

EL ROL DEL NEXO AGUA-ENERGÍA EN LA TRANSICIÓN A CIUDADES INTELIGENTES: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Jazmín M. del R. Sorani, Lucas Seghezzo y Martín A. Iribarnegaray*

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Avenida Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina.

Tel. +54-387-4255516; E-mail: miribarnegaray@conicet.gov.ar

RESUMEN: La rápida urbanización está ocurriendo simultáneamente con el cambio climático. Ambos desafíos han llevado a académicos, responsables políticos y profesionales a reclamar nuevos paradigmas de planificación y gestión urbana, incluyendo conceptos como el de ciudades inteligentes y nexo agua-energía, que contribuyen a mejorar la seguridad y eficiencia de la gestión de los recursos, logrando una mejora en la eficiencia global del sistema y un avance en cuanto a los ODS. El objetivo principal de este trabajo fue determinar mediante una revisión bibliográfica sistemática el estado actual del conocimiento y el debate académico respecto al nexo agua-energía en la transición a ciudades inteligentes. Los resultados muestran que, si bien son pocos los trabajos que actualmente discuten en forma profunda las interrelaciones entre ambos conceptos y generan propuestas y discusiones respecto a la necesidad de su estudio en conjunto; la evolución del tema en los últimos años ha incrementado tanto en número de trabajos como también en la forma de abordarlos y por lo tanto, es posible que la investigación siga en aumento debido a la necesidad de resolver los problemas urbanos desde un enfoque inteligente e integral, en el cual el nexo juega un papel fundamental.

Palabras clave: eficiencia energética, gestión del agua, sustentabilidad urbana y cambio climático

INTRODUCCIÓN

Las últimas proyecciones de las Naciones Unidas sugieren que la población mundial podría crecer hasta 9.700 millones en 2050, además, se espera que para ese mismo año el 70% de la población mundial habite en centros urbanos (UNDESA, 2018; UNDESA, 2022). Por otro lado, la experiencia mundial en materia de servicios públicos metropolitanos, especialmente en países en desarrollo, demuestra que el crecimiento de las ciudades suele producirse más rápidamente que la planificación urbana, siendo esta última, en muchos casos, inexistente (Iribarnegaray et al., 2021), incrementando así la vulnerabilidad frente a los cambios sociales y ambientales; debido al aumento de la presión sobre los recursos y de la demanda en servicios de energía, agua y saneamiento, entre otros (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2014). Esta rápida urbanización está ocurriendo simultáneamente con el cambio climático, y ambos desafíos sin precedentes han llevado a académicos, a responsables políticos y a profesionales a requerir nuevos paradigmas de planificación y gestión urbana, incluyendo conceptos como el de ciudades inteligentes (Obringer y Nateghi, 2021). Además, desde el año 2020 la pandemia de COVID-19, un evento disruptivo, se sumó como nuevo desafío a nivel mundial y, de hecho, ha proporcionado oportunidades que pueden ser aprovechadas por los planificadores urbanos (Sharifi, 2021), ya que las ciudades bien planificadas son esenciales para alcanzar muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales son fundamentales para hacer frente al cambio climático (ONU-Hábitat, 2019).

Existen recursos limitados e indispensables para el desarrollo de las ciudades, tales como el agua y la energía. Es así como, las áreas urbanas representan dos tercios de la demanda de energía primaria y el 70% de las emisiones totales de dióxido de carbono relacionadas con la energía. Además, se espera que para 2050 la demanda de energía se duplique a nivel mundial (International Energy Agency, 2015; International Renewable Energy Agency, 2016; Amado et al., 2018). Por otro lado, respecto al agua en los entornos urbanos, además del incremento en su demanda, existen problemas relacionados a este recurso, entre los que se pueden mencionar: la disponibilidad de recursos hídricos naturales, sobreutilización o mala gestión del recurso, sequías, problemas de calidad de agua, altos consumos de energía, o incluso desastres naturales que pueden afectar las pautas de uso final (Mutchek y Williams, 2014; Voltz y Grischek, 2018). Por lo tanto, la gestión del agua en las ciudades requiere de nuevos enfoques que permitan balancear las necesidades de consumo con una oferta sustentable en el tiempo y repensar los paradigmas actuales en relación con los servicios de agua y saneamiento (Chirisa et al., 2017).

El Nexo Agua -Energía (WEN)

Muchos de los grandes desafíos y oportunidades a los que nos enfrentamos bajo el marco del ODS 7 (energía asequible, segura, sostenible y moderna), tienen una fuerte interdependencia con el suministro de agua potable y el saneamiento (ODS 6). Sin un aumento en la eficiencia de gestión en estos objetivos, avanzar hacia los demás ODS se hace difícil ya que la seguridad energética queda vinculada a los problemas, soluciones y opciones relacionadas con la gestión sostenible del agua (Emmanuel y Clayton, 2018). Tradicionalmente, los sistemas de agua y energía se diseñan y operan por separado (Zhao et al., 2021). Sin embargo, ambos son mutuamente interdependientes y con la creciente preocupación por la seguridad del agua y la energía en todo el mundo, la exploración detallada de las interrelaciones entre estos recursos, conocida como “Nexo Agua-Energía” o “WEN” por sus siglas en inglés, ha atraído una gran atención de modo que se ha ampliado su investigación en escala y alcance en la última década (Dai et al., 2018). En muchos casos el agua es necesaria para generar energía a partir de centrales hidroeléctricas, en sistemas industriales de refrigeración, para la extracción de combustibles fósiles, entre otras aplicaciones (Ahmad et al., 2020). La energía es necesaria para extraer, bombear, elevar, recoger, transportar y tratar el agua; siendo la parte con más gasto de energía el bombeo en origen y el tratamiento de aguas residuales debido principalmente a las distancias y pendientes a lo largo del sistema (Mutchek y Williams, 2014; Zambrano-Prado et al., 2021). El uso de energía para el suministro de servicios de agua representa un presupuesto importante, que, junto con el aumento de la densidad de población y la mayor vulnerabilidad al cambio climático, hace que sea fundamental la gestión eficaz de los sistemas interdependientes de agua y energía para el desarrollo sostenible (Venkatesh et al., 2014; Dai et al., 2018).

Las Ciudades Inteligentes (SC)

Debido a las crecientes problemáticas del ambiente urbano, la sustentabilidad de las ciudades y los espacios urbanos son motivo de estudio desde hace varias décadas (Zhao et al., 2013). Un concepto que ha tomado fuerza en la última década y que podría responder a muchas de las problemáticas planteadas es el de “Ciudad Inteligente” o “SC” por sus siglas en inglés. La idea del concepto surgió de la aplicación de soluciones de alta tecnología a los problemas urbanos, pero sobre todo del uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para conectar a las personas, las instituciones políticas y las empresas; brindando así, un amplio espectro de soluciones y programas urbanos que buscan alcanzar un conjunto amplio de objetivos (Dameri, 2013). El término de ciudad inteligente se usa en la planificación urbana para indicar la dirección estratégica de sus políticas y programas para lograr un desarrollo económico sostenible y proporcionar un entorno de calidad de vida alto para sus ciudadanos (Ballas, 2013). El ODS 11, que plantea “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” (ONU, 2018), también se vincula fuertemente con el WEN. Por otro lado, la transición energética y la transición hacia ciudades inteligentes son procesos enmarcados en la agenda 2030 y aunque la integración de la transición energética en el desarrollo de las ciudades inteligentes aún no se ha estudiado en profundidad es evidente que el desarrollo de una ciudad inteligente puede contribuir a la transición energética dado que comparten algunos aspectos comunes (Lim et al., 2019).

El objetivo principal de este trabajo fue determinar, por un lado, la evolución temporal de la investigación sobre las SC y el WEN en los últimos años y para abordarlo se consultaron artículos de revisión sobre el concepto de SC, como también documentos y plataformas de organismos oficiales abocados al tema. Por otro lado, fue analizar el estado actual del conocimiento y los principales debates a nivel mundial respecto al rol del WEN en la transición a SC, intentando entender cuál ha sido la evolución del tema en los últimos años e identificando los principales campos de investigación, los vacíos de conocimiento, y la potencial evolución de la investigación en el futuro. Para esta segunda parte también se realizó una revisión bibliográfica.

METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos del trabajo se realizaron dos búsquedas bibliográficas sistemáticas. La primera búsqueda se llevó a cabo con el fin de obtener una visión general de los conceptos por separado y además determinar la evolución de los conceptos en simultáneo. La segunda búsqueda se realizó con el objetivo de determinar el estado actual del conocimiento en el campo del nexo agua energía para la transición a ciudades inteligentes. Las mismas se resumen a continuación en los siguientes pasos:

Primera búsqueda:

- Se recurrió a la base de datos de Google Scholar, la búsqueda se llevó a cabo en junio de 2022. En primer lugar, se definió como lapso temporal los últimos 10 años, es decir desde 2012 a 2021, además se adicionaron los primeros seis meses del año 2022.
- Se introdujo en el buscador del sistema “*Smart Cities*” para cada año (de 2012 a 2022), luego se repitió el procedimiento para el término “*Water energy-nexus*” y por último se buscaron los dos conceptos juntos: “*Smart Cities*” AND “*Water Energy Nexus*”.
- Con el objetivo de visualizar la evolución de los dos temas, primero por separado y luego juntos, se construyeron tres tablas: la primera con el número de trabajos encontrados por el buscador correspondiente a cada periodo de tiempo y para el término “*Smart Cities*”; la segunda con el número de trabajos encontrados por el buscador correspondiente a cada periodo de tiempo y para el término “*Water energy-nexus*” y la tercera con el número de trabajos encontrados por el buscador correspondiente a cada periodo de tiempo y para ambos términos juntos. Estas tablas sirvieron para luego generar gráficos.

Segunda búsqueda:

- La segunda búsqueda fue sistemática y se realizó entre marzo y abril de 2022 en Google Scholar, se consideró las publicaciones de los últimos 5 años (2017-2021) como también los trabajos correspondientes a los primeros cuatro meses del año 2022. Se obtuvieron 352 trabajos. Luego se seleccionaron los artículos de revista con acceso abierto. Los libros y tesis sirvieron como bibliografía complementaria.
- Se llevó a cabo un filtro manual de los artículos de la siguiente manera: se seleccionaron aquellos que contenían explícitamente “*Water Energy nexus*” o “*Energy Water Nexus*” y “*Smart Cities*” (SC) o “*Smart City*”, ya sea en el título, en el resumen y/o en las palabras claves. En el caso de WEN también se aceptó: “*Water Energy Food Nexus*” y “*Water Energy Food Climate Nexus*”. Mientras que, los términos que se consideraron como estrechamente relacionados con el término SC fueron: “*Urban Water Systems*”, “*Sustainability Cities*”, “*Sustainability Urban Development*” y “*Urban Sustainability*”. En esta instancia se descartaron 318 trabajos quedando sólo 34 trabajos para un segundo análisis.
- Luego de analizar los resúmenes y realizar una lectura general y completa de cada uno de los 34 trabajos, se seleccionaron aquellos más relevantes. El criterio de selección fue que en el trabajo se hubiera desarrollado ya sea conceptualmente o mediante aplicación o caso de estudio el WEN en una SC. En esta instancia quedaron 15 trabajos, los cuales fueron clasificados por la presencia de aspectos

de Ciudad inteligente y nexo agua-energía, solo algunos pocos discuten en forma profunda las interrelaciones entre ambos conceptos.

En el siguiente esquema (*Figura 1*) se resume la segunda búsqueda:

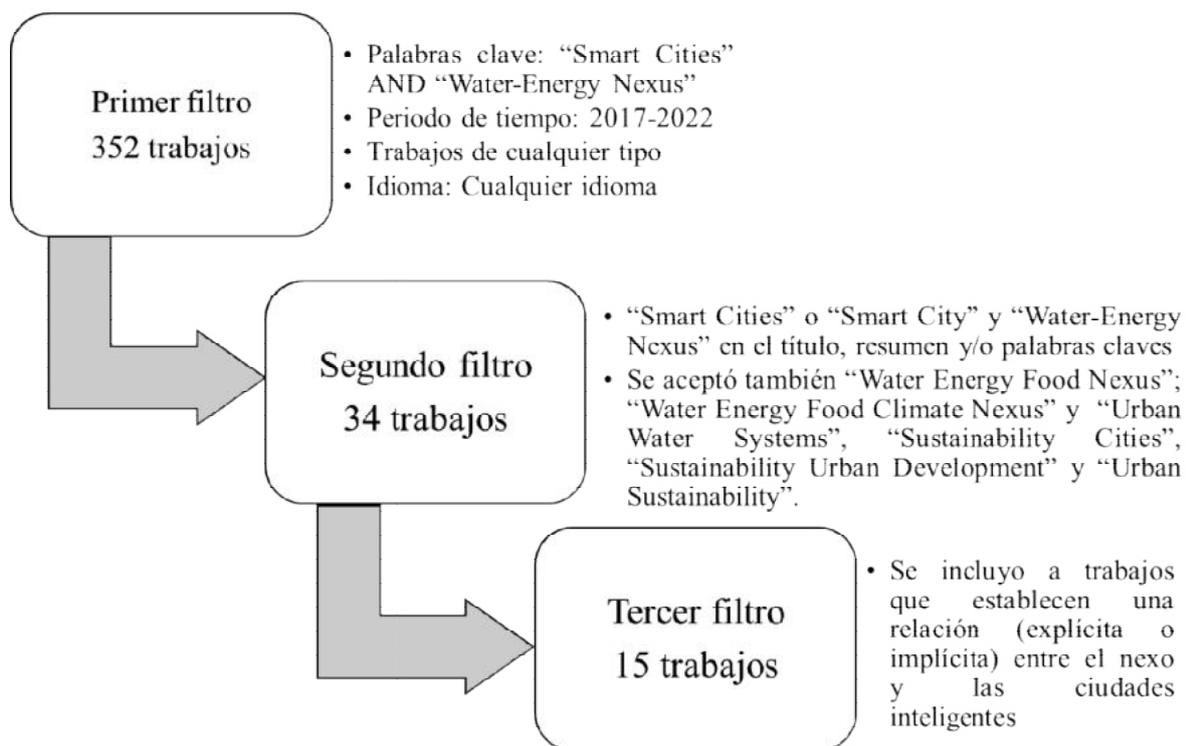


Figura 1: Resumen de la segunda búsqueda sistemática.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No existe una definición final de ciudad inteligente que pueda ajustarse a todos los conceptos y definiciones (O'grady y O'hare, 2012). Si bien el concepto de ciudad inteligente surgió aproximadamente en 1994, recién a partir del año 2010 tomó relevancia debido a su estrecha relación con dos hechos: i) el uso del término "smart" en proyectos de la Unión Europea (UE Setis Project) y ii) el lanzamiento del primer teléfono inteligente en 2007 (i phone) relacionado al mismo tiempo con internet y con la conexión y transmisión de datos en tiempo real de otros dispositivos tecnológicos (Dameri y Cocchia, 2013). Por otro lado, si bien la interrelación de dependencia que existe entre el sector del agua y la energía es tan antiguo como la existencia de los mismos (Fontenelle et al., 2022), la popularidad del término de "Nexo Agua-Energía" se remonta al Foro Económico Mundial de 2008 en el que se identificaron los retos globales en términos de crecimiento económico desde el punto de vista del nexo agua-energía (Waughray, 2011) y ha tomado importancia en los últimos años a partir de la necesidad de hallar soluciones integrales para abordar de manera eficiente la gestión de los servicios en los entornos urbanos.

Evolución temporal de los conceptos "Nexo Agua-Energía" y "Ciudades inteligentes"

Los resultados de la primera búsqueda se muestran en el gráfico (*Figura N° 2*), en el cual se puede observar que en los últimos años tanto los trabajos sobre SC como aquellos sobre el WEN experimentaron un aumento. Además, se puede decir que el concepto "Nexo agua-energía" es relativamente poco frecuente ya que se trata de un término relativamente específico a la hora de abordar una investigación con un enfoque de nexo, mientras que la complejidad del concepto de "Ciudad Inteligente" y su uso actualmente tan genérico conducen a un número mucho mayor de trabajos sobre este tema. Por otro lado, si bien el número de trabajos académicos que abordan el WEN y SC en conjunto va en ascenso año tras año, para cada periodo es significativamente menor que en los

anteriores casos. Tanto así que, por ejemplo, para el año 2012 se encontraron 2.080 trabajos sobre SC, 285 trabajos sobre WEN y solo 1 trabajo que aborda ambos temas. Sin embargo, en los tres casos existe un ascenso continuo e importante en el número de trabajos a través de los años, ya que para el año 2021 se encontraron 26.300 sobre SC, 1.980 sobre WEN y 68 trabajos de WEN y SC. Esto da cuenta de que no solo el nexo y las SC (por separado) se consideran cada vez más relevantes para los investigadores, sino que, además, el enfoque de nexo parece ser cada vez más elegido para abordar el estudio de los sistemas de agua y energía en las SC.



Figura 2: Evolución temporal de los conceptos “Nexo Agua-Energía” y “Ciudades Inteligentes”. Agosto 2022. WEN: nexo agua energía; SC: smart cities.

En la bibliografía disponible se encuentran diferentes conceptos de ciudad inteligente, en función del campo de investigación y contexto que se tome. El término ha sido reconocido universalmente como un concepto global que refiere a mejorar la habitabilidad, la sostenibilidad y la calidad de vida mediante aplicaciones basadas en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en las áreas urbanas (Sukhuani, 2020). En líneas generales, se trata de ciudades que se basan en la tecnología para lograr la modernización de la infraestructura construida y la eficiencia en el uso de recursos. El concepto se asienta en cuatro aspectos principales; i) Socioeconómico, ii) Ambiental-Sostenible, iii) Infraestructura y tecnología, y IV) Gobernanza y participación ciudadana activa. El objetivo principal de una SC es aumentar la calidad de vida de las personas que habitan la ciudad, lo que implica acceder a servicios públicos más seguros, incluyendo, entre otros, aspectos como el suministro de energía y de agua, el transporte, la salud, la educación, la gestión urbana y la respuesta a las emergencias. Además, en el nuevo paradigma de las SC existe una participación ciudadana activa donde el ciudadano no solo cumple un rol de usuario o consumidor, al utilizar las tecnologías y servicios, sino que además y gracias a los avances tecnológicos genera y/o brinda datos e información (de manera consciente e inteligente) que sirven para la mejora continua de los servicios y, además, permiten al ciudadano tomar un nuevo rol: el de prosumidor.

El nexo agua-energía en la transición a ciudades inteligentes

Existen cada vez más publicaciones en las que el enfoque WEN es aplicado o relacionado con las SC y esto, aparentemente, se debe al enfoque integral que ofrece el WEN y a la importancia tanto de ambos recursos que son indispensables para la vida urbana, lo cual lleva a buscar infraestructura con

tecnología avanzada que permita un uso eficiente de los mismos. A partir de los 15 estudios que trabajaron en alguna relación directa entre los conceptos y aplicaciones de WEN y SC (ver Tabla N° 1) se logró determinar que en los continentes donde mayormente se investiga el WEN en la transición a SC son Asia y Europa, en el caso de Asia se encontró un trabajo por cada uno de los siguientes países: Japón, China, Omán, India, Corea y Vietnam. En cambio, para el caso de Europa se encontró que en Italia se encuentra la mitad (tres) de los trabajos publicados. Por otro lado, de los 15 (quince) trabajos, seis se abordaron desde un enfoque de “Nexo Agua - Energía – Alimentos” o “WEFN” por sus siglas en inglés y de esos seis, tres corresponden a Asia y los otros tres a Europa. Así mismo, de los quince trabajos, siete corresponden al año 2020, tres al año 2019, dos al año 2021, dos al año 2017 y solo uno al año 2018, mientras que para el periodo de los primeros cuatro meses del año 2022 no se encontró ningún trabajo.

Tabla 1: Detalle de los 15 trabajos científicos analizados en la etapa final de la revisión bibliográfica

Autor/es	Año	País	Título de la publicación
Sukhwani <i>et al.</i>	2020	Japón	Role of smart cities in optimizing water-energy-food Nexus: Opportunities in Nagpur, India
Ahmad <i>et al.</i>	2020	China	Water energy nexus and energy efficiency: a systematic analysis of urban water systems
Radini <i>et al.</i>	2021	Italia	Urban water-energy-food-climate nexus in integrated wastewater and reuse systems: Cyber-physical framework and innovations
Yenneti <i>et al.</i>	2019	Australia	Smart Energy Management Policy in India- A Review
Tanavade <i>et al.</i>	2021	Oman	Water from sun: an energy conservation initiative for smart cities
Li <i>et al.</i>	2017	EEUU	Modeling A Micro-Nexus of Water and Energy for Smart Village/Cities/Buildings
Artioli <i>et al.</i>	2017	Francia	The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance
Dalla Fontana <i>et al.</i>	2019	Países Bajos	The politics of the nexus in the city of Amsterdam
Pampana <i>et al.</i>	2020	Alemania	A Smart Energy Management System for Cross-sectoral Coupling and Water-energy Nexus
Pindoriya <i>et al.</i>	2018	India	Intelligent Hardware-Software Platform for Efficient Coupling of Water-Energy Nexus in Smart Cities: A Conceptual Framework
Song	2020	Corea	A Case Study on Energy focused Smart City, London of the UK: Based on the Framework of ‘Business Model Innovation’
Loung <i>et al.</i>	2020	Vietnam	Investigating urban household water - energy nexus towards supporting sustainable and smart city policies: The case of Hanoi City, Vietnam
McLean y Roggema	2019	Australia	Planning for a Prosumer Future: The Case of Central Park, Sydney
Giudicianni <i>et al.</i>	2020	Italia	Zero-net energy management for the monitoring and control of dynamically-partitioned smart water systems
Giudicianni <i>et al.</i>	2020	Italia	Overview of Energy Management and Leakage Control Systems for SmartWater Grids and DigitalWater

Entre estos quince trabajos científicos, que fueron clasificados por la presencia de aspectos de Ciudad inteligente y nexo agua-energía, solo algunos (seis) discuten en forma profunda las interrelaciones entre ambos conceptos, integrando a estos en el análisis y generando propuestas y discusiones respecto a la necesidad de su estudio en conjunto. De esos seis, los primeros tres fueron estudios bibliométricos que analizan antecedentes de aplicación del nexo agua-energía en el contexto de proyectos orientados a la ciudad inteligente. Entre ellos, Sukhwani et al. 2020 realiza un análisis bibliométrico para determinar el rol y la potencialidad del concepto de ciudad inteligente para la optimización del nexo agua-energía, usando como estudio de caso la ciudad de Nagpur, en la India. Estos autores concluyeron que las características de las TIC se pueden emplear para mejorar el conocimiento de los servicios ambientales como el agua y la energía. Por otra parte, las TIC también pueden brindar una oportunidad genuina a los gobiernos de las ciudades para crear conocimientos sobre los patrones de consumo de recursos y tomar decisiones informadas para optimizar el nexo agua-energía. Por su parte, Radini et al., 2021 también realiza un estudio bibliométrico sobre el nexo agua-energía, concluyendo que, en el desarrollo de una ciudad inteligente, el enfoque de nexo debe colocarse en el centro del plan. El trabajo también describe distintos estudios donde se analizaron tecnologías de gestión de agua y saneamiento para minimizar los consumos de energía y brindar una gestión más sustentable. Otro estudio bibliométrico fue realizado por Ahmad et al. (2020), quienes revisaron el alcance, los objetivos y los distintos enfoques que se han utilizado en los estudios referidos al nexo agua-energía en sistema de agua urbanos. La investigación se centró en metodologías, modelos y factores que afectan el nexo agua-energía en su interacción con aspectos relacionados a las ciudades inteligentes.

Más allá de las revisiones bibliográficas, Artioli et al. (2017) estudiaron la urbanización de la agenda del nexo agua-energía, considerando las implicaciones de la integración de políticas para la gobernanza urbana. Examinaron el nexo en el contexto de los enfoques actuales de la gobernanza urbana y las relaciones de poder que dan forma al suministro de agua, energía y alimentos en ciudades. Los autores exploraron diferentes hipótesis para definir la interacción entre las políticas y la gobernanza urbana, haciendo un análisis profundo de la implementación del nexo agua-energía a través del enfoque de ciudades inteligentes. Otros trabajos se centraron fundamentalmente en aspectos tecnológicos. Ese es el caso de Pampana et al. (2020), donde se plantea que el acoplamiento de la infraestructura de productos básicos como agua y energía, y su integración óptima con las tecnologías de la información es un desafío para las ciudades inteligentes. En este trabajo, los autores presentaron una arquitectura de plataforma integrada para gestionar las infraestructuras de agua y energía en GIFT City (un distrito comercial planificado en Gujarat, India), utilizando las TIC. Otro artículo muy centrado en lo tecnológico es el de Pindoriya et al. (2018), donde se presenta un marco conceptual de una plataforma de hardware y software inteligente basada en Internet de las cosas (IoT) para gestionar de manera eficiente las infraestructuras más críticas en ciudades inteligentes: tecnologías de agua y energía. Como resultado, los autores concluyeron que se puede lograr una reducción considerable en los costos operativos mediante la aplicación de sistemas solares fotovoltaicos y BES (almacenamiento de energía en batería), concluyendo que la infraestructura de comunicación junto a las técnicas de optimización son un aporte clave para resolver los desafíos existentes en el nexo agua-energía.

Las ventajas del enfoque de WEN en la transición a las SC

El ahorro y la eficiencia en el uso de energía puede reducir la presión sobre los recursos hídricos, ya que el agua necesaria para producir la energía puede ahorrarse o reasignarse. Por su parte, el aumento de la eficiencia en el consumo del agua también puede reducir la cantidad de energía consumida para transportar, calentar y tratar el agua. Además, la optimización y disminución del consumo energético de los sistemas de gestión del agua y el saneamiento en los ámbitos urbanos y metropolitanos está en estrecha relación a los patrones de consumo y utilización de agua en los hogares y las tecnologías de uso, calefacción y almacenamiento (Duan y Chen, 2016). De esta manera, el enfoque del nexo agua-energía puede aportar a mejorar la seguridad y eficiencia de la gestión de estos recursos limitados mediante una coordinación óptima de las múltiples infraestructuras energéticas, logrando una mejora en la eficiencia global del sistema y un avance en la penetración de las energías renovables lo cual facilita el alcance de los ODS (Arthur et al., 2019; Zhao et al., 2021). Dado que los beneficios de la eficiencia del nexo pueden recaer en diferentes actores, por ejemplo, empresas de servicios públicos, propietarios de viviendas y la sociedad en su conjunto, se podrían plantear importantes cuestiones

sobre cómo distribuir los costes entre los beneficiarios. Es crucial, entonces, que los proyectos de los servicios de prestación tanto de agua como de energía que se desarrollen a nivel de ciudad o área metropolitana tengan en cuenta no sólo el enfoque teórico del WEN, sino también la relación cuantitativa entre ambos recursos para así orientar tanto las acciones como la formulación de políticas públicas hacia resultados óptimos y riesgos mínimos. Para lograr estos objetivos es necesario apoyar la investigación y el desarrollo, con la cooperación del Estado y las empresas prestadoras de servicios.

El rol de la tecnología en el WEN

Para poder aprovechar el potencial de los aspectos tecnológicos para el desarrollo sostenible, debe crearse un ambiente propicio con modelos de gobernanza participativos, la infraestructura correcta y plataformas técnicas, incluyendo la capacidad de construcción, la garantía de la inclusión y la disminución de la brecha digital (ONU- Hábitat, 2016). Existe una gran variedad de tecnologías que permiten hacer del WEN un componente indispensable de las SC. Así, por ejemplo, la adopción de las TIC ofrece oportunidades, sobre todo en los países en desarrollo, por ejemplo, en aquellas zonas donde se instalan infraestructuras de agua por primera vez ya que, en la fase de diseño del proyecto es más fácil de integrar el WEN si el proyecto se concibe desde el principio con la integración de estas tecnologías (Dai et al., 2018; Zambrano-Prado et al., 2021). Por otro lado, existe un uso creciente de las tecnologías basadas en el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), que consiste en dispositivos como los teléfonos inteligentes y las tabletas, pero también en dispositivos menos potentes, como los sensores, capaces de conectarse a Internet y generar una arquitectura de transmisión de datos de manera rápida y eficiente. Por su parte, las aplicaciones de teléfonos inteligentes son herramientas proactivas para proporcionar a los ciudadanos información contextualizada y útil. Otras tecnologías, como las plataformas online representan una valiosa contribución a la toma de decisiones para la planificación, ya que pueden estar relacionadas no solo al acceso a información general sobre los servicios de agua y saneamiento, sino también al uso de sistemas de información geográfica (SIG) y el desarrollo de mapas interactivos con la ubicación e información de zonas óptimas para la producción de energía y agua (Gondhalekar y Ramsauer, 2017). Así, los datos abiertos pueden transformar significativamente la forma en la que los gobiernos locales comparten información con los ciudadanos, prestan servicios y supervisan su desempeño (ONU-Hábitat, 2016). Sumado a esto y frente al cambio climático, las tecnologías en base a energía renovable pueden resultar útiles a la hora de brindar mejores servicios hídricos, particularmente a través del calentamiento solar del agua, bombeo a pequeña escala y purificación y tratamiento de agua en áreas que se encuentran fuera de la red eléctrica (Platonova y Leone, 2012). Las diferentes tecnologías mencionadas, que juegan un papel fundamental en las SC, pueden ser aplicadas de diferentes maneras en las infraestructuras urbanas existentes. De hecho, ya existen ciudades que han puesto en marcha sistemas inteligentes de agua o de energía. Los beneficios potenciales de las redes de agua inteligentes incluyen una mejor gestión de las fugas, el control de la calidad del agua, la gestión inteligente de la sequía y el ahorro de energía (Mutchek y Williams, 2014). Así mismo los sistemas energéticos inteligentes podrían llevar a un suministro más eficiente y resistente y menos costoso, al tiempo que se reduce el uso total de energía.

La transición hacia ciudades inteligentes

En la transición desde las ciudades como las conocemos hoy en día hacia las ciudades inteligentes, todos los procesos deben referir a la urgencia climática, y, por lo tanto, deberán contemplarse en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU. El ODS 11 que tiene como principal objetivo hacer a las ciudades más sostenibles y resilientes, solo se puede alcanzar de manera óptima a través del uso de las nuevas tecnologías. Es por esto que, las ciudades que nos propone la agenda climática 2030, deberán ser inteligentes, pero también debemos tener presente que debido a los nuevos desafíos, tales como la transición energética, la transición hídrica, la gobernanza para la sustentabilidad, la pandemia, entre otros, las ciudades inteligentes no solo se deben basar en el componente tecnológico (aunque sea éste mismo el que les dio origen), sino también en la reducción de los impactos ambientales, la participación ciudadana, la innovación, la productividad y competitividad, la educación e inclusión social y la movilidad eficiente, entre otros aspectos. El Estado es el principal responsable de promover la transición hacia las SC, principalmente desde la

modernización, la educación y las políticas públicas. Con respecto a los componentes de innovación, productividad y competitividad, serán las empresas en conjunto con el Estado las que tendrán un rol fundamental a la hora de promover el desarrollo de estos aspectos de manera estratégica. Por su parte, el avance en el desarrollo de diferentes tecnologías depende en gran parte del Estado con la ayuda de las empresas y esto implica también la modernización de las infraestructuras y los sistemas de gestión en los diferentes sectores de las ciudades del futuro. Por otro lado, con respecto a la participación ciudadana activa, esta transición, llevará a cambios en los sistemas, lo que al mismo tiempo significa que los actores modificarán sus roles. Así, por ejemplo, la transición energética demanda la incorporación de nuevos enfoques de gobernanza que maximizan la información y la participación ciudadana mediante la aplicación de las nuevas tecnologías (ONU-Hábitat, 2016). Es por todo esto que esta transición hacia las SC, ya sea transformando aquellas ya existentes o construyendo nuevas ciudades, inevitablemente debe desarrollarse como un proceso complejo y, por lo tanto, considerar los desequilibrios sociales actuales como un motivo y no como un obstáculo (PNUMA, 2016). Por último, es necesario entender que, si bien existen ejemplos de transición replicables, no existe un solo camino de transición hacia las SC, debido a que cada ciudad es distinta en cuanto a su configuración natural, social, económica y demográfica.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica realizada muestra que las publicaciones sobre SC como las relativas al concepto de WEN experimentaron un aumento pronunciado en todo el mundo en los últimos años, evidenciando un creciente interés de la comunidad científica. El concepto de “Nexo agua-energía” fue relativamente menos frecuente que el de SC en algunos años, pero también ha ganado fuerza recientemente. La complejidad del concepto de “Ciudad Inteligente” y su uso genérico en muchos ámbitos de investigación han conducido a un número importante de trabajos sobre este tema. Existen cada vez más publicaciones en las que el enfoque WEN es aplicado o relacionado con las SC y esto aparentemente se debe al enfoque integral que ofrece el WEN y a la importancia de ambos recursos que son indispensables para la vida urbana.

Se clasificaron 15 trabajos científicos finales que trabajaron en alguna relación directa entre los conceptos y aplicaciones de WEN y SC. Sin embargo, solo algunos (6) discuten en forma profunda las interrelaciones entre ambos conceptos, integrando a estos en el análisis y generando propuestas y discusiones respecto a la necesidad de su estudio en conjunto. Los primeros tres fueron estudios bibliométricos que analizan antecedentes de aplicación del nexo agua-energía en el contexto de proyectos orientados a la ciudad inteligente, uno realizó una discusión de la urbanización de la agenda del nexo agua-energía, considerando las implicaciones de la integración de políticas para la gobernanza urbana, mientras que dos trabajos se centraron fundamentalmente en aspectos tecnológicos de la integración del WEN en el contexto de ciudades inteligentes.

El agua y la energía son recursos indispensables para el adecuado desarrollo socioeconómico y ambiental de cualquier ciudad y por lo tanto su estudio y gestión integral desde el enfoque de nexo es indispensable para lograr una alta eficiencia en el funcionamiento de la ciudad. Es fundamental también el avance en la investigación y desarrollo de tecnologías que permitan la prestación de servicios de agua y de energía cada vez más modernos, sostenibles e integrados dada la interdependencia de estos. Los conceptos de WEN y SC atraen cada vez a más investigadores, los cuales no solo llevan el estudio del tema a mayores escalas espaciales sino también a hacia enfoques mixtos, ya no sólo cuantitativos sino también cualitativos. Los múltiples beneficios de los sistemas de redes de agua inteligentes y de los sistemas energéticos a gran escala podrían ayudar a allanar el camino hacia sistemas de agua y saneamiento más sustentables y por ende hacia transitar un camino hacia ciudades más inteligentes, entendiendo así mismo que, esta transición será particular para cada ciudad.

REFERENCIAS

Ahmad, S., Jia, H., Chen, Z., Li, Q. y Xu, C. (2020). Water-energy nexus and energy efficiency: A systematic analysis of urban water systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110381. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110381>.

- Amado, M., Poggi, F., Ribeiro Amado, A. y Breu, S. (2018). E-City Web Platform: A Tool for Energy Efficiency at Urban Level. *Energies*, 11(7), 1857. <https://doi.org/10.3390/en11071857>.
- Arthur, M., Liu, G., Hao, Y., Zhang, L., Liang, S., Asamoah, E. L. y Lombardi, G. V. (2019). Urban food-energy-water nexus indicators: A review. *Resources, Conservation & Recycling*, 151, 104481. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104481>
- Artioli, F., Acuto, M. y McArthur, J. (2017). The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance. *Political Geography*, 61, 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2017.08.009>
- Ballas, D. (2013). What makes a 'happy city'? *Cities*, 32, 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.04.009>.
- Chirisa, I., Bandaiko, E., Matamanda, A. y Mandisvika, G. (2017). Decentralized domestic wastewater systems in developing countries: the case study of Harare (Zimbabwe). *Applied Water Science*, 7(3), 1069–1078. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0377-4>.
- Dai, J., Wu, S., Han, G., Weinberg, J., Xie, X., Wu, X., Song, X; Jia, B., Xue, W. y Yang, Q. (2018). Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment. *Applied energy*, 210, 393-408. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.243>.
- Dalla Fontana, M. y Boas, I. (2019). The politics of the nexus in the city of Amsterdam. *Cities*, 95, 102388. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102388>.
- Dameri, R. P. (2013). Searching for a smart city definition: a comprehensive proposal. *International Journal of computers & technology*, 11(5), 2544-2551. <https://doi.org/10.24297/ijct.v11i5.1142>
- Dameri, R. P. y Cocchia, A. (2013). Smart city and digital city: twenty years of terminology evolution. In X Conference of the Italian Chapter of AIS, ITAIS (pp. 1-8). Recuperado de <https://bit.ly/3wkkpGb>.
- Duan, C. y Chen, B. (2016). Energy-water-carbon nexus at urban scale. *Energy Procedia* 104 (2016) 183 – 190. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.032>.
- Emmanuel, K., y Clayton, A. (2018). Calidad del agua y vínculos de la energía alternativa en las Américas. En: *Calidad del Agua en las Américas, riesgos y oportunidades*. Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS), 157-168. Recuperado de <https://bit.ly/3PFnqHT>.
- Gondhalekar, D. y Ramsauer, T. (2017). Nexus City: Operationalizing the urban Water-Energy-Food Nexus for climate change adaptation in Munich, Germany. *Urban Climate*, 19, 28–40. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.11.004>.
- Giudicianni, C., Herrera, M., di Nardo, A., Carravetta, A., Ramos, H. M. y Adeyeye, K. (2020). Zero-net energy management for the monitoring and control of dynamically-partitioned smart water systems. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119745. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119745>.
- Giudicianni, C., Herrera, M., Nardo, A. D., Adeyeye, K. y Ramos, H. M. (2020). Overview of energy management and leakage control systems for smart water grids and digital water. *Modelling*, 1(2), 134-155.
- International Energy Agency. (2016). *Energy Technology Perspectives 2016. Towards Sustainable Urban Energy Systems*. Recuperado de <https://bit.ly/3A7JR2C>.
- International Renewable Energy Agency. (2015). *Renewable Energy in the Water Energy and Food Nexus*. International Renewable Energy Agency (Issue January). Recuperado de <https://bit.ly/3CmONUb>.
- Iribarnegaray, M. A., Sullivan, A., Rodriguez-Alvarez, M. S., Brannstrom, C., Seghezzo, L. y White, D. D. (2021). Identifying diverging sustainability meanings for water policy: a Q-method study in Phoenix, Arizona. *Water Policy*, 23(2), 291-309. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.033>.
- IPCC (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change: synthesis Report. <https://doi.org/10.4135/9781446247501.n2077>.
- IPCC (2022). Synthesis Report of the Sixth Assessment Report: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de <https://bit.ly/3T9j52H>.
- Li, Q., Yu, S., Al-Sumaiti, A. y Turitsyn, K. (2017). Modeling a micro-nexus of water and energy for smart villages/cities/buildings. arXiv (1):1711.03241. <https://arxiv.org/pdf/1711.03241.pdf>.
- Lim, Y., Edelenbos, J. y Gianoli, A. (2019). Smart energy transition: An evaluation of cities in South Korea. In *Informatics* (Vol. 6, No. 4, p. 50). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Luong, N. D., Ha, U. T. T., Hung, P. T. y Minh, N. B. (2020). Investigating urban household water-energy nexus towards supporting sustainable and smart city policies: The case of Hanoi City,

- Vietnam. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 869(2) p. 022033. IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/869/2/022033.
- McLean, L. y Roggema, R. (2019). Planning for a prosumer future: The case of Central Park, Sydney. *Urban Planning*, 4(1), 172-186. <https://doi.org/10.17645/up.v4i1.1746>.
- Mutchek, M. y Williams, E. (2014). Moving towards sustainable and resilient smart water grids. *Challenges*, 5(1), 123-137. <https://doi.org/10.3390/challe5010123>.
- Obringer, R. y Nateghi, R. (2021). What makes a city 'smart' in the Anthropocene? A critical review of smart cities under climate change. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103278. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103278>.
- O'grady, M., y O'hare, G. (2012). How smart is your city? *Science*, 335(6076), 1581-1582.
- ONU-Hábitat (2016) Reporte Ciudades en el Mundo: Urbanización y desarrollo: Futuros emergentes. Recuperado de <https://bit.ly/3AyMBHH>.
- ONU (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://bit.ly/3TaLyVU>.
- ONU-HABITAT (2019). Las ciudades "causa y solución" del cambio climático. Septiembre 2019. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/las-ciudades-causa-y-solucion-del-cambio-climatico> [consulta: 13 de mayo de 2022]
- Pampana, V., Gupta, P. K. y Duchon, M. (2020). A Smart Energy Management System for Cross-sectoral Coupling and Water-energy Nexus. In SMARTGREENS 107-113. Recuperado de <https://bit.ly/3QIINdF>.
- Pindoriya, N., Duchon, M., Gupta, P. K., Pampana, V., Singh, S. N., Giza, J., Hackenberg, B., Rajput, A. K., y Jethi, J. (2018). Intelligent hardware-software platform for efficient coupling of water-energy nexus in smart cities: A conceptual framework. In EAI International Conference on Smart Cities within SmartCity360° Summit (pp. 217-231).
- Platonova, I. y Leone, M. (2012). Nexo energía-agua en el contexto del cambio climático en los países en desarrollo: Experiencias de América Latina, África Oriental y Austral. Informe de Síntesis, Programa Cambio Climático y Agua, Proyecto No.106298-02 Recuperado de <https://bit.ly/3Cj7BUc>
- PNUMA (2016). El Acuerdo de París y sus implicaciones para América Latina y el Caribe, Fundación TorcuatoDi Tella, Buenos Aires. Recuperado de <https://bit.ly/3T1Wa9v>.
- Radini, S., Marinelli, E., Akyol, Ç., Eusebi, A. L., Vasilaki, V., Mancini, A., Frontoni, E., Bischeti, G.B., Gadolfi, C. Katsou, E., y Fatone, F. (2021). Urban water-energy-food-climate nexus in integrated wastewater and reuse systems: Cyber-physical framework and innovations. *Applied Energy*, 298, 117268.
- Sharifi, A. y Khavarian-Garmsir, A. R. (2020). The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. *Science of the Total Environment*, 749, 142391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142391>.
- Song, M. (2020). A Case Study on Energy focused Smart City, London of the UK: Based on the Framework of 'Business Model Innovation'. *International journal of advanced smart convergence*, 9(2), 8-19. <http://dx.doi.org/10.7236/IJASC.2020.9.2.8>.
- Sukhwani, V., Shaw, R., Deshkar, S., Mitra, B. K. y Yan, W. (2020). Role of smart cities in optimizing water-energy-food Nexus: Opportunities in Nagpur, India. *Smart Cities*, 3(4), 1266-1292.
- Tanavade, S., Manic, S., Al-Khazraji, A. y Charkaoui, A. (2021). Water from sun: an energy conservation initiative for smart cities. 3° IET International Smart Cities Symposium, 3rd-SCS-2020, Bahrain.
- United Nations(2018). Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics (UNDESA) <https://population.un.org/wup/DataQuery/>[consulta: 05 de agosto de 2022]
- United Nations(2022). Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2022: Summary of results. (UNDESA). https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf [consulta: 05 de agosto de 2022]
- Venkatesh, G., Chan, A. y Brattebø, H. (2014). Understanding the water-energy-carbon nexus in urban water utilities: comparison of four city case studies and the relevant influencing factors. *Energy*, 75, 153-166. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.111>.

- Voltz, T. y Grischek, T. (2018). Energy management in the water sector—Comparative case study of Germany and the United States. *Water-Energy Nexus*, 1(1), 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2017.12.001>.
- Waughray, D. (2011). *Water Security: The Water Food Energy Climate Nexus*. The World Economic Forum Water Initiative. Island Press, Washington. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-026-2>.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (2014). Una visión general de las ciudades inteligentes sostenibles y el papel de las tecnologías de la información y comunicación. http://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Documents/Approved_Deliverables/TR-Overview-SSC-espanol.docx.
- Yenneti, K., Rahiman, R., Panda, A. y Pignatta, G. (2019). Smart energy management policy in India: a review. *Energies*, 12(17), 3214.
- Zambrano-Prado, P., Munoz-Liesa, J., Josa, A., Rieradevall, J., Alamús, R., Gasso-Domingo, S. y Gabarrell, X. (2021). Assessment of the food-water-energy nexus suitability of rooftops. Methodological remote sensing approach in an urban Mediterranean area. *Sustainable Cities and Society*, (75), 103287. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103287>.
- Zhao, J., Zhenga, X., Dongb, R. y Shaoc, G. (2013). The planning, construction, and management toward sustainable cities in China needs the Environmental Internet of Things. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 20(3), 195 - 198. <https://doi.org/10.1080/13504509.2013.784882>.
- Zhao, P., Gu, C., Cao, Z., Ai, Q., Xiang, Y., Ding, T., Lu, X. y Li, S. (2021). Water-Energy Nexus Management for Power Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 36(3), 2542-2554. Recuperado de <https://bit.ly/3RhV1cf>.

THE ROLE OF WATER-ENERGY NEXUS IN THE TRASITION TO SMART CITIES

ABSTRACT: A rapid urbanization is happening simultaneously with climate change, both unprecedented challenges have led scholars, political actors and professionals to claim for new paradigms of urban planning and management, including concepts such as *smart cities* and *water-energy nexus*, which contribute to improve the security and efficiency of the management of resources, achieving an improvement in the overall efficiency of the system and improving the penetration of renewable energies, which enables the achievement of the SDGs. The main objective of this work was to determine through a systematic bibliographic review the current state of knowledge on the water-energy nexus in the transition to smart cities. The results show that, although there are few works that currently discuss in depth the interrelations between both concepts and generate proposals and discussions regarding the need to study them together; the evolution of the topic in recent years has increased both in number of works and in the way they are approached, and therefore, it is possible that research will continue to increase due to the need to solve urban problems from an intelligent and comprehensive approach, in which the nexus plays a fundamental role.

Keywords: energy efficiency, water management, urban sustainability and climate change.