

¿Qué es el nexa agua-energía-alimentos? What is the water-energy-food nexus?

G.I. Avila-Castañeda^{a*} , A.D. Román-Gutiérrez^a , E.M. Otázo-Sánchez^a , O.A. Acevedo-Sandoval^a 

^a Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Resumen

La creciente demanda mundial de agua dulce, energía y alimentos ha generado que la comunidad científica desarrolle un nuevo enfoque, para analizar, evaluar e implementar medidas de mitigación ante esta gran crisis. Es así como surge el concepto nexa agua-energía-alimentos (WEF, por sus siglas en inglés) el cual se refiere a las interacciones que se dan entre estos tres recursos, con todas sus sinergias y compensaciones que resultan de esta relación. Por lo tanto, esta investigación tiene como finalidad explicar cómo se fue desarrollando el concepto desde sus orígenes en la Conferencia Nexus de Bonn en 2011, cuáles han sido las herramientas y metodologías de análisis más empleadas y finalmente, observar algunos casos de éxito. Concluyéndose que lograr un análisis integral de los tres recursos y no evaluar cada recurso por separado, proporcionará una serie de estrategias que ayudarán a reducir los efectos adversos de tipo ambiental, social y económico.

Palabras Clave: Nexa, agua-energía-alimentos, sostenibilidad, herramientas analíticas, gobernanza.

Abstract

The growing global demand for fresh water, energy and food has led the scientific community to develop a new concept to analyze, evaluate and implement mitigation measures in the face of this great crisis. This is how the water-energy-food nexus (WEF) approach arises, which refers to the interactions that occur between these three resources, with all their synergies and compensations that result from this relationship. Consequently, this research aims to explain how the concept was developed from its origins at the Nexus Conference in Bonn in 2011, what the most used analysis tools and methodologies have been, and finally, to observe some success stories. Concluding that achieving a comprehensive analysis of the three resources and not evaluating each resource separately, will provide a series of strategies that will help reduce adverse environmental, social and economic effects.

Keywords: Nexus, water-energy-food, sustainability, analytical tools, governance.

1. Introducción

El agua, la energía y los alimentos se pueden considerar los recursos naturales esenciales para respaldar la vida en la tierra y lograr un bienestar humano (Li *et al.*, 2019; Wolde *et al.*, 2022). Debido a que el agua representa casi el 80% de la composición de los seres vivos, ayuda a la fotosíntesis de las plantas y tiene un rol importante para el desarrollo socioeconómico de la sociedad. Los alimentos son completamente indispensables para la sobrevivencia del ser humano. Y la energía es vital porque nos sirve para realizar muchos trabajos o procesos, como por ejemplo, extraer agua o hacer que funcione una máquina y con ella poder producir

alimentos. De este modo, el lograr una adecuada gestión de los tres recursos generará estrategias para emplearlos de forma eficaz. Por ejemplo, eficientar el uso del agua en la producción energética implicará tener mayor agua disponible para riego.

Se prevé que para 2050, la demanda de agua, energía y alimentos aumente en un 55, 80 y 70% respectivamente (Loeb, 2016), esto principalmente a causa de un acelerado crecimiento de la población, un aumento en la urbanización y un continuo cambio climático (Molajou *et al.*, 2021). Por ello es necesario que estos tres recursos se analicen juntos y no de forma

*Autor para la correspondencia: av483030@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: av483030@uaeh.edu.mx (Georgina Itandehui Avila-Castañeda), profe_4339@uaeh.edu.mx (Elena María Otazo-Sánchez), aroman@uaeh.edu.mx (Alma Delia Román-Gutiérrez), acevedo@uaeh.edu.mx (Otilio Arturo Acevedo-Sandoval).

Historial del manuscrito: recibido el 27/10/2022, última versión-revisada recibida el 25/11/2022, aceptado el 28/11/2022,

en línea (postprint) desde el 28/11/2022, publicado el 05/01/2023. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.10135>



individual, siendo este uno de los grandes desafíos que enfrentará la comunidad científica (Gai *et al.*, 2022).

En este sentido, el estudio de las complejas interacciones y conexiones entre estos tres recursos dio lugar a la aparición de un nuevo término denominado nexo agua-energía-alimentos (WEF, por sus siglas en inglés) (Molajou *et al.*, 2021). De este modo, se puede afirmar que los sistemas WEF están totalmente entrelazados y son interdependientes (Hogeboom *et al.*, 2021). Por lo que abordar estos elementos como un nexo generaría el menor impacto en el medio ambiente e incluso, podría conducir a algunas eficiencias en los procesos hídricos, energéticos y productivos (Loeb, 2016).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es explicar en qué consiste el nexo agua-energía-alimentos, mediante una revisión sistemática de la literatura, para dar a conocer la importancia del análisis integrado de los tres recursos mencionados.

2. El nexo agua-energía-alimentos (WEF)

La FAO en 2014 definió que el nexo WEF, surgió como un concepto útil para describir y abordar la naturaleza compleja e interrelacionada de los sistemas de recursos globales, de los que se depende para lograr diferentes objetivos sociales, económicos y ambientales. Pero también, se define como “el estudio de las conexiones entre estos tres sectores de recursos, junto con las sinergias, conflictos y compensaciones que surgen de cómo se gestionan” (Simpson y Jewitt, 2019).

En este sentido, Simpson *et al.* (2022) argumentan que la palabra nexo significa principalmente conectar, aunque su aplicación puede ser variada. Es por ello que el nexo WEF se puede describir comenzando con la sociedad, la cual se encuentra en el centro del sistema ofertando y demandando los tres recursos vitales (Figura 1). Sin embargo, a nivel global el acceso y disponibilidad de los tres recursos no siempre es equitativo y por lo tanto el estudio del nexo se basa en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): ODS2: hambre cero, ODS6: acceso y disponibilidad de agua limpia y saneamiento y ODS7: lograr energía limpia y asequible, para de esta forma determinar si el nexo puede llegar a ser sustentable y favorable en la región donde se esté evaluando o implementando.

A su vez, estos recursos se obtienen y dependen en cierta medida de los factores climáticos. Pero, tanto el clima como el medio ambiente, se gestionan y regulan a través de una gobernanza y políticas públicas eficientes o deficientes, por ello estos elementos se encuentran representados por las capas exteriores del sistema (verde y café respectivamente de la Figura 1), formando una parte integral del nexo que tienen como principal objetivo generar un desarrollo sostenible. A pesar, de que la sociedad se localizó en el centro del sistema como principal ofertante y demandante de los tres recursos, también son los responsables de que se lleve a cabo una

adecuada gobernanza e implementación de políticas públicas en beneficio de todos (Simpson *et al.*, 2022).

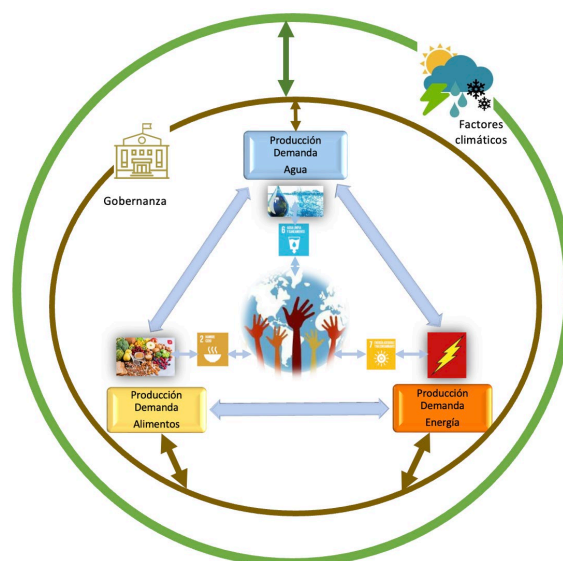


Figura 1: Nexo WEF. Fuente: Elaboración propia

Es así que el nexo WEF se puede considerar como una herramienta para facilitar la gobernanza y guiar la cooperación intersectorial, debido a que la oferta y la demanda de los tres recursos son interdependientes a nivel global, nacional, regional y local (Li *et al.*, 2019).

2.1. Importancia del nexo WEF

Uno de los objetivos primordiales del enfoque nexo WEF es lograr minimizar o eliminar las sinergias y maximizar las compensaciones entre el agua, la energía y los alimentos, debido a la inevitable interdependencia de los tres recursos.

Un ejemplo de estas conexiones son las sequías extremas provocadas por los cambios climáticos, que pueden dar lugar a importantes problemas de seguridad alimentaria y energética, debido a la intensificación del estrés en el suministro de agua (Zhang *et al.*, 2018).

Por ello, diversos centros de investigación como la Universidad de Oxford y el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias han tenido una relevante participación en el estudio del nexo WEF (Chen *et al.*, 2019). De igual forma la FAO, Hoff y Bazilian reportaron interés en el tema (Wang *et al.*, 2022). Y se ha reportado que diversos gobiernos, Agencias de las Naciones Unidas, grupos internacionales, ONG, empresas privadas, agencias nacionales e Institutos y Universidades en Europa, también se han dedicado a estudiar el nexo (Endo *et al.*, 2017).

En el año 2017 se habían desarrollado a nivel global proyectos relacionados con el nexo WEF, reportándose en América del Norte y América Latina 28, en Asia 28 estudios, en Oceanía 7 y en África 4 proyectos. (Endo *et al.* 2017).

Es así que el concepto del nexo WEF, se clasifica como un enfoque, idea o concepción de reciente creación e interés por la comunidad científica.

3. Evolución y desarrollo histórico del nexo WEF

El concepto nexo WEF se originó desde la Conferencia Nexus de Bonn en 2011, cuando el gobierno federal alemán organizó la Conferencia Internacional: “El nexo entre el agua, la energía y la seguridad alimentaria: soluciones para la economía verde” (Endo *et al.*, 2015; Endo *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019), con la finalidad de mejorar y aumentar la seguridad y eficiencia del agua, la energía y los alimentos (Figura 2).

Posteriormente de 2012 a 2016 las investigaciones del nexo estuvieron influenciadas por élites empresariales como el Banco Mundial y el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (Dalla Fontana *et al.*, 2021). Debido a que las investigaciones se enfocaron más a la gestión y seguridad hídrica para un crecimiento económico (Lazaro *et al.*, 2022). En este mismo periodo se planteó lograr el principal objetivo de Future Earth 2025 (plataforma de transformaciones hacia la sostenibilidad), el cual plantea que todas las personas prosperen en un mundo sostenible y equitativo (Leck *et al.*, 2015; Endo *et al.*, 2017). Consecutivamente a mediados de 2016 se desarrolló el Programa de Diálogos Regionales de Nexo Fase I donde se discutió el análisis del nexo basado en sistemas WEF sostenibles y la aplicación del nexo con un enfoque de análisis a nivel local escalando hacia lo federal (Chang *et al.*, 2016).

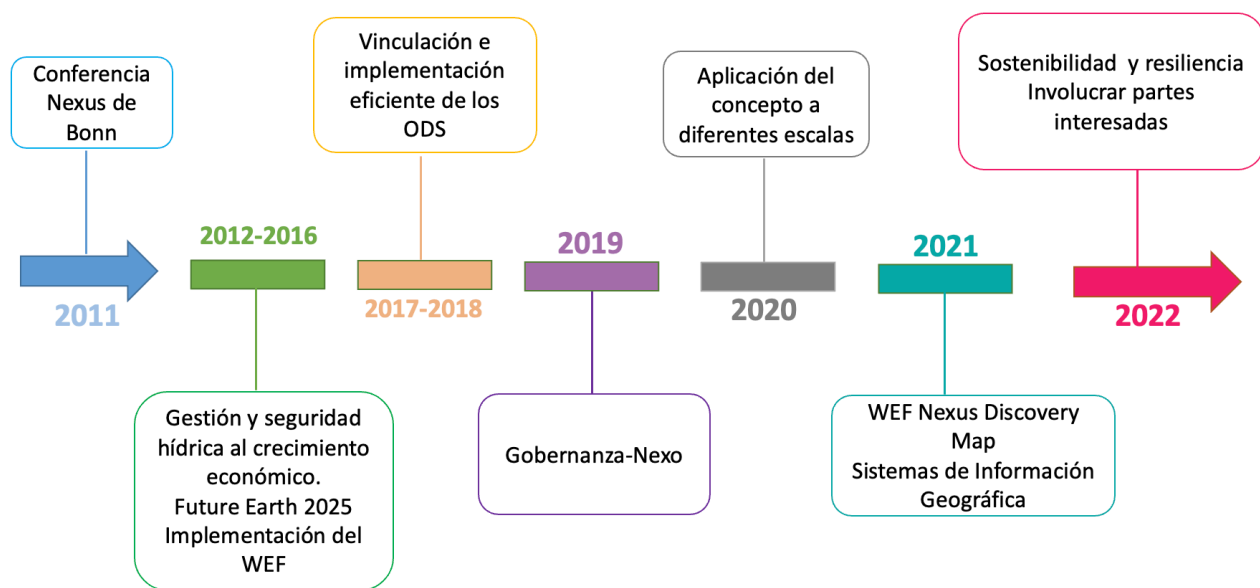


Figura 2: Evolución del enfoque nexo WEF. Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que en 2013 surge el proyecto RIHN-Nexus abordando dos objetivos principales: (a) comprender la complejidad del nexo WEF y (b) crear opciones de políticas y escenarios para resolver los problemas de nexo identificados bajo evidencia científica e incertidumbre, para maximizar la seguridad ambiental (Endo *et al.*, 2018).

Durante 2017 a 2018 el enfoque se encaminó a la vinculación e implementación eficiente del nexo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS2, ODS6 y ODS7 (Lazaro *et al.*, 2022). Y en 2019 el nexo WEF se enfoca hacia el ámbito político, convirtiéndose en objeto de investigación para diferentes disciplinas, resaltando la importancia de incluir cuestiones de gobernanza, integración de políticas y toma de decisiones en el análisis (Dalla Fontana *et al.*, 2021; Lazaro *et al.*, 2022; Simpson y Jewitt, 2019). Lo anterior porque los tres recursos al encontrarse estrechamente interrelacionados, se propone deben plantearse adecuadas políticas sectoriales que lo tomen en cuenta, para evitar graves consecuencias negativas.

Por ejemplo, Li *et al.* (2019) documentan que algunos países asiáticos optaron por otorgar subsidios energéticos que ayudaran a expandir las áreas de riego y, así satisfacer las demandas crecientes de alimentos de su población, aunque esto significó un aumento sobresaliente en la escasez de agua subterránea. O el caso de las políticas de desarrollo de biocombustibles que han generado un impacto negativo en el uso del suelo, compitiendo la producción de cultivos para la alimentación, con aquellos que producen combustibles.

En 2020 se propuso la aplicación del concepto a diferentes escalas como la economía circular, escala urbana, relación del nexo con los residuos y su relación con ciudades inteligentes (Lazaro *et al.*, 2022). En 2021 la Universidad Estatal de Pensilvania creó el WEF Nexus Discovery Map en el cual se reunió un repositorio de datos con visualización geográfica en una herramienta web de fácil acceso. Para ello se empleó ArcGIS Online que permite a los usuarios en general conocer investigación, tecnologías emergentes, proyectos de implementación y guías de políticas basadas en WEF (Arenas *et al.*, 2021). Por ejemplo, al hacer uso de los filtros, el usuario

tiene acceso a trabajos categorizados de manera concisa, en los que se pueden extraer resultados que se ajusten mejor a las necesidades de investigación o concuerden con el contexto que se está analizando (Arenas *et al.*, 2021).

También se muestra el "Mapa del Índice WEF", que a través de 21 indicadores compuestos indexa el desempeño de un país en agua, energía y alimentos, representados por gradientes de colores, lo que le da al usuario una idea de cómo se están desempeñando los países del mundo en cada recurso del WEF (Arenas *et al.*, 2021).

En este mismo año también se consideró que el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ayudaría a tener una visualización más clara del nexo basada en mapas, se podría hacer una comparación e identificación de puntos críticos y benéficos del nexo WEF y con ello, la posibilidad de explorar los impactos de las intervenciones y la transferencia de buenas prácticas y tecnología viable (Lin *et al.*, 2019).

Como por ejemplo Liu y Zhao (2022) investigaron el estado de evolución y las características espaciales del nexo WEF en la cuenca del Río Amarillo en China, para la gestión de los recursos y la orientación del desarrollo sostenible del sistema de la región. Almulla *et al.* (2020) emplearon un modelo basado en SIG con datos climáticos y características biofísicas (elevación, nivel freático y propiedades del suelo), el cual sirvió para determinar el requerimiento anual de agua de riego en todo el Sistema Acuífero del Sahara, señalando la importancia de emplear medidas de conservación del agua más allá de la mejora de la eficiencia y cómo este modelo se puede utilizar para explorar diferentes vías de desarrollo agrícola y cuantificar el impacto en los recursos hídricos y energéticos.

Del mismo modo, Haji *et al.* (2020) propusieron un enfoque novedoso para analizar los riesgos de producción en el nexo WEF de Qatar; generaron Indicadores de Riesgo Geoespaciales Compuestos (IRGC) que dividieron en "factores de riesgos climáticos", "factores de riesgo hídricos" y "factores de riesgo territoriales". Emplearon el software ArcGIS y el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y generaron mapas de riesgo geoespacial que permitieron gestionar el riesgo en cada nodo o sistema de producción evaluado.

Finalmente, en 2022 las investigaciones se van centrando en la evaluación del nexo y su sostenibilidad, en su relación con la resiliencia y en darle un enfoque transdisciplinario e interdisciplinario (Botai *et al.*, 2021; Bian y Liu, 2021; Hogeboom *et al.*, 2021; Meneguzzo *et al.*, 2019). Pero, sobre todo, en involucrar a las partes interesadas, debido a que a lo largo de la evolución del nexo se ha identificado que el grado de participación de estas sigue siendo limitado o se incorporan más comúnmente en la investigación como usuarios finales (Hoolohan *et al.*, 2018), por lo que es de vital importancia lograr la interacción de todas las partes e incluir la dinámica social y política, para ofrecer un mejor desarrollo en la investigación y aplicación del nexo WEF (Gai *et al.*, 2022).

3.1. Creación de nuevos nexos

Durante el análisis y evaluación del nexo WEF, se han detectado estudios que hablan no sólo de la interdependencia de los tres recursos, sino de la ampliación del nexo con otros recursos, considerando aspectos sociales, económicos, ambientales, entre otros (Figura 3). Por ejemplo, el nexo tierra-agua-energía-alimentos (Land-WEF) surge al considerarse la tierra como elemento principal para la generación de alimentos, pero también de la creciente degradación y escasez de tierra fértil para cultivar y cubrir las necesidades alimenticias de una población mundial en aumento (Wolde, *et al.*, 2022).

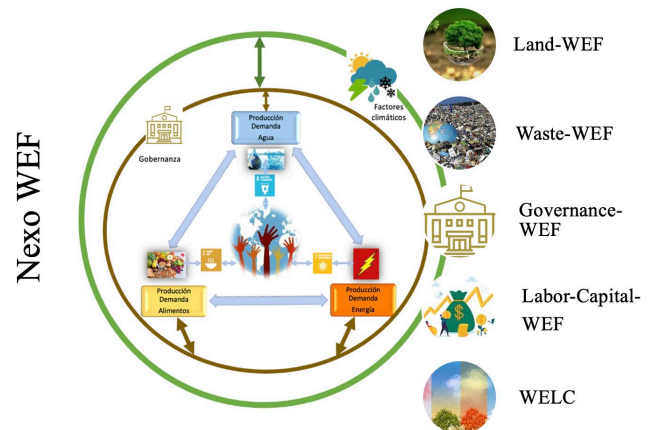


Figura 3: Ampliaciones del Nexo agua-energía alimentos (Nexo WEF). Fuente: Elaboración propia. WELC: Nexo agua-energía-tierra-clima.

Asimismo, se han desarrollado estudios para analizar la relación del nexo WEF con los residuos (Waste-WEF), el cual implica también el análisis del comportamiento y hábitos alimenticios de los habitantes de la ciudad, debido a que éstos son la fuente de demanda más importante dentro del nexo WEF y de donde se van a generar la mayoría de los residuos (Li *et al.*, 2019). Por ello, es de vital importancia lograr un uso eficiente de los tres recursos para minimizar la cantidad de residuos.

De igual forma, Lazaro *et al.* (2022), señalan que se han detectado nexos donde su objetivo principal es la búsqueda de sinergias entre los diferentes recursos, para lograr una mitigación de las compensaciones, como por ejemplo el nexo gobernanza-agua-energía-alimentos (Governance-WEF), agua-energía-alimentos-trabajo-capital (Labor-Capital-WEF) y agua-energía-tierra-clima (WELC).

4. Herramientas, índices e indicadores para evaluar el nexo WEF

Al inicio el nexo se analizaba con una visión más enfocada a cuestiones políticas, y con lograr el cumplimiento de los ODS. Por ello, no se generaban investigaciones enfocadas a medir el nexo que reflejaran el verdadero problema, es decir, generar un diagnóstico local del nexo. Es así que para el análisis, evaluación e implementación del nexo WEF es necesario la elección de modelos conceptuales apropiados, algoritmos razonables y conjuntos de datos completos, debido a que esto ayudará a cuantificar con precisión el nexo y abordará las compensaciones asociadas (Chang *et al.*, 2016).

En este sentido, se debe considerar que los métodos más adecuados para evaluar el nexo WEF van a variar en respuesta a la escala y las prioridades de investigación de un sistema de nexo específico (Zhang *et al.*, 2018). Y para ello se han empleado diferentes softwares o herramientas de modelación,

índices e indicadores y metodologías (Figura 4), que han ayudado a medir el nexo y con ello evaluarlo en un contexto real para determinar si este puede ser sostenible y generar estrategias de gestión pertinentes para cada área de estudio (Correa-Porcel *et al.*, 2021; Purwanto *et al.*, 2021).

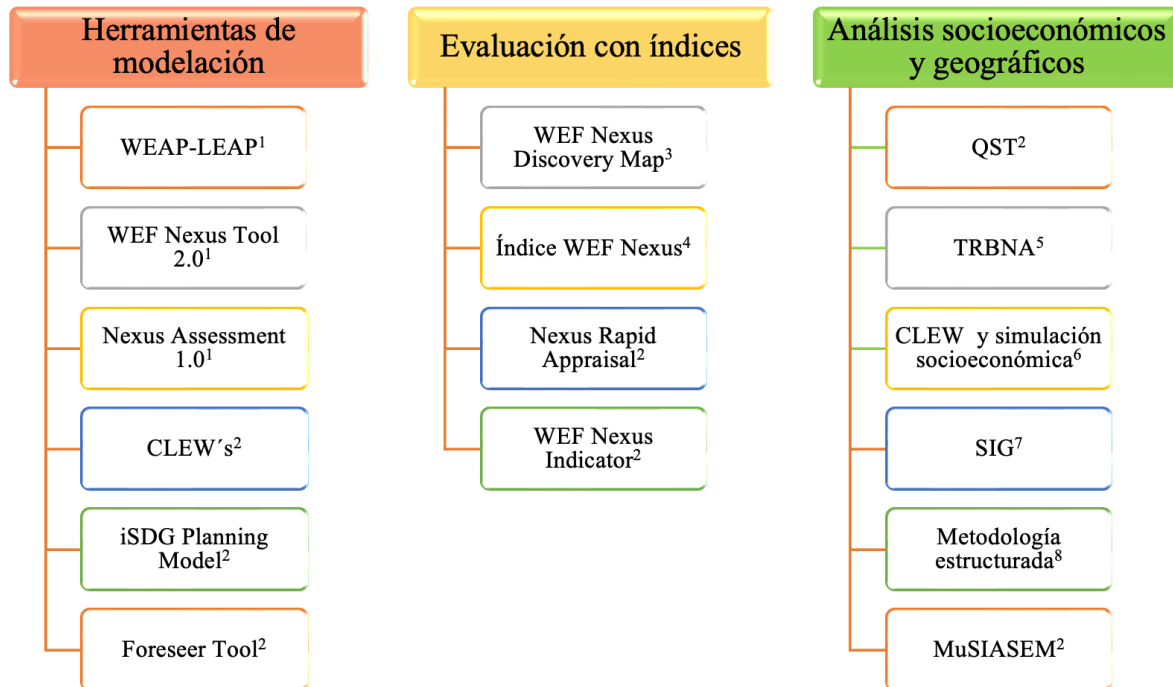


Figura 4: Tipos de análisis y herramientas para evaluar el nexo WEF. Fuente: Elaboración propia

QST: Análisis de políticas y narrativas sobre gobernanza, TRBNA: Cenca fluvial transfronteriza, SIG: Sistemas de Información Geográfica, MuSIASEM: Contabilidad integrada multiescala del metabolismo social y de los ecosistemas.

¹ Fernandes Torres *et al.*, 2019; ² Borge-Diez *et al.*, 2022; ³ Arenas *et al.*, 2021; ⁴ Simpson *et al.*, 2022; ⁵ Lazaro, *et al.*, 2022; ⁶ Chang *et al.*, 2016; ⁷ Almulla *et al.* 2020; Susnik, 2022; ⁸ Botai *et al.*, 2021.

Cabe resaltar, que, al analizar el diagrama y la literatura sobre las herramientas empleadas en la evaluación del nexo, estas por lo general crean escenarios donde se enfatizan las malas prácticas de gobernanza que se han creado para minimizar los efectos dañinos de algún recurso. Pero rara vez cuantifican el alcance de las sinergias existentes en el nexo, es decir, no se ha logrado esclarecer en qué medida un recurso ejerce presión sobre los demás recursos, cuando aumenta la demanda de uno de ellos (Li, *et al.* 2019)

Por ello, sigue siendo preponderante el lograr evaluaciones multidisciplinarias del nexo, de tipo cuantitativas y cualitativas involucrando a todas las partes interesadas, para de esta forma desarrollar acciones y políticas que generen un desarrollo económico, social, ambiental, pero sobre todo un bienestar global sostenible.

En concordancia con lo anterior, se presentan cuatro ejemplos representativos que han ayudado a medir y evaluar el Nexo WEF (Tabla 1). Resaltando que en cada caso se emplearon herramientas diferentes para el análisis, debido a que el enfoque de nexo WEF comienza a evaluarse en contextos más específicos y para dar soluciones a problemas más puntuales.

Es así que, Li *et al.* (2019) evaluaron en la Ciudad de Shenzhen, China, el grado de sinergia que existe entre los tres recursos, es decir, la intensidad que surge de la relación entre dos parámetros de orden conectados, resultando el subsistema de alimentos el más alto (0.36). En el caso del subsistema energía, el parámetro demanda total de energía resultó ser el que tiene mayor sinergia relacionándolo con los demás parámetros. Así mismo, a pesar de que el subsistema agua reportó el grado de sinergia más bajo entre sus parámetros, se determinó que este recurso es el más fundamental en el nexo WEF, debido a que tiene gran peso en la producción de alimentos y energía. Comprobándose que el subsistema agua influye de manera crucial en los demás subsistemas, particularmente en su parámetro cantidad de suministro de agua. Siendo estos resultados una base para identificar y generar estrategias que formulen políticas más efectivas en beneficio de la sociedad.

De igual forma, Wolde *et al.* (2022) utilizaron el Proceso de Jerarquía Analítica para generar un índice compuesto denominado ILWEF, que ayudara a cuantificar el nexo tierra-agua-energía-alimentos. Se estimó que el ILWEF para la zona de estudio fue de 0.083, lo cual representó una baja sostenibilidad del uso y gestión eficiente de los cuatro recursos, debido a que se encuentra muy lejos del valor 1 que representa la mejor sostenibilidad del sistema.

Para el caso de México, existen pocas investigaciones relacionadas con el nexo agua-energía-alimentos. Sin embargo, en el estado de Hidalgo sobresalen dos estudios de caso en donde se empleó el nexo para evaluar la sostenibilidad y gestión adecuada tanto del recurso agua, como el de alimentos.

Tabla 1. Ejemplos de evaluación del nexo WEF

Región y periodo	Herramientas	Resultados relevantes	Referencia
Ciudad de Shenzhen, China (2010-2016)	Modelo sinérgico Gephi Ucinet Análisis de centralidad	Grado de sinergia SW= 0.28 SE= 0.31 SF= 0.36	Li, <i>et al.</i> , 2019
África Oriental	AHP Matriz comparación por pares Modelo de ponderación	ILWEF=0.083 =Baja sostenibilidad	Wolde, <i>et al.</i> , 2022
Valle del Mezquital, Hidalgo, México	Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP) Generación de escenarios	Utilización de riego por goteo reduciría en 42% la demanda de agua. Las demandas inerciales aumentarán 37% en 2030 y 76,5% en 2050	Chamizo-Checa, <i>et al.</i> , 2020
Llanos de Apan, Hidalgo, México	Sistemas de Información Geográfica Indicadores de consumo hídrico	Mayor porcentaje de producción relacionado con precipitación y tipo de cultivo	Corona <i>et al.</i> , 2020

SW: Sistema agua; SE: Sistema energía; SF: Sistema alimentos; AHP: Proceso de jerarquía analítica; ILWEF: Índice de Nexo tierra-agua-energía-alimentos compuesto.

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior nos vislumbra un panorama para nuevas investigaciones donde se aplique el enfoque nexo para la producción de alimentos, con un uso eficiente de los recursos agua y energía.

5. Conclusiones

Los hallazgos en la literatura del nexo WEF, nos ayudan a concluir que deben cambiar las condiciones en que se analiza el nexo, debido a que éstas van a depender de la interacción entre diferentes factores como son sociales, económicos, climáticos, geográficos y de gobernanza. Pero a su vez, debe impulsarse una participación y concientización activa de todas las partes involucradas en el nexo WEF, para conocer todas las implicaciones a corto o largo plazo. Siendo lo anterior fundamental para poder generar estrategias de mitigación a los problemas detectados o resaltar y aprovechar las oportunidades que también puedan surgir.

Asimismo, se debe considerar que la complejidad del análisis del nexo variará principalmente por el contexto de la región donde se desarrolle y por ello, es de suma importancia definir una metodología de análisis que se adapte a dichas características.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por las facilidades brindadas. GIAC agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de doctorado en Ciencias Ambientales.

Referencias

- Almulla, Y.; Ramirez, C.; Pegios, K.; Korkovelos A.; Strasser, L.; Annukka Lipponen, A. and Howells, M. (2020). A GIS-Based Approach to Inform Agriculture-Water-Energy Nexus Planning in the North Western Sahara Aquifer System (NWSAS). *Sustainability*, 12, 7043. doi:10.3390/su12177043
- Arenas, M., Femeena, P. V., & Brennan, R. A. (2021). The Water-Energy-Food Nexus Discovery Map: Linking Geographic Information Systems, Academic Collaboration, and Large-Scale Data Visualization [Article]. *Sustainability*, 13(9), Article 5220. <https://doi.org/10.3390/su13095220>
- Bian, Z., & Liu, D. (2021). A Comprehensive Review on Types, Methods and Different Regions Related to Water-Energy-Food Nexus [Review]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), Article 8276. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168276>
- Borge-Diez, D., Garcia-Moya, F. J., & Rosales-Asensio, E. (2022). Water Energy Food Nexus Analysis and Management Tools: A Review [Article]. *Energies*, 15(3), Article 1146. <https://doi.org/10.3390/en15031146>
- Botai, J. O., Botai, C. M., Ncongwane, K. P., Mpandeli, S., Nhamo, L., Masinde, M., . . . Mabhaudhi, T. (2021). A Review of the Water-Energy-Food Nexus Research in Africa [Review]. *Sustainability*, 13(4), Article 1762. <https://doi.org/10.3390/su13041762>
- Corona, L.E., Román, G.A.D., Otazo, S.E.M., Guzmán, O.F.A., Acevedo, S.O.A. (2020). El Nexo Agua-Alimento: estudio de caso en los Llanos de Apan, Hidalgo, México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 11(28), 272-273.
- Correa-Portel, V., Piedra-Munoz, L., & Galdeano-Gomez, E. (2021). Water-Energy-Food Nexus in the Agri-Food Sector: Research Trends and Innovating Practices [Article]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), Article 12966. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412966>
- Chamizo-Checa, S., Otazo-Sánchez, E., Gordillo-Martínez, A., Suárez-Sánchez, J., González-Ramírez, C., Muñoz-Nava, H. (2020). Megacity Wastewater Poured into A Nearby Basin: Looking for Sustainable Scenarios in A Case Study. *Water*, 12(824), 1-20. doi:10.3390/w12030824
- Chang, Y., Li, G., Yao, Y., Zhang, L., & Yu, C. (2016). Quantifying the Water-Energy-Food Nexus: Current Status and Trends [Review]. *ENERGIES*, 9(2), Article 65. <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 [Article]. *Current Science*, 117(4), 577-586. <https://doi.org/10.18520/cs/v117/i4/577-586>
- Dalla Fontana, M., Wahl, D., Moreira, F. d. A., Offermans, A., Ness, B., Malheiros, T. F., & Di Giulio, G. M. (2021). The Five Ws of the Water-Energy-Food Nexus: A Reflexive Approach to Enable the Production of Actionable Knowledge [Review]. *Frontiers in Water*, 3, Article 729722. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.729722>
- Endo, A., Burnett, K., Orenco, P. M., Kumazawa, T., Wada, C. A., Ishii, A., . . . Taniguchi, M. (2015). Methods of the Water-Energy-Food Nexus [Article]. *Water*, 7(10), 5806-5830. <https://doi.org/10.3390/w7105806>
- Endo, A., Kumazawa, T., Kimura, M., Yamada, M., Kato, T., & Kozaki, K. (2018). Describing and Visualizing a Water-Energy-Food Nexus System [Article]. *Water*, 10(9), Article 1245. <https://doi.org/10.3390/w10091245>
- Endo, A., Tsurita, I., Burnett, K., & Orenco, P. M. (2017). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus [Review]. *Journal of Hydrology-Regional Studies*, 11, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.010>
- Fernandes Torres, C. J., Peixoto de Lima, C. H., de Almeida Goodwin, B. S., de Aguiar Junior, T. R., Fontes, A. S., Ribeiro, D. V., . . . Pinto Medeiros, Y. D. (2019). A Literature Review to Propose a Systematic Procedure to Develop "Nexus Thinking" Considering the Water-Energy-Food Nexus [Review]. *Sustainability*, 11(24), Article 7205. <https://doi.org/10.3390/su11247205>
- Gai, B., Hirsh, S. B., Yang, E., Li, E. Y. C., & Hong-Yi. (2022). A Comprehensive Review of the Nexus of Food, Energy, and Water Systems: What the Models Tell Us [Review]. *Journal of Water Resources*

- Planning and Management*, 148(6), Article 04022031. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001564](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001564)
- Haji, M.; Govindan, R. and Al-Ansari, T. (2020). Novel approaches for geospatial risk analytics in the energy–water–food nexus using an EWF nexus node. *Computers and Chemical Engineering*, 140, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106936>.
- Hogeboom, R. J., Borsje, B. W., Deribe, M. M., van der Meer, F. D., Mehvar, S., Meyer, M. A., . . . Nelson, A. D. (2021). Resilience Meets the Water-Energy-Food Nexus: Mapping the Research Landscape [Review]. *Frontiers in Environmental Science*, 9, Article 630395. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.630395>
- Hoolohan, C., Larkin, A., McLachlan, C., Falconer, R., Soutar, I., Suckling, J., . . . Yu, D. (2018). Engaging stakeholders in research to address water-energy-food (WEF) nexus challenges [Article]. *Sustainability Science*, 13(5), 1415-1426. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0552-7>
- Lazaro, L. B., Bellezoni, R. A., Puppim de Oliveira, J. A., Jacobi, P. R., & Giatti, L. L. (2022). Ten Years of Research on the Water-Energy-Food Nexus: An Analysis of Topics Evolution [Review]. *Frontiers in Water*, 4, Article 859891. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.859891>
- Leck, H., Conway, D., Bradshaw, M., & Rees, J. (2015). Tracing the Water-Energy-Food Nexus: Description, Theory and Practice [Article]. *Geography Compass*, 9(8), 445-460. <https://doi.org/10.1111/gec3.12222>
- Li, G., Wang, Y., & Li, Y. (2019). Synergies within the Water-Energy-Food Nexus to Support the Integrated Urban Resources Governance [Article]. *Water*, 11(11), Article 2365. <https://doi.org/10.3390/w11112365>
- Lin, Y. Ch.; Lin, Ch. Ch.; Lee, M.; Chiueha, P. T.; Lo, S. L. and Liou, M. L. (2019). Comprehensive assessment of regional food-energy-water nexus with GIS- T based tool. *Resources, Conservation & Recycling*, 15, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104457>.
- Liu, S., & Zhao, L. (2022). Development and synergetic evolution of the water-energy-food nexus system in the Yellow River Basin [Article Early Access]. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20405-9>
- Loeb, B. L. (2016). Water-Energy-Food Nexus [Editorial Material]. *OZONE-Science & Engineering*, 38(3), 173-173. <https://doi.org/10.1080/01919512.2016.1166029>
- Meneguzzo, F., Zabini, F., Albanese, L., & Crisci, A. (2019). Novel Affordable, Reliable and Efficient Technologies to Help Addressing the Water-Energy-Food Nexus [Article]. *European Journal of Sustainable Development*, 8(4), 1-17. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2019.v8n4p1>
- Molajou, A., Afshar, A., Khosravi, M., Soleimani, E., Vahabzadeh, M., & Variani, H. A. (2021). A new paradigm of water, food, and energy nexus [Article Early Access]. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13034-1>
- Purwanto, A., Susnik, J., Suryadi, F. X., & de Fraiture, C. (2021). Water-Energy-Food Nexus: Critical Review, Practical Applications, and Prospects for Future Research [Review]. *Sustainability*, 13(4), Article 1919. <https://doi.org/10.3390/su13041919>
- 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. *Frontiers in Environmental Science*, 7, Article 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>
- Simpson, G. B., Jewitt, G. P. W., Becker, W., Badenhurst, J., Masia, S., Neves, A. R., . . . Pascual, V. (2022). The Water-Energy-Food Nexus Index: A Tool to Support Integrated Resource Planning, Management and Security [Article]. *Frontiers in Water*, 4, Article 825854. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.825854>
- Susnik, J. (2022). Editorial: (10 Years) Water-Energy-Food Nexus: Advances in W-E-F Nexus Approaches From the Global South: From Theory to Practice [Editorial Material]. *Frontiers in Water*, 4, Article 926124. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.926124>
- Wang, J., Ju, K., & Wei, X. (2022). Where Will 'Water-Energy-Food' Research Go Next?-Visualisation Review and Prospect [Review]. *SUSTAINABILITY*, 14(13), Article 7751. <https://doi.org/10.3390/su14137751>
- Wolde, Z., Wu, W., Ketema, H., Karikari, B., & Liu, X. S. (2022). Quantifying Sustainable Land-Water-Energy-Food Nexus: The Case of Sustainable Livelihoods in an East African Rift Valley. *Atmosphere*, 13(4), Article 638. <https://doi.org/10.3390/atmos13040638>
- Zhang, C., Chen, X., Li, Y., Ding, W., & Fu, G. (2018). Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies [Review]. *Journal of Cleaner Production*, 195, 625-639. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194>