarios
22	González-Rosell et al. (2020)	España	System dynamics model
23	González-López & Giampietro, (2017)	Laos	MuSIASEM
24	Guzmán-Luna et al. (2021)	México	Water footprint, energy footprint, land footprint
25	Hailemariam et al. (2019)	Etiopía	Ecological indicators
26	Sadeghi et al. (2020)	Cuenca Markazi, Irán	Linear Optimization model
27	Hannibal & Portney (2019)	Estados Unidos	Survey+Statistical analysis
28	Hirwa et al. (2021)	África	Analytic hierarchy process
29	Hua et al. (2021)	China	Water footprint
30	Ji et al. (2020)	China	Fuzzy linear fractional programming model
31	Leung Pah Hang et al. (2017)	Reino Unido	Insight-based approach
32	Li et al. (2016)	China	Data envelopment analysis
33	Li et al. (2018)	Estados Unidos	Process-level data collection
34	Li et al. (2019)	China	Synergetic model
35	Li et al. (2021)	China	Indeterminado
36	Liu et al. (2020)	China	Interval-stochastic-fuzzy policy analysis model
37	Mguni et al. (2020)	Uganda	Observation, interviews, focus group
38	Mroue et al. (2019)	Estados Unidos	Energy Portfolio Assessment Tool
39	Mukuve & Fenner (2015)	Uganda	Calorific-demand analysis+resource demand modelling
40	Muthee et al. (2021)	Gambia	Qualitative research
41	Phetheet et al. (2021)	Estados Unidos	Agent based model+scenarios
42	Hannibal & Portney (2019)	Estados Unidos	Survey+ Statistical analysis
43	Purwanto et al. (2018)	Indonesia	Location quotient+ competitive position analysis
44	Ramirez et al. (2021)	North Western Sahara Aquifer System	GIS-based methods+scenarios

45	Rosa et al. (2021)	Brasil	Structural equation modeling
46	Rubinsin et al. (2021)	Malasia	Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)+Multi-Objective Oil Palm Biomass Value Chains
47	Ryan et al. (2021)	Estados Unidos	Public Participation in Scientific Research framework
48	Sánchez-Zarco et al. (2019)	México	Multi-objective optimization
49	Sánchez-Zarco et al. (2021)	México	Multi-objective optimization
50	Schlör et al. (2018)	Alemania	Indices
51	Schull et al. (2020)	Estados Unidos	WEF Nexus Tool 2.0
52	Shu et al. (2021)	Reino Unido	Index+ Analytical Hierarchical Process
53	Siderius et al. (2021)	África	Hydrological modeling
54	Slorach et al. (2020)	Reino Unido	Life cycle assessment+ Multi-criteria decision analysis
55	Sušnik et al. (2021)	Letonia	System dynamics model
56	Tortorella et al. (2020)	Italia	TIMES-WEF model
57	Udias et al. (2018)	Cuenca Mékrou, África	Decision Support System
58	Wolde et al. (2021)	Cuenca Gidabo, África	Social network analysis
59	Villamor et al. (2020)	Cuenca Snake, Estados Unidos	EROI
60	Wang et al. (2021)	China	Bayesian network model
61	Sánchez-Zarco et al. (2020)	México	Security índices
62	Wu et al. (2021)	Canada	System dynamics model
63	Xiao et al. (2019)	China	Input-output analysis
64	Yan et al. (2018)	China	Life cycle assessment+ Decision Support System
65	Yang et al. (2016)	Cuenca Brahmaputra, Asia	hydro-economic model+scenarios
66	Yang et al. (2018)	Cuenca del Niger, África	Agent based model+ hydro-economic model
67	Zhang et al. (2019)	Cuenca Manas, China	Water footprint
68	Zhang et al. (2021)	China	Causal loop diagrams
69	Zhang & Vesselinov (2017)	Desconocido	Optimization model
70	Zheng et al. (2019)	Cuenca del rio Yangtze, China	Data envelopment analysis

A partir del análisis de estos 70 estudios de caso se identificaron cuatro categorías de variables: climáticas, ecológicas, económicas y sociales. Es conveniente resaltar que esta primera conceptualización aún está en construcción, por lo que en algunos casos no se incluyó el análisis de frecuencia.

En el Cuadro 4.14 aparecen las variables identificadas dentro de la categoría “Climáticas”. Los investigadores integran dentro de los modelos utilizados variables como la precipitación, la emisión de gases de efecto invernadero, la temperatura, la evapotranspiración, la velocidad del viento, la humedad, la radiación solar y la probabilidad de inundación. De estas variables, la precipitación fue utilizada en el 52% de los estudios de caso. Le siguen la emisión de gases de efecto invernadero, la temperatura y la evapotranspiración como las variables más utilizadas.

Cuadro 4.14 Variables climáticas utilizadas en los estudios de caso

Climáticas	Total de publicaciones	Porcentaje
Precipitation	37	52.9
GHG Emissions	27	38.6
Temperature	18	25.7
Evapotranspiration	14	20.0
Wind speed	7	10.0
Humidity	6	8.6
Solar radiation	5	7.1
Flooding occurrence	1	1.4

El Cuadro 4.15 resume las variables dentro de la categoría “Ecológicas”. Esta categoría de se refiere a las variables utilizadas para operacionalizar las categorías de agua, energía y alimentos. La primera variable identificada es el consumo directo de energía en la agricultura. Esta variable engloba las semillas, los fertilizantes, los pesticidas y los herbicidas. La segunda variable es el consumo indirecto de energía en la agricultura e incluye el trabajo, el diésel y la energía eléctrica para el riego. La primera variable aparece en el 35% de los estudios de caso, mientras que el consumo indirecto de energía se presenta en el 15% de los estudios de caso. Dentro de la agricultura, los investigadores también incluyen el consumo de agua utilizado por los cultivos, la cantidad de tierra, los rendimientos de los cultivos y la producción total. Dentro de la categoría de energía, los investigadores incluyen el consumo de agua por cada tipo de fuente de energía. Por ejemplo, la cantidad de agua

consumida por el petróleo, el gas, el carbón, los biocombustibles, la energía nuclear, eólica, solar e hidroeléctrica. Ahora bien, dependiendo de la escala de análisis también se utiliza como variable de estudio el consumo de electricidad, agua y alimentos per cápita.

Cuadro 4.15 Variables ecológicas utilizadas en los estudios de caso

Ecológicas	Total de publicaciones	Porcentaje
Direct energy consumption from crops	25	35.7
Indirect energy consumption from crops	11	15.7
Crop water demand	20	28.6
Electricity consumption per capita	1	1.4
Water consumption per capita	2	2.9
Food consumption per capita	2	2.9
Domestic water demand	4	5.7
Industrial water demand	3	4.3
Crop yields	24	34.3
Crop land use area	12	17.1
Total crop production	16	22.9
Oil water consumption	1	1.4
Natural gas water consumption	1	1.4
Coal water consumption	1	1.4
Biofuels water consumption	1	1.4
Nuclear water consumption	1	1.4
Wind water consumption	1	1.4
Hidro water consumption	1	1.4
Solar water consumption	1	1.4
Water extracted	2	2.9

Las variables "Económicas" se presentan en el cuadro 4.16. Se identificaron 10 variables. Los investigadores incluyen dentro de sus modelos el Producto Interno Bruto o el Producto Interno Bruto per cápita. Asimismo, se integran variables como el costo de producción o el costo total. Lo que se considera en los estudios de caso dentro de estas variables varía de estudio en estudio. Una de las variables relevantes en esta categoría es el precio. Se puede desglosar por precio de los cultivos, precio por fuente de energía o el precio del agua.

Cuadro 4.16 Variables económicas utilizadas en los estudios de caso

Económicas	Total de publicaciones	Porcentaje
Gross domestic product	11	15.7
Gross domestic product per capita	1	1.4
Total cost	8	11.4
Production cost	13	18.6
Crop price	14	20.0
Electricity price	3	4.3
Diesel price	1	1.4
Oil price	1	1.4
Natural Gas price	1	1.4
Water price	3	4.3

Finalmente, el Cuadro 4.17 resume las variables "Sociales". Dentro de esta categoría se encontró que se utilizan variables como el total de la población, el crecimiento poblacional, el nivel salarial, la tasa de personas en situación de pobreza, la tasa de personas desempleadas y el nivel de urbanización.

Cuadro 4.17 Variables sociales utilizadas en los estudios de caso

Sociales	Total de publicaciones	Porcentaje
Population	21	30.0
Population growth rate	8	11.4
Wage level	2	2.9
Poverty rate	1	1.4
Unemployment rate	1	1.4
Urbanization rate	2	2.9

Con base en la revisión realizada es posible observar que, en este conjunto de estudios, los investigadores no solo utilizan variables ecológicas para determinar las interdependencias en el agua, la energía y los alimentos; sino que también usan otras variables como las climáticas, las económicas y las sociales. Aunque en esta revisión aún no hay una claridad total de las dimensiones y las variables que las integran es un primer esfuerzo por su sistematización.

5 Discusión

5.1 Tendencias temáticas y espaciales de los estudios de caso

Wiegleb & Bruns (2018) hacen notar en su revisión las diferencias geográficas acerca de dónde se produce el conocimiento del Nexo y dónde se aplica. Las autoras señalan que las publicaciones del Nexo provienen de países como Estados Unidos, Alemania y China, pero los estudios de caso no se producen ni en América, ni en Europa ni en África, sino en países asiáticos como China, India, Bangladesh o Kirguistán. En otra revisión de ese mismo año, Galaitsi et al. (2018) muestran que los estudios de caso se distribuyen por Asia, África y Europa y, en menor medida, en América y Oceanía. Estas dos revisiones tienen resultados distintos.

Los resultados de esta revisión muestran que los estudios de caso se distribuyen alrededor del mundo, pero ciertamente, se realizan principalmente en Asia (46%). Este resultado concuerda con lo Galaitsi et al. (2018) y Wiegleb & Bruns (2018). Una de las posibles explicaciones de que Asia concentre casi la mitad de los estudios de caso es porque aproximadamente el 60% de la población mundial vive en este continente. Además, se espera que la mitad del crecimiento poblacional para 2050 ocurra solo en nueve países, tres de los cuales son asiáticos: India, Indonesia y Pakistán (Brears, 2018), lo que añadirá más presión a los recursos de agua, energía y alimentos. Asimismo, China incorporó el Nexo en su Programa Nacional de Investigación y Desarrollo desde el 2017 (Chen et al., 2019), lo que puede ser una de las razones que motiven la investigación en ese país.

Ahora bien, aunque a nivel mundial Estados Unidos, Reino Unido y Alemania son los países que más publicaciones tienen del Nexo (Chen et al., 2019; Itayi et al., 2021; Sarkodie & Owusu, 2020, Proctor et al., 2021), entre ambas regiones solo producen el 27% de los estudios de caso. Quizás por esta tendencia espacial, investigadoras como Wiegleb & Bruns (2018) afirman que el Nexo está formado en gran medida por conocimiento occidental pero que se aplica en regiones específicas del sur global. Curiosamente solo el 14% de los estudios se producen en África a pesar de ser una zona del planeta más árida, como la

región MENA (Tolba et al., 2018) y donde se espera que ocurra más de la mitad del crecimiento de la población para 2050 (Brears, 2018).

Ahora bien, aunque América del Norte y Europa solo produzcan el 27% de éstos, los estudios de caso de estas regiones son los que reciben un mayor número de citas a nivel mundial. Mientras que un estudio de caso de Estados Unidos recibe en promedio 19 citas, un caso de estudio en México recibe en promedio 6 citas. Este fenómeno también se puede apreciar a nivel de los investigadores. Por ejemplo, Rabi Mohtar (Universidad de Texas A&M) es el tercer autor más productivo en publicaciones con un total de 6, pero es quien recibe más citas en el mundo con un total de 213. Mientras que José María Ponce Ortega (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México) quien es el autor más productivo a nivel mundial con un total de 10 publicaciones solo recibe 65 citas, es decir, recibe tres veces menos.

Es necesario destacar que, aunque los estudios de caso se distribuyen alrededor del mundo, las redes de colaboración entre investigadores se articulan a partir de tres países: Estados Unidos, China y Reino Unido. Aunque estas redes de colaboración entre investigadores aún son escasas. Los clústeres de investigación están formados en su gran mayoría por dos o tres investigadores. Esto se puede deber a que el Nexo es un enfoque de investigación muy joven que se ha venido desarrollando a partir de los últimos cinco años. Por otro lado, también puede deberse al poco acuerdo en la comunidad académica sobre su significado y sobre los elementos que deben integrarlo. Parece ser que este marco de estudio aún está en vías de consolidación y prevalece la dispersión conceptual.

5.2 La emergencia del Nexo en el contexto de la crisis alimentaria

El Nexo se popularizó en un contexto donde los precios mundiales de los alimentos se dispararon hasta un 40% en el 2007. Este incremento súbito de precios tuvo muchas implicaciones negativas sobre otros recursos, como el acaparamiento de tierras y el aumento de la competencia por los recursos hídricos y energéticos (Ringler et al., 2013). Particularmente, los precios de los cereales se vieron muy afectados dejando a una amplia proporción de la población mundial incapaz de satisfacer sus necesidades. El precio del arroz incrementó 217%, el del trigo 136%, el del maíz 125% y el de la soya 107% (Mohtar &

Daher, 2012). Una de las razones que explicaron este incremento de precios fue el aumento de los precios de petróleo. Varios países, entre ellos Estados Unidos y Europa, iniciaron políticas para limitar su dependencia del petróleo y desarrollar energías alternativas como los biocombustibles (Mohtar & Daher, 2012).

Este escenario internacional puede ser una de las razones que explique la importancia del tema de los cereales dentro de los estudios de caso del Nexo. Casi la mitad de las investigaciones (47%) consideran dentro de sus análisis algunos cereales como el arroz, trigo, sorgo, maíz, cebada, avena, mijo, centeno, tef y alpiste. Estos cereales no solo son de importancia nutricional, sino que también se relacionan con la producción de biocombustibles, como es el caso del sorgo y el maíz. Es posible que una década después, la volatilidad de los precios de los alimentos siga explicando el tipo de cultivos que se analizan dentro del Nexo.

5.3 Las variables dentro de los estudios de caso del Nexo

A pesar de que los estudios de caso del Nexo proceden de diversas disciplinas y utilizan múltiples métodos para la operacionalización del marco, llama la atención que en su mayoría incorporan variables climáticas, económicas y sociales para el análisis de las interdependencias entre el agua, la energía y los alimentos. De acuerdo con la evidencia, existe una motivación de los investigadores para incorporar en sus estudios otras fuentes de perturbación para el Nexo que van desde las demográficas, el crecimiento económico, y el cambio climático (Howarth & Monasterolo, 2017).

Por otro lado, se pueden revisar algunas críticas al Nexo a la luz de esta evidencia. Por ejemplo, Wichelns (2017) argumenta que desde la visión de la agricultura el enfoque del Nexo está dejando fuera muchos recursos que son indispensables para producir alimentos como la mano de obra, el capital, las semillas, los fertilizantes y los herbicidas. De acuerdo con las variables que utilizan los investigadores, en la práctica sí se consideran estos elementos. Véase por ejemplo la investigación de Phetheet et al. (2021) quienes analizan la producción de cereales en Kansas, Estados Unidos. Dentro del costo de producción, los autores consideran los fertilizantes, herbicidas y pesticidas y el trabajo. Por otro lado, Bazzana et al. (2020) realizan una simulación para conocer el impacto de la creación de una presa hidroeléctrica sobre los medios de vida de la población de Etiopía. En los costos de

producción consideran el trabajo, las semillas, los fertilizantes y los pesticidas. Armengot et al. (2021) considera el uso de herbicidas, insecticidas y fertilizantes para determinar el impacto ambiental del cultivo de cacao. Hailemariam et al. (2019) que considera pesticidas, herbicidas, semillas y trabajo para la producción de caña de azúcar. Sadeghi et al. (2020) que considera semillas, pesticidas, fertilizantes, trabajo para la producción de 14 cultivos en Irán.

De los 70 artículos analizados, 34.2% (24 documentos) consideran dentro de su análisis el consumo directo de energía en la agricultura, el cual incluye semillas, fertilizantes, herbicidas y pesticidas. Por otro lado, 11 documentos consideran el consumo indirecto de energía dentro del cual se incluye el trabajo, el diésel y la electricidad para el riesgo. Aunque de momento no existe una evidencia concluyente, porque es necesario revisar las 249 publicaciones, el Nexo sí considera el capital, el trabajo y la dotación de recursos naturales para la producción de alimentos.

5.4 La sustentabilidad dentro del Nexo

Uno de los grandes temas a discutir es si en la práctica el Nexo permite comprender la compleja relación que existe entre el ser humano y el medio ambiente, es decir, si este enfoque contribuye a comprender los problemas de la sustentabilidad. Ciertamente, el Nexo se considera como una vía para alcanzar el desarrollo sustentable (Hoff, 2011). En primer lugar, la palabra "sustentabilidad" y "desarrollo sustentable" están presentes dentro de los diez términos que más utilizan los investigadores y dentro de los diez términos que más se utilizan en la indexación de los estudios de caso en Scopus. Resulta conveniente resaltar que en el análisis de co-ocurrencia, el término "water-energy-food nexus" aparece asociado con la palabra "sustainable development", mientras que la variante "food-energy-water nexus" aparece asociada con la palabra "sustainability". Al menos en el terreno conceptual, la sustentabilidad es un término que está presente dentro de los estudios de caso.

Ahora bien, desde las variables utilizadas en los estudios de caso, el Nexo no solo considera los flujos físicos entre agua, energía y alimentos, sino que también considera variables climáticas, sociales y económicas. A la luz de estos resultados, se podría inferir que el Nexo considera las tres grandes esferas del desarrollo sustentable, es decir, la esfera ambiental, la esfera económica y la esfera social.

Conclusiones

El Nexo agua-energía-alimentos se concibe como un marco de investigación para analizar las interdependencias entre el agua, la energía y los alimentos, así como las sinergias y compensaciones que surgen al momento de su gestión. En esta investigación se abordó la necesidad de comprender cómo se ha operacionalizado este marco durante la última década. Para ello se revisaron 249 estudios de caso para comprender las tendencias temáticas y espaciales en la investigación, se desglosaron las categorías de agua, energía y alimentos para comprender qué es lo que se incluye en la práctica en cada una de ellas y de una muestra de 70 estudios se identificaron algunas de las variables con las que los investigadores hacen operativo este marco. Este proceso se realizó mediante la guía del Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones.

Si bien este marco se popularizó después de la conferencia celebrada en Bonn, Alemania en el 2011, los estudios de caso se comenzaron a realizar a partir del 2014, pero no es sino hasta el 2017 que ha aumentado sustancialmente el número de publicaciones. La investigación se ha realizado en más de 60 países, siendo China, Estados Unidos y Reino Unido los países con un mayor número de publicaciones. Los principales métodos que se utilizan en estas investigaciones son la huella hídrica, la optimización multiobjetivo, en análisis envolvente de datos (DEA), el análisis de ciclo de vida, el modelado de agentes y la dinámica de sistemas. En términos de regiones del mundo, Asia concentra casi la mitad de los estudios de caso, mientras que en América Latina solo se realiza el 10% de la investigación Nexo, donde México ha aportado un total de 12 publicaciones.

Asimismo, dentro de los estudios de caso se abordan una amplia variedad de temas. Dentro de la categoría de los alimentos se abordan cultivos de cereales, frutas y verduras, leguminosas y semillas oleaginosas, principalmente. Dentro de la categoría energía se analiza la producción y consumo de energía eléctrica que proviene de diversas fuentes (combustibles fósiles, energía nuclear, eólica, solar, hídrica y de los biocombustibles). También se estudian los combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo; así como los biocombustibles dentro de los que destaca el biodiesel, etanol, biogás,

biometano, bioqueroseno y aceite vegetal hidratado. Dentro de la categoría agua se destaca el análisis por tipos de agua, donde se estudia el agua azul, agua verde y agua gris.

Por otro lado, en los casos de estudio revisados existe una coincidencia en la forma en que los investigadores operacionalizan el marco Nexo. Si bien se consideran variables que son propiamente del agua, la energía y los alimentos; el Nexo va mucho más allá y toma en consideración variables climáticas (precipitación, temperatura, emisión de gases de efecto invernadero), variables económicas (precio, costo de producción, producto interno bruto) y variables sociales (población, salarios, pobreza, urbanización y desempleo). En este sentido, el Nexo incorpora otras fuentes de perturbación que van desde las demográficas, las económicas y el cambio climático.

Los resultados de este estudio sugieren que el Nexo no es una palabra de moda carente de significado como se ha señalado, sino que es un marco en construcción que se ha desarrollado a partir de las contribuciones de la comunidad científica para comprender los problemas de la sustentabilidad. Sin duda el hecho de que en una década solo se hayan producido 249 estudios de caso alrededor del mundo habla de un marco en desarrollo que aún es muy joven. Ciertamente el Nexo dista mucho de ser un marco consolidado. Por un parte, aún prevalece la dispersión conceptual y no hay un acuerdo en la comunidad académica sobre si debe incluir solamente el agua, la energía y los alimentos o debe ir mucho más allá, lo cual lleva a una variación importante en la terminología. Por otra parte, la colaboración entre la comunidad científica es escasa. Los grupos de investigación están formados en su mayoría por dos o tres investigadores de forma aislada, lo cual dificulta la consolidación. Finalmente, aunque se aboga por el uso de métodos mixtos para comprender el Nexo, la evidencia muestra que la mayor parte de las investigaciones utiliza métodos cuantitativos y se desdeña el uso de métodos cualitativos.

Los resultados que se presentaron a lo largo de esta investigación son apenas los inicios para comprender cómo se ha llevado a la práctica el Nexo. Este trabajo no está concluido y solo se ha respondido parcialmente a las preguntas de investigación, en este sentido, se requiere de una mayor profundidad para mejorar el entendimiento del Nexo. Para futuras investigaciones sería deseable:

- a. Desarrollar herramientas para evaluar la calidad de los estudios de caso del Nexo. Hasta donde se sabe, nadie ha hecho una propuesta donde se evalúen los sesgos en los que los investigadores del Nexo pueden incurrir en la práctica. Esta aportación metodológica contribuiría sustancialmente a las revisiones de literatura futuras.
- b. Profundizar en el estudio de las variables que los investigadores utilizan en los estudios de caso.
- c. Analizar las colaboraciones entre la comunidad científica para discutir cómo se transfiere el conocimiento.
- d. Discutir en qué grado este marco que aboga por la eficiencia en el uso de los recursos permite entender los problemas de la sustentabilidad a la luz de las variables de estudio.

Referencias

- Abdali, H., Sahebi, H., & Pishvae, M. (2021). The water-energy-food-land nexus at the sugarcane-to-bioenergy supply chain: A sustainable network design model. *Computers and Chemical Engineering*, *145*. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.107199>
- Ahamed, S., Sperling, J., Galford, G., Stephens, J. C., & Arent, D. (2019). The food-energy-water nexus, regional sustainability, and hydraulic fracturing: An integrated assessment of the Denver region. *Case Studies in the Environment*, *3*(1). <https://doi.org/10.1525/cse.2018.001735>
- Albrecht, T. R., Crootof, A., & Scott, C. A. (2018). The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. In *Environmental Research Letters* (Vol. 13, Issue 4, p. 043002). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa9c6>
- Alfonso, W. H., & Pardo, C. I. (2014). Urban material flow analysis: An approach for Bogotá, Colombia. *Ecological Indicators*, *42*, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.035>
- Allam, M. M., & Eltahir, E. A. B. (2019). Water-energy-food nexus sustainability in the upper Blue Nile (UBN) basin. *Frontiers in Environmental Science*, *7*(JAN). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00005>
- Allouche, J., Middleton, C., & Gyawali, D. (2015). Technical Veil, Hidden Politics: Interrogating the Power Linkages behind the Nexus. *Water Alternatives*, *8*(1), 610–626. www.water-alternatives.org
- Armengot, L., Beltrán, M. J., Schneider, M., Simón, X., & Pérez-Neira, D. (2021). Food-energy-water nexus of different cacao production systems from a LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, *304*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126941>
- Aveyard, H. (2007). *Doing a literature review in health and social care: a practical guide*. McGraw-Hill/Open University Press.
- Bakhshianlamouki, E., Masia, S., Karimi, P., van der Zaag, P., & Sušnik, J. (2020). A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran. *Science of the Total Environment*, *708*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134874>
- Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., Steduto, P., Mueller, A., Komor, P., Tol, R. S. J., & Yumkella, K. K. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*, *39*(12), 7896–7906. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>

- Bazzana, D., Gilioli, G., Simane, B., & Zaitchik, B. (2021). Analyzing constraints in the water-energy-food nexus: The case of eucalyptus plantation in Ethiopia. *Ecological Economics*, *180*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106875>
- Bazzana, D., Gilioli, G., & Zaitchik, B. (2020). Impact of hydropower development on rural livelihood: An agent-based exploration. *Journal of Cleaner Production*, *275*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122333>
- Bellezoni, R. A., Sharma, D., Villela, A. A., & Pereira Junior, A. O. (2018). Water-energy-food nexus of sugarcane ethanol production in the state of Goiás, Brazil: An analysis with regional input-output matrix. *Biomass and Bioenergy*, *115*, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.017>
- Benites-Lazaro, L. L., Giatti, L., & Giarolla, A. (2018). Topic modeling method for analyzing social actor discourses on climate change, energy and food security. *Energy Research and Social Science*, *45*, 318–330. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.031>
- Benson, D, Gain, A. K., & Rouillard, J. J. (2015). Water governance in a comparative perspective: From IWRM to a “nexus” approach? *Water Alternatives*, *8*(1), 756–773. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84922311520&partnerID=40&md5=7aada778bea6583a10ebfbbe82a14f9d>
- Benson, David, Gain, A. K., & Rouillard, J. J. (2015). Water Governance in a Comparative Perspective: From IWRM to a “Nexus” Approach? *Water Alternatives*, *8*, 756–773. www.water-alternatives.org
- Bozeman, J. F., Bozeman, R., & Theis, T. L. (2020). Overcoming climate change adaptation barriers: A study on food–energy–water impacts of the average American diet by demographic group. *Journal of Industrial Ecology*, *24*(2), 383–399. <https://doi.org/10.1111/jiec.12859>
- Breiar, M. R., & Mbonane, B. M. (2019). Social values, needs, and sustainable water–energy–food resource utilisation practices: a rural Swazi case study. *Sustainability Science*, *14*(5), 1363–1379. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00717-5>
- Brears, R. C. (2018). *The green economy and the water-energy-food nexus* (Palgrave Macmillan (Ed.)). Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/978-1-137-58365-9>
- Cabello, V., Renner, A., & Giampietro, M. (2019). Relational analysis of the resource nexus in arid land crop production. *Advances in Water Resources*, *130*, 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.06.014>
- Cairns, R., & Krzywoszynska, A. (2016). Anatomy of a buzzword: The emergence of ‘the water-energy-food nexus’ in UK natural resource debates. *Environmental Science and Policy*, *64*, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.07.007>
- Cansino-Loeza, B., & Ponce-Ortega, J. M. (2019). Involving the Water-Energy-Food Nexus in Integrating Low-Income and Isolated Communities. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *7*(1), 1399–1418. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05134>

- Cansino-Loeza, B., & Ponce-Ortega, J. M. (2021). Sustainable assessment of Water-Energy-Food Nexus at regional level through a multi-stakeholder optimization approach. *Journal of Cleaner Production*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125194>
- Cansino-Loeza, B., Sánchez-Zarco, X. G., Mora-Jacobo, E. G., Saggiante-Mauro, F. E., González-Bravo, R., Mahlknecht, J., & Ponce-Ortega, J. M. (2020). Systematic Approach for Assessing the Water-Energy-Food Nexus for Sustainable Development in Regions with Resource Scarcities. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(36), 13734–13748. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c04333>
- Chai, J., Shi, H., Lu, Q., & Hu, Y. (2020). Quantifying and predicting the Water-Energy-Food-Economy-Society-Environment Nexus based on Bayesian networks - A case study of China. *Journal of Cleaner Production*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120266>
- Chandler, J., & Hopewell, S. (2013). Cochrane methods - twenty years experience in developing systematic review methods. *Systematic Reviews* 2013 2:1, 2(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-2-76>
- Chang, Y., Li, G., Yao, Y., Zhang, L., & Yu, C. (2016). Quantifying the water-energy-food nexus: Current status and trends. In *Energies* (Vol. 9, Issue 2, pp. 1–17). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en9020065>
- Chen, D., Zhang, P., Luo, Z., Zhang, D., Bi, B., & Cao, X. (2019). Recent progress on the water-energy-food nexus using bibliometric analysis. *Current Science*, 117(4), 577–586. <https://doi.org/10.18520/CS/V117/I4/577-586>
- Chen, J., Yu, X., Qiu, L., Deng, M., & Dong, R. (2018). Study on vulnerability and coordination of water-energy-food system in northwest China. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103712>
- Chen, W., & Chen, Y. (2021). Pre-warning measurement of water resources security in the yangtze river basin from the perspective of water-energy-food symbiosis. *Water (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040475>
- Chen, Y., & Chen, W. (2020). Simulation study on the different policies of Jiangsu Province for a dynamic balance of water resources under the water-energy-food nexus. *Water (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/W12061666>
- Daccache, A., Ciurana, J. S., Rodriguez Diaz, J. A., & Knox, J. W. (2014). Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region. *Environmental Research Letters*, 9(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124014>
- Daher, B., Hannibal, B., Mohtar, R. H., & Portney, K. (2020). Toward understanding the convergence of researcher and stakeholder perspectives related to water-energy-food (WEF) challenges: The case of San Antonio, Texas. *Environmental Science and Policy*, 104, 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.020>
- Daher, B. T., & Mohtar, R. H. (2015). Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding

- integrative resource planning and decision-making. *Water International*, 40(5–6), 748–771. <https://doi.org/10.1080/02508060.2015.1074148>
- Das, A., Sahoo, B., & Panda, S. N. (2020). Evaluation of Nexus-Sustainability and Conventional Approaches for Optimal Water-Energy-Land-Crop Planning in an Irrigated Canal Command. *Water Resources Management*, 34(8), 2329–2351. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02547-y>
- De Laurentiis, V., Hunt, D. V. L., & Rogers, C. D. F. (2016). Overcoming food security challenges within an energy/water/food nexus (EWFN) approach. *Sustainability (Switzerland)*, 8(1), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su8010095>
- Endo, A., Tsurita, I., Burnett, K., & Orencio, P. M. (2017). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.010>
- Endo, A., Yamada, M., Miyashita, Y., Sugimoto, R., Ishii, A., Nishijima, J., Fujii, M., Kato, T., Hamamoto, H., Kimura, M., Kumazawa, T., & Qi, J. (2020). Dynamics of water–energy–food nexus methodology, methods, and tools. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 13, pp. 46–60). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.004>
- European Report on Development. (2012). *Confronting Scarcity: Managing Water, Energy and Land for Inclusive and Sustainable Growth*. <https://doi.org/10.2841/40899>
- Fan, J.-L., Wang, Q., & Zhang, X. (2021). A bibliometric analysis of the water-energy-food nexus based on the SCIE and SSCI database of the Web of Science. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 26(2). <https://doi.org/10.1007/s11027-021-09938-5>
- Fasel, M., Bréthaut, C., Rouholahnejad, E., Lacayo-Emery, M. A., & Lehmann, A. (2016). Blue water scarcity in the Black Sea catchment: Identifying key actors in the water-ecosystem-energy-food nexus. *Environmental Science & Policy*, 66, 140–150. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2016.09.004>
- Font Vivanco, D., Wang, R., Deetman, S., & Hertwich, E. (2019). Unraveling the Nexus: Exploring the Pathways to Combined Resource Use. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 241–252. <https://doi.org/10.1111/jiec.12733>
- Galaitis, S., Veysey, J., & Huber-Lee, A. (2018). *Where is the added value? A review of the water-energy-food nexus literature*. <https://www.sei.org/publications/added-value-review-water-energy-food-nexus-literature/>
- Gallagher, L., Kopainsky, B., Bassi, A. M., Betancourt, A., Buth, C., Chan, P., Costanzo, S., Freeman, S. S. G., Horm, C., Khim, S., Neang, M., Rin, N., Sereyrotha, K., Sok, K., Sovann, C., Thieme, M., Watkins, K., Wyborn, C. A., & Bréthaut, C. (2020). Supporting stakeholders to anticipate and respond to risks in a Mekong river water-energy-food nexus. *Ecology and Society*, 25(4), 1–16. <https://doi.org/10.5751/ES-11919-250429>

- Gao, J., Zhao, J., & Wang, H. (2021). Dam-Impacted Water-Energy-Food Nexus in Lancang-Mekong River Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001347](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001347)
- Garcia, D. J., & You, F. (2016). The water-energy-food nexus and process systems engineering: A new focus. *Computers and Chemical Engineering*, 91, 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.03.003>
- Giampietro, M. (2018). Perception and representation of the resource nexus at the interface between society and the natural environment. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7), 2545. <https://doi.org/10.3390/su10072545>
- Gomez-Santiz, F., Perevochtchikova, M., & Ezzine-de-Blas, D. (2021). Behind the scenes: Scientific networks driving the operationalization of the Social-Ecological System framework. *Science of The Total Environment*, 787, 147473. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.147473>
- González-Bravo, R., Saucedo-Valenzuela, M., Mahlkecht, J., Rubio-Castro, E., & Ponce-Ortega, J. M. (2018). Optimization of Water Grid at Macroscopic Level Analyzing Water-Energy-Food Nexus. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(9), 12140–12152. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b02484>
- González-López, R., & Giampietro, M. (2017). Multi-scale integrated analysis of charcoal production in complex social-ecological systems. *Frontiers in Environmental Science*, 5(AUG). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00054>
- González-Rosell, A., Blanco, M., & Arfa, I. (2020). Integrating stakeholder views and system dynamics to assess the water–energy–food nexus in Andalusia. *Water (Switzerland)*, 12(11), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w12113172>
- Gough, D., Oliver, S. and Thomas, J. (2017). *An Introduction to Systematic Reviews*. SAGE Publications Ltd.
- Guzmán-Luna, P., Gerbens-Leenes, P. W., & Vaca-Jiménez, S. D. (2021). The water, energy, and land footprint of tilapia aquaculture in Mexico, a comparison of the footprints of fish and meat. *Resources, Conservation and Recycling*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105224>
- Hailemariam, W. G., Silalertruksa, T., Gheewala, S. H., & Jakrawatana, N. (2019). Water-Energy-Food Nexus of Sugarcane Production in Ethiopia. *Environmental Engineering Science*, 36(7), 798–807. <https://doi.org/10.1089/ees.2018.0549>
- Hannibal, B., & Portney, K. (2019). Correlates of Food–Energy–Water Nexus Awareness Among the American Public*. *Social Science Quarterly*, 100(3), 762–778. <https://doi.org/10.1111/ssqu.12590>
- Higgins, J., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M., & Welch, V. (Eds.). (2021). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.2 (updated February 2021)*. Cochrane. <https://training.cochrane.org/handbook>

- Hirwa, H., Zhang, Q., Qiao, Y., Peng, Y., Leng, P., Tian, C., Khasanov, S., Li, F., Kayiranga, A., Muhirwa, F., Itangishaka, A. C., Habiyaemye, G., & Ngamiye, J. (2021). Insights on water and climate change in the greater horn of africa: Connecting virtual water and water-energy-food-biodiversity-health nexus. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(11). <https://doi.org/10.3390/su13116483>
- Hoff, H. (2011). *Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus*. Stockholm Environment Institute, Stockholm. <https://www.sei.org/publications/understanding-the-nexus/>
- Hoff, H., Fielding, M., & Davis, M. (2013). Turning vicious cycles into virtuous ones. *Rural21*, *3*, 10–12. https://www.rural21.com/fileadmin/downloads/2013/en-03/rural2013_03-S10-12.pdf
- Howarth, C., & Monasterolo, I. (2017). Opportunities for knowledge co-production across the energy-food-water nexus: Making interdisciplinary approaches work for better climate decision making. *Environmental Science and Policy*, *75*, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.05.019>
- Hua, E., Wang, X., Engel, B. A., Qian, H., Sun, S., & Wang, Y. (2021). Water competition mechanism of food and energy industries in WEF Nexus: A case study in China. *Agricultural Water Management*, *254*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106941>
- Hussien, W. A., Memon, F. A., & Savic, D. A. (2017). An integrated model to evaluate water-energy-food nexus at a household scale. *Environmental Modelling and Software*, *93*, 366–380. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.034>
- Itayi, C. L., Mohan, G., & Saito, O. (2021). Understanding the conceptual frameworks and methods of the food–energy–water nexus at the household level for development-oriented policy support: a systematic review. *Environmental Research Letters*, *16*(3), 033006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABD660>
- James Rubinsin, N., Daud, W. R. W., Kamarudin, S. K., Masdar, M. S., Rosli, M. I., Samsatli, S., Tapia, J. F. D., Wan Ab Karim Ghani, W. A., Hasan, A., & Lim, K. L. (2021). Modelling and optimisation of oil palm biomass value chains and the environment–food–energy–water nexus in peninsular Malaysia. *Biomass and Bioenergy*, *144*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105912>
- Ji, L., Zheng, Z., Wu, T., Xie, Y., Liu, Z., Huang, G., & Niu, D. (2020). Synergetic optimization management of crop-biomass coproduction with food-energy-water nexus under uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, *258*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120645>
- Kaddoura, S., & El Khatib, S. (2017). Review of water-energy-food Nexus tools to improve the Nexus modelling approach for integrated policy making. *Environmental Science and Policy*, *77*, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.007>
- Karabulut, A., Egoh, B. N., Lanzaova, D., Grizzetti, B., Bidoglio, G., Pagliero, L., Bouraoui, F., Aloe, A., Reynaud, A., Maes, J., Vandecasteele, I., & Mubareka, S. (2016). Mapping

water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. *Ecosystem Services*, 17, 278–292. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2015.08.002>

Kiteley, R., & Stogdon, C. (2014). *Literature Reviews in Social Work*. SAGE Publications Ltd.

Leck, H., Conway, D., Bradshaw, M., & Rees, J. (2015). Tracing the Water-Energy-Food Nexus: Description, Theory and Practice. *Geography Compass*, 9(8), 445–460. <https://doi.org/10.1111/gec3.12222>

Lee, S.-H., Choi, J.-Y., Hur, S.-O., Taniguchi, M., Masuhara, N., Kim, K. S., Hyun, S., Choi, E., Sung, J.-H., & Yoo, S.-H. (2020). Food-centric interlinkages in agricultural food-energy-water nexus under climate change and irrigation management. *Resources, Conservation and Recycling*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105099>

Leese, M., & Meisch, S. (2015). Securitising Sustainability? Questioning the “Water, Energy and Food-Security Nexus.” *Water Alternatives*, 8(1), 695–709. www.water-alternatives.org

Leung Pah Hang, M. Y., Martinez-Hernandez, E., Leach, M., & Yang, A. (2016). Designing integrated local production systems: A study on the food-energy-water nexus. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1065–1084. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.194>

Leung Pah Hang, M. Y., Martinez-Hernandez, E., Leach, M., & Yang, A. (2017). Insight-Based Approach for the Design of Integrated Local Food-Energy-Water Systems. *Environmental Science and Technology*, 51(15), 8643–8653. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00867>

Li, G., Huang, D., & Li, Y. (2016). China’s input-output efficiency of water-energy-food nexus based on the data envelopment analysis (DEA) model. *Sustainability (Switzerland)*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/su8090927>

Li, G., Wang, Y., & Li, Y. (2019). Synergies within the water-energy-food nexus to support the integrated urban resources governance. *Water (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/w11112365>

Li, H., Wang, H., Yang, Y., & Zhao, R. (2021). Regional coordination and security of water–energy–food symbiosis in northeastern china. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su13031326>

Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Ji, Y., Liu, D., Zhang, C., & Li, T. (2019). An optimal modelling approach for managing agricultural water-energy-food nexus under uncertainty. *Science of the Total Environment*, 651, 1416–1434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.291>

Li, S., Ziara, R. M. M., Dvorak, B., & Subbiah, J. (2018). Assessment of water and energy use at process level in the U.S. beef packing industry: Case study in a typical U.S. large-size plant. *Journal of Food Process Engineering*, 41(8). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12919>

- Liu, J., Li, Y., & Li, X. (2020). Identifying optimal security management policy for water–energy–food nexus system under stochastic and fuzzy conditions. *Water (Switzerland)*, *12*(11). <https://doi.org/10.3390/w12113268>
- Liu, J., Yang, H., Cudennec, C., Gain, A. K., Hoff, H., Lawford, R., Qi, J., Strasser, L. de, Yillia, P. T., & Zheng, C. (2017). Challenges in operationalizing the water–energy–food nexus. *Hydrological Sciences Journal*, *62*(11), 1714–1720. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1353695>
- López-Díaz, D. C., Lira-Barragán, L. F., Rubio-Castro, E., Serna-González, M., El-Halwagi, M. M., & Ponce-Ortega, J. M. (2018). Optimization of biofuels production via a water–energy–food nexus framework. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *20*(7), 1443–1466. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1395-0>
- Martínez-Guido, S. I., González-Campos, J. B., & Ponce-Ortega, J. M. (2019). Strategic planning to improve the Human Development Index in disenfranchised communities through satisfying food, water and energy needs. *Food and Bioproducts Processing*, *117*, 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.06.007>
- Medina-Santana, A. A., Flores-Tlacuahuac, A., Cárdenas-Barrón, L. E., & Fuentes-Cortés, L. F. (2020). Optimal design of the water-energy-food nexus for rural communities. *Computers and Chemical Engineering*, *143*. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.107120>
- Mguni, P., van Vliet, B., Spaargaren, G., Nakirya, D., Osuret, J., Isunju, J. B., Ssekamatte, T., & Mugambe, R. (2020). What could go wrong with cooking? Exploring vulnerability at the water, energy and food Nexus in Kampala through a social practices lens. *Global Environmental Change*, *63*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102086>
- Mohtar, R. H., & Daher, B. (2012). Water, Energy, and Food: The Ultimate Nexus. In *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*. <https://doi.org/10.1081/E-EAFE2-120048376>
- Mroue, A. M., Mohtar, R. H., Pistikopoulos, E. N., & Holtzapple, M. T. (2019). Energy Portfolio Assessment Tool (EPAT): Sustainable energy planning using the WEF nexus approach – Texas case. *Science of the Total Environment*, *648*, 1649–1664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.135>
- Mukuve, F. M., & Fenner, R. A. (2015). The influence of water, land, energy and soil-nutrient resource interactions on the food system in Uganda. *Food Policy*, *51*, 24–37. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.12.001>
- Muthee, K., Duguma, L., Nzyoka, J., & Minang, P. (2021). Ecosystem-based adaptation practices as a nature-based solution to promote water-energy-food nexus balance. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su13031142>
- Núñez-López, J. M., Rubio-Castro, E., & Ponce-Ortega, J. M. (2021). Involving resilience in optimizing the water-energy-food nexus at macroscopic level. *Process Safety and Environmental Protection*, *147*, 259–273. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.037>

- Ozturk, I. (2015). Sustainability in the food-energy-water nexus: Evidence from BRICS (Brazil, the Russian Federation, India, China, and South Africa) countries. *Energy*, *93*, 999–1010. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.104>
- Pandey, V. P., & Shrestha, S. (2017). Evolution of the Nexus as a Policy and Development Discourse. In P. A. Salam, S. Shrestha, V. P. Pandey, & A. K. Anal (Eds.), *Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices* (pp. 11–20). American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1002/9781119243175.CH2>
- Phetheet, J., Hill, M. C., Barron, R. W., Gray, B. J., Wu, H., Amanor-Boadu, V., Heger, W., Kisekka, I., Golden, B., & Rossi, M. W. (2021). Relating agriculture, energy, and water decisions to farm incomes and climate projections using two freeware programs, FEWCalc and DSSAT. *Agricultural Systems*, *193*. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103222>
- Proctor, K., Tabatabaie, S. M. H., & Murthy, G. S. (2021). Gateway to the perspectives of the Food-Energy-Water nexus. In *Science of the Total Environment* (Vol. 764). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142852>
- Purwanto, A, Sušnik, J., Suryadi, F. X., & de Fraiture, C. (2018). Determining strategies for water, energy, and food-related sectors in local economic development. *Sustainable Production and Consumption*, *16*, 162–175. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.08.005>
- Purwanto, A, Sušnik, J., Suryadi, F. X., & de Fraiture, C. (2019). Using group model building to develop a causal loop mapping of the water-energy-food security nexus in Karawang Regency, Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, *240*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118170>
- Purwanto, Aries, Sušnik, J., Suryadi, F. X., & de Fraiture, C. (2021). Water-Energy-Food Nexus: Critical Review, Practical Applications, and Prospects for Future Research. *Sustainability*, *13*(4), 1919. <https://doi.org/10.3390/su13041919>
- Ramaswami, A., Boyer, D., Nagpure, A. S., Fang, A., Bogra, S., Bakshi, B., Cohen, E., & Rao-Ghorpade, A. (2017). An urban systems framework to assess the trans-boundary food-energy-water nexus: Implementation in Delhi, India. *Environmental Research Letters*, *12*(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5556>
- Ramirez, C., Almulla, Y., & Fuso Nerini, F. (2021). Reusing wastewater for agricultural irrigation: A water-energy-food Nexus assessment in the North Western Sahara Aquifer System. *Environmental Research Letters*, *16*(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe780>
- Rasul, G., & Sharma, B. (2015). The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. *16*(6), 682–702. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1029865>
- Ringler, C., Bhaduri, A., & Lawford, R. (2013). The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *5*, 617–624.

<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.002>

Rosa, F. S. D., Lunkes, R. J., Spigarelli, F., & Compagnucci, L. (2021). Environmental innovation and the food, energy and water nexus in the food service industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 166. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105350>

Ryan, S. M., Roberts, E., Hibbett, E., Bloom, N., Haden, C., Rushforth, R. R., Pfeiffer, K., & Ruddell, B. L. (2021). The FEWSION for Community Resilience (F4R) Process: Building Local Technical and Social Capacity for Critical Supply Chain Resilience. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.601220>

Sadeghi, S. H., Sharifi Moghadam, E., Delavar, M., & Zarghami, M. (2020). Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. *Agricultural Water Management*, 233. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106071>

Sánchez-Zarco, X. G., Cansino-Loeza, B., & Ponce-Ortega, J. M. (2019). A Multi-Objective Optimization Approach for Water–Energy–Food Grids in Isolated Communities. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 3(4), 471–485. <https://doi.org/10.1007/s41660-019-00093-8>

Sánchez-Zarco, X. G., González-Bravo, R., & Ponce-Ortega, J. M. (2021). Multi-objective Optimization Approach to Meet Water, Energy, and Food Needs in an Arid Region Involving Security Assessment. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 9(13), 4771–4790. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c09322>

Sánchez-Zarco, X. G., Mora-Jacobo, E. G., González-Bravo, R., Mahlknecht, J., & Ponce-Ortega, J. M. (2020). Water, energy, and food security assessment in regions with semiarid climates. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(10), 2145–2161. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01964-2>

Sarkodie, S. A., & Owusu, P. A. (2020). Bibliometric analysis of water–energy–food nexus: Sustainability assessment of renewable energy. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 13, pp. 29–34). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.008>

Schlör, H., Hake, J.-F., & Venghaus, S. (2018). An integrated assessment model for the German food-energy-water nexus. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d5.0182>

Schull, V. Z., Daher, B., Gitau, M. W., Mehan, S., & Flanagan, D. C. (2020). Analyzing FEW nexus modeling tools for water resources decision-making and management applications. *Food and Bioprocess Processing*, 119, 108–124. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.10.011>

Scott, C. A., Kurian, M., & Wescoat, J. L. (2015). The Water-Energy-Food Nexus: Enhancing Adaptive Capacity to Complex Global Challenges. In *Governing the Nexus: Water, Soil*

and Waste Resources Considering Global Change (pp. 15–38). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05747-7_3

- Shu, Q., Scott, M., Todman, L., & McGrane, S. J. (2021). Development of a prototype composite index for resilience and security of water-energy-food (WEF) systems in industrialised nations. *Environmental and Sustainability Indicators*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100124>
- Siderius, C., Kolusu, S. R., Todd, M. C., Bhave, A., Dougill, A. J., Reason, C. J. C., Mkwambisi, D. D., Kashaigili, J. J., Pardoe, J., Harou, J. J., Vincent, K., Hart, N. C. G., James, R., Washington, R., Geressu, R. T., & Conway, D. (2021). Climate variability affects water-energy-food infrastructure performance in East Africa. *One Earth*, 4(3), 397–410. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.02.009>
- Silva De Amorim, W., Blasi Valduga, I., Marcelo, J., Ribeiro, P., Williamson, V. G., Krauser, G. E., Magtoto, M. K., Baltazar, J., & Osório De Andrade Guerra, S. (2018). *The nexus between water, energy, and food in the context of the global risks: An analysis of the interactions between food, water, and energy security*. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.002>
- Simpson, G. B., & Jewitt, G. P. W. (2019). The development of the water-energy-food nexus as a framework for achieving resource security: A review. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 7, Issue FEB, p. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>
- Slorach, P. C., Jeswani, H. K., Cuéllar-Franca, R., & Azapagic, A. (2020). Environmental sustainability in the food-energy-water-health nexus: A new methodology and an application to food waste in a circular economy. *Waste Management*, 113, 359–368. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.012>
- Smajgl, A., Ward, J., & Pluschke, L. (2016). The water-food-energy Nexus - Realising a new paradigm. *Journal of Hydrology*, 533, 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.033>
- Sušnik, J., Masia, S., Indriksone, D., Brēmere, I., & Vamvakeridou-Lydroudia, L. (2021). System dynamics modelling to explore the impacts of policies on the water-energy-food-land-climate nexus in Latvia. *Science of the Total Environment*, 775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145827>
- Taniguchi, M., Endo, A., Gurdak, J. J., & Swarzenski, P. (2017). Water-Energy-Food Nexus in the Asia-Pacific Region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2017.06.004>
- Tolba, H., Khalifa, M., McNamara, I., Ribbe, L., & Sycz, J. (2018). *Water-Energy-Food Nexus Literature Review. A Review of Nexus Literature and ongoing Nexus Initiatives for Policymakers*. Nexus Regional Dialogue Programme. <https://www.water-energy-food.org/resources/water-energy-food-nexus-literature-review-a-review-of-nexus-literature-and-ongoing-nexus-initiatives-for-policymakers>

- 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. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 24, p. 7205). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/SU11247205>
- Tortorella, M. M., Di Leo, S., Cosmi, C., Fortes, P., Viccaro, M., Cozzi, M., Pietrapertosa, F., Salvia, M., & Romano, S. (2020). A methodological integrated approach to analyse climate change effects in agri-food sector: The TIMES water-energy-food module. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(21), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217703>
- Udias, A., Pastori, M., Dondeynaz, C., Carmona Moreno, C., Ali, A., Cattaneo, L., & Cano, J. (2018). A decision support tool to enhance agricultural growth in the Mékrou river basin (West Africa). *Computers and Electronics in Agriculture*, *154*, 467–481. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.037>
- Urbinnati, A. M., Benites-Lazaro, L. L., Carvalho, C. M. de, & Giatti, L. L. (2020). The conceptual basis of water-energy-food nexus governance: systematic literature review using network and discourse analysis. In *Journal of Integrative Environmental Sciences* (Vol. 17, Issue 2, pp. 21–43). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2020.1749086>
- Villamayor-Tomas, S., Grundmann, P., Epstein, G., Evans, T., & Kimmich, C. (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. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84922295295&partnerID=40&md5=c5a0676789d621516017e483c9d0a06c>
- Villamor, G. B., Kliskey, A. D., Griffith, D. L., de Haro-Marti, M. E., Martinez, A. M., Alfaro, M., & Alessa, L. (2020). Landscape social-metabolism in food-energy-water systems: Agricultural transformation of the Upper Snake River Basin. *Science of the Total Environment*, *705*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135817>
- Visser, M., van Eck, N. J., & Waltman, L. (2021). Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic. *Quantitative Science Studies*, *2*(1), 20–41. https://doi.org/10.1162/QSS_A_00112
- Vora, N., Shah, A., Bilec, M. M., & Khanna, V. (2017). Food-Energy-Water Nexus: Quantifying Embodied Energy and GHG Emissions from Irrigation through Virtual Water Transfers in Food Trade. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *5*(3), 2119–2128. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b02122>
- Wang, Y., Zhao, Y., Wang, Y., Ma, X., Bo, H., & Luo, J. (2021). Supply-demand risk assessment and multi-scenario simulation of regional water-energy-food nexus: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region. *Resources, Conservation and Recycling*, *174*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105799>
- Weitz, N., Strambo, C., Kemp-Benedict, E., & Nilsson, M. (2017). *Governance in the water-*

energy-food nexus: Gaps and future research needs.
<https://www.sei.org/publications/water-energy-food-governance/>

- Wichelns, D. (2017). The water-energy-food nexus: Is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective? *Environmental Science and Policy*, *69*, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.018>
- Wiegleb, V., & Bruns, A. (2018). What Is Driving the Water-Energy-Food Nexus? Discourses, Knowledge, and Politics of an Emerging Resource Governance Concept. *Frontiers in Environmental Science*, *6*(OCT), 128. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00128>
- Williams, J., Bouzarovski, S., & Swyngedouw, E. (2018). The urban resource nexus: On the politics of relationality, water–energy infrastructure and the fallacy of integration:, *37*(4), 652–669. <https://doi.org/10.1177/0263774X18803370>
- Wolde, Z., Wei, W., Likessa, D., Omari, R., & Ketema, H. (2021). Understanding the Impact of Land Use and Land Cover Change on Water–Energy–Food Nexus in the Gidabo Watershed, East African Rift Valley. *Natural Resources Research*, *30*(3), 2687–2702. <https://doi.org/10.1007/s11053-021-09819-3>
- World Economic Forum. (2011). *Water Security: The Water–Food–Energy– Climate Nexus*. World Economic Forum.
- Wu, L., Elshorbagy, A., Pande, S., & Zhuo, L. (2021). Trade-offs and synergies in the water-energy-food nexus: The case of Saskatchewan, Canada. *Resources, Conservation and Recycling*, *164*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105192>
- Xiao, Z., Yao, M., Tang, X., & Sun, L. (2019). Identifying critical supply chains: An input-output analysis for Food-Energy-Water Nexus in China. *Ecological Modelling*, *392*, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.006>
- Yan, X., Corbin, K. R., Burton, R. A., & Tan, D. K. Y. (2020). Agave: A promising feedstock for biofuels in the water-energy-food-environment (WEFE) nexus. *Journal of Cleaner Production*, *261*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121283>
- Yan, X., Jiang, D., Fu, J., & Hao, M. (2018). Assessment of sweet sorghum-based ethanol potential in China within the Water-Energy-Food nexus framework. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(4). <https://doi.org/10.3390/su10041046>
- Yang, J., Yang, Y. C. E., Khan, H. F., Xie, H., Ringler, C., Ogilvie, A., Seidou, O., Djibo, A. G., van Weert, F., & Tharme, R. (2018). Quantifying the Sustainability of Water Availability for the Water-Food-Energy-Ecosystem Nexus in the Niger River Basin. *Earth's Future*, *6*(9), 1292–1310. <https://doi.org/10.1029/2018EF000923>
- Yang, Y. C. E., Wi, S., Ray, P. A., Brown, C. M., & Khalil, A. F. (2016). The future nexus of the Brahmaputra River Basin: Climate, water, energy and food trajectories. *Global Environmental Change*, *37*, 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.01.002>
- Zhang, C., Chen, X., Li, Y., Ding, W., & Fu, G. (2018). Water-energy-food nexus: Concepts,

- questions and methodologies. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 195, pp. 625–639). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194>
- Zhang, P., Xu, Z., Fan, W., Ren, J., Liu, R., & Dong, X. (2019). Structure dynamics and risk assessment of Water-Energy-Food Nexus: A water footprint approach. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(4). <https://doi.org/10.3390/SU11041187>
- Zhang, T., Tan, Q., Zhang, S., Zhang, T., & Zhang, W. (2021). A participatory methodology for characterizing and prescribing water-energy-food nexus based on improved casual loop diagrams. *Resources, Conservation and Recycling*, *164*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105124>
- Zhang, X., & Vesselinov, V. V. (2017). Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus. *Advances in Water Resources*, *101*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.12.017>
- Zheng, J., Wang, W., Chen, D., Cao, X., Xing, W., Ding, Y., Dong, Q., & Zhou, T. (2019). Exploring the water–energy–food nexus from a perspective of agricultural production efficiency using a three-stage data envelopment analysis modelling evaluation method: A case study of the middle and lower reaches of the Yangtze River, China. *Water Policy*, *21*(1), 49–72. <https://doi.org/10.2166/wp.2018.184>

Anexos

CÓDIGOS atlas.ti

NEXR (Nexus regions)

Lugar donde se lleva a cabo el estudio.

LATINOAMERICA y EL CARIBE(LAT&CAR)

Argentina|Bolivia|Brazil|Chile|Colombia|CostaRica|Cuba|Dominican Republic|Ecuador|El Salvador|Guatemala|Honduras|Mexico|Nicaragua|Paraguay|Panama|Peru|Uruguay|Venezuela|Latin America|South America|The Bahamas|Barbados|Belize|Republic Dominican|Guyana|Haiti|Jamaica|Caribbean States|Antigua and Barbuda|Dominica|Grenada|Saint Kitts and Nevis|Saint Lucia|Saint Vincent|Sint Maarten|Suriname|Trinidad and Tobago|Caribbean countries|The Caribbean

AFRICA

Angola|Benin|Botswana|Burkina Faso|Burundi|Cameroon|Cape Verde|Central African Rep.|Chad|Comoros|Congo, Dem. Rep.|Congo, Rep. of the|Cote d'Ivoire|Djibouti|Equatorial Guinea|Eritrea|Ethiopia|Gabon|Gambia, The|Ghana|Guinea|GuineaBissau|Kenya|Lesotho|Liberia|Madagascar|Malawi|Mali|Mauritania|Mauritius|Mayotte|Mozambique|Namibia|Niger|Nigeria|Reunion|Rwanda|Saint Helena|Sao Tome & Principe|Senegal|Seychelles|Sierra Leone|Somalia|South Africa|Sudan|Swaziland|Tanzania|Togo|Uganda|Zambia|Zimbabwe|Algeria|Egypt|Libya|Morocco|Tunisia|Western Sahara

ASIA

Afghanistan|Bangladesh|Bhutan|Brunei|Burma|Cambodia|China|East Timor|Hong Kong|India|Indonesia|Iran|Japan|Korea, North|Korea, South|Laos|Macau|Malaysia|Maldives|Mongolia|Nepal|Pakistan|Philippines|Singapore|Sri Lanka|Taiwan|Thailand|Vietnam Iraq

EUROPE

Andorra|Austria|Belgium|Denmark|Faroe Islands|Finland|France|Germany|Gibraltar|Greece|Guernsey|Iceland|Ireland|Isle of Man|Italy|Jersey|Liechtenstein|Luxembourg|Malta|Monaco|Netherlands|Norway|Portugal|San Marino|Spain|Sweden|Switzerland|United Kingdom

NORTHEARN AMERICA (NORT-AME)

Bermuda|Canada|Greenland|St Pierre & Miquelon|United States|USA|Texas|Denver|California|Oregon|Idaho|Arizona|Detroit

OCEANIA

Australia

Variables

variable|variables|instrumental variable|instrumental variable estimate|independent variable|environmental variable|ecological variable|dummy variable|discrete variable|dependent variable|demographic variable|dochotomous variable|continuous variable|variable optimization|categorical variable|climate variable|control variables|spatial variables|key variables|decision variables|climatic variables|interdependent variables|input variable|output variable

Food system

Cereal

rice|sorghum|teff|millet|wheat|barley|maize|corn|oats|rye|canary

Legumes

lentils|peas|beans|pulses|alfalfa|chikpeas|safflower|soybean|beanstalk

Fruit&veg

lettuce|tomatoes|potatoes|broccoli|greenbeans|zucchini|pepper|aubergine|apples|oranges
|cherries|strawberries|grapes|blueberries|watermelon|melon

Oilseeds

sesame|sunflower|canola|flaxseed|mustard|olive|almonds|nuts

Other crops

eucalipto|oil palm|cacao|coffee|cotton|tea|agave

Livestock

beef|fish|poultry|tilapia|pork|eggs|milk|cattle|trout

Energy systems

Biofuels

Biofuels|biodiesel|ethanol|biogas|biomethane|bio-kerosene|hydroteatred vegetable oil

Fossil fuels

coal|crude oil|natural gas|dieselgasoline

Electricity production

Electricity production|electricity generation|electricity consumption|electricity

Water systems

Type of water source

Green water|blue water|Grey water|Black water

Variables utilizadas en los estudios de caso

Climáticas

1. Precipitation|rainfall|rained

Agricultura energy consumption

Indirect energy consumption

Human labor|diesel|electricity for irrigation

Crop direct energy consumption

seeds|fertilizer|pesticide|herbicide

crop yields or yields

crop water demand|water for irrigation|irrigated agriculture|irrigation water demand|rained agriculture

GDP

Gross domestic product|GDP (PER CAPITA)

Water price

Water price|water pricing

Wage

wage|salary|pay|gainings

Land for crops

crop land use|cultivated area|agricultural area|planted acres|cultivated land