

**Estudio de metodologías para la evaluación ambiental de sistemas de aprovechamiento de
aguas lluvias y grises**

Ana María Garzón Zárate

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director:

Isabel Cristina Dominguez Rivera

Dr. in Agricultural, Food and Rural Development.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Metodología	12
1.1 Búsqueda de la literatura.....	12
1.2 Selección específica	13
1.3 Organización y estructuración de los datos	14
1.4 Revisión y análisis de los documentos.....	15
2. Resultados y Discusión	16
2.1 Panorama General.....	16
2.1.1 Metodologías implementadas para la evaluación ambiental de sistemas de recolección de agua lluvia y reúso de agua gris	18
2.2 Aplicación del ACV en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y reúso de aguas grises	23
2.2.1 Etapas del ACV.....	23
2.2.2 Aplicación de la metodología en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y reúso de aguas grises.....	24
3. Conclusiones	40
Referencias Bibliográficas	42
Apéndices.....	51

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Esquema del proceso de selección.....	14
<i>Figura 2.</i> Número de publicaciones por año seleccionadas para el estudio	17
<i>Figura 3.</i> Esquema de aplicación de la metodología ACV a sistemas de RALL	25
<i>Figura 4.</i> Porcentaje de publicaciones en los diferentes países.....	26
<i>Figura 5.</i> Escala de aplicación de la metodología	27
<i>Figura 6.</i> Diagrama de flujo de las etapas del ACV	30
<i>Figura 7.</i> Diagrama de flujo software SimaPro.....	32

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación detallada</i>	15
Tabla 2. <i>Diferentes metodologías implementadas</i>	18
Tabla 3. <i>Síntesis de las metodologías encontradas</i>	23
Tabla 4. <i>Clasificación dependiendo el sistema</i>	25
Tabla 5. <i>Tipo de unidad funcional</i>	27

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Información general de la revisión de literatura	51
Apéndice B. Etapas del Análisis de ciclo de vida.....	61
Apéndice C. Indicadores para la evaluación del impacto ambiental	94

Resumen

Título: Estudio de metodologías para la evaluación ambiental de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y grises..*

Autora: Ana María Garzón Zárate **

Palabras Clave: recolección de agua lluvia, análisis de ciclo de vida, impactos, metodologías, evaluación ambiental.

La escasez del recurso hídrico es un problema que se ha incrementado a medida que pasa el tiempo generando graves problemas ambientales económicos y sociales, para mitigar el impacto que esto genera al medio ambiente se han implementado sistemas de recolección de agua, sin embargo, es necesario tener acceso a herramientas para determinar que efectos positivos y negativos pueden tener estos sistemas a nivel ambiental. Este trabajo describe algunas metodologías para la evaluación ambiental de sistemas de aprovechamiento de agua, principalmente la de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Con el fin de obtener información sobre los parámetros y la aplicabilidad de las metodologías se desarrolló una revisión de literatura que dio como resultado 73 artículos para el análisis. Se encontró que se definen categorías de impacto ambiental para determinar los efectos causados por los sistemas de aprovechamiento. A sí mismo se evidenció que es importante seguir un proceso por etapas para hacer un análisis detallado y confiable. La metodología de mayor aplicabilidad fue el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que con ayuda de software clasifica las categorías de impacto, lo cual permite dimensionar las consecuencias ambientales que puede tener la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua a nivel de edificios especialmente.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera

Abstract

Title: Study of methodologies for the environmental evaluation of rainwater and grise systems*

Author: Ana María Garzón Zárate **

Keywords: rainwater harvesting, life cycle assessment, methodologies, impacts, environmental evaluation.

The shortage of water resources is a problem that has increased as time passes generating serious economic and social environmental problems, to mitigate the impact that this generates to the environment, water collection systems have been implemented, however, it is necessary have access to tools to determine what positive and negative effects these systems can have at an environmental level. This paper describes some methodologies for environmental assessment of water use systems, mainly Life Cycle Analysis (LCA). In order to obtain information on the parameters and applicability of the methodologies, a literature review was developed that resulted in 73 articles for the analysis. It was found that environmental impact categories are defined to determine the effects caused by harvesting systems. He himself showed that it is important to follow a step-by-step process to make a detailed and reliable analysis. The methodology of greater applicability was the Life Cycle Analysis (LCA), which with the help of software classifies the impact categories, which allows to dimension the environmental consequences that the implementation of systems of water use at the level of buildings can have.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera

Introducción

El trabajo que se presenta a continuación estudia diferentes metodologías para la evaluación ambiental de sistemas de aprovechamiento de agua. Debido a la revisión y extracción de información de los diferentes artículos encontrados se tomó la decisión de enfocar el estudio a la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicada a sistemas de recolección de agua lluvia.

El uso de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) ha ido creciendo a medida que pasa el tiempo; desde sus inicios a fines de la década de los sesenta se ha utilizado ampliamente en diversos sectores para evaluar los impactos en la salud humana y ambiental en un enfoque desde la cuna hasta la tumba que evita o minimiza las consecuencias no deseadas (Ghimire, Johnston, Ingwersen, & Sojka, 2017; Hunt, Franklin, & Hunt, 1996; Ingwersen et al., 2016; Meyer & Upadhyayula, 2014). El ACV es un marco de apoyo a la toma de decisiones ampliamente aceptado que evalúa los impactos ambientales y de la salud humana de los sistemas / productos en un enfoque integral (Ghimire & Johnston, 2017b). La Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés), proporciona el marco de trabajo de ACV que incluye la definición de objetivos y alcance, el análisis de inventario, la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) y la interpretación (Ghimire & Johnston, 2017b).

El ACV es una de las metodologías más extendidas para evaluar el impacto ambiental de un producto o proceso determinado durante toda su vida útil. La comprensión de los impactos ambientales del ciclo de vida de la infraestructura del agua, debido a “la vinculación inextricable del nexo agua-energía, el desarrollo sostenible y la salud pública”, es fundamental para los

tomadores de decisiones (Hasik et al., 2017; Marinoski & Ghisi, 2019). El ACV es útil para guiar la implementación de sistemas de recolección de aguas lluvias (RALL) de manera respetuosa con el medio ambiente a nivel de edificios. Sin embargo, cuando se pretende aplicar a cuencas hidrográficas el estudio es limitado puesto que resulta difícil interconectar el ACV con procesos hidrológicos e hidráulicos (Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018).

La metodología de ACV puede ser utilizada para evaluar los impactos de los materiales de construcción de RALL y sus requisitos de energía permitiendo de esta manera compararlos con sistemas convencionales (Valdez, Adler, Barrett, Ochoa, & Pérez, 2016).

El estudio de Lamnatou, C. *et al.* (Lamnatou, Cristofari, Chemisana, & Canaletti, 2016) revela que el ACV se puede aplicar a colectores de placa para la producción de agua caliente doméstica (Ardente, Beccali, Cellura, & Lo Brano, 2005a, 2005b; Kalogirou, 2009; Marimuthu C & Kirubakaran V, 2014); también es posible implementar la metodología en tecnologías de desarrollo de bajo impacto que consideran el uso del suelo, los sistemas de agua descentralizados y la densidad de población (Jeong, Broesicke, Drew, Li, & Crittenden, 2016).

El primer análisis que utilizó el enfoque ACV para abordar la gestión del agua y los sistemas de aguas residuales urbanas de una manera más amplia tuvo como objetivo determinar los posibles impactos ambientales asociados con la gestión del agua en Sydney, en el ámbito económico, social, y análisis ambientales (Lundie*, Peters, & Beavis, 2004). Algunos de los estudios que se abordan en éste documento son: evaluación de la factibilidad ambiental de sistemas de recolección de agua lluvia y su diseño (Morales-Pinzón, Rieradevall, Gasol, & Gabarrell, 2015), aplicación de herramientas de cálculo de costos de ACV y de ciclo de vida para una vivienda que potencialmente podría utilizar el agua de lluvia recolectada para vaciar los inodoros o para regar el césped (Devkota, Schlachter, & Apul, 2015); método de ACV junto con un análisis de la huella hídrica

utilizado para evaluar los impactos ambientales de un sistema de recolección de agua de lluvia doméstica en Francia (Vialle et al., 2015); impacto ambiental de la recolección de agua de lluvia, la reutilización de aguas grises recuperadas y el almacenamiento y distribución de agua administrada en complejos residenciales (García-Montoya, Sengupta, Nápoles-Rivera, Ponce-Ortega, & El-Halwagi, 2016); un ACV de un sistema de recolección de agua de lluvia comercial en comparación con un sistema de suministro de agua municipal (Ghimire et al., 2017); uso de ACV para evaluar los impactos en la salud humana y ambiental debido a los sistemas de recolección de agua de lluvia (Li et al., 2018).

El objetivo del presente trabajo es recopilar estudios que aplican metodologías para la evaluación ambiental de sistemas de recolección de agua para su futura implementación.

1. Metodología

1.1 Búsqueda de la literatura

Se definió la fuente de información académica Scopus para hacer una búsqueda detallada de literatura a partir de palabras clave que se ingresaron con su traducción en inglés como: sistema de aprovechamiento de aguas lluvias o reúso de aguas grises, evaluación ambiental, metodologías o modelos, análisis, impactos. La búsqueda se centró en artículos científicos teniendo en cuenta aspectos como:

- a. Artículos más citados

- b. Publicaciones hechas entre 1995 y 2018

De esta manera la búsqueda arrojó 227 artículos de resultado.

1.2 Selección específica

Este proceso se realizó con el fin de obtener los documentos relevantes para la revisión considerando los siguientes parámetros:

- a. Resumen: Los artículos que no contenían en su resumen términos relacionados con sistemas de aprovechamiento o evaluación ambiental fueron descartados.
- b. Escaneo del documento: en este paso se revisó el documento especialmente sus resultados y conclusiones para verificar que se encontrara la información pertinente.
- c. Documentos relacionados: Los documentos referenciados dentro de los artículos encontrados que se consideraron relevantes fueron revisados a medida que se ejecutaba la búsqueda, por lo tanto, al finalizar no fue necesario hacer una revisión debido a que ya se habían tenido en cuenta. Es importante aclarar que de estos artículos se tuvo en cuenta el título para posteriormente ser revisados a detalle.

El proceso explicado se puede observar en la Figura 1.

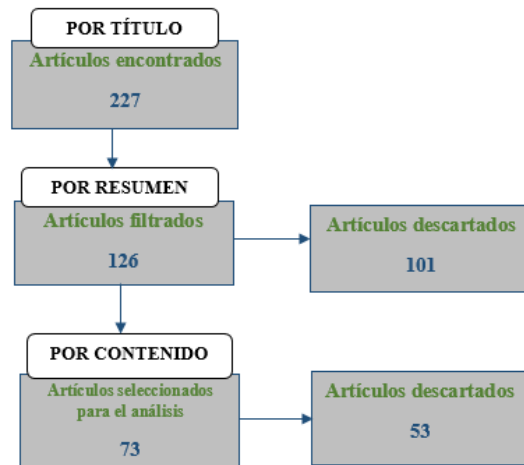


Figura 1. Esquema del proceso de selección

1.3 Organización y estructuración de los datos

Con el fin de organizar los documentos se utilizó la herramienta Mendeley que permite visualizar diferentes categorías (palabras clave, título, resumen y año de publicación entre otros) por las cuales se puede realizar una búsqueda rápida y además incluir la bibliografía de manera correcta al momento de redactar.

Después del proceso de selección se realizó una lectura detallada de los 73 artículos seleccionados para identificar las metodologías mencionadas en cada uno; teniendo en cuenta que una importante proporción de estos artículos abordaba específicamente la metodología de análisis de ciclo de vida aplicado a sistemas de recolección de agua lluvia (Ver Tabla 1), se decidió ahondar en el estudio de esta metodología y en los artículos que la abordan.

Tabla 1.

Clasificación detallada

Artículos	Cantidad
Seleccionados para el análisis	73
Contienen Análisis de Ciclo de Vida	47
Contienen otras metodologías	26

1.4 Revisión y análisis de los documentos

Para organizar y tabular los datos extraídos de los artículos se utilizó el software Excel donde se hicieron tablas y gráficos que ilustran de forma detallada las características que querían resaltar. El análisis de la información se llevó a cabo contestando diferentes preguntas de investigación que se habían formulado y se presentan a continuación:

- ¿Cuáles son las metodologías que se han implementado para la evaluación ambiental de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia y gris?
- ¿En qué consisten las metodologías?, ¿Con qué propósito han sido implementadas?
- ¿En qué lugares se han implementado éste tipo de metodologías?
- ¿Qué recursos se requieren para su aplicación?
- ¿Cuáles han sido los parámetros y variables involucradas en las metodologías para la evaluación ambiental de los sistemas de aprovechamiento? ¿cómo se definen? ¿cómo se miden?
- ¿Qué tipo de resultados arrojan?
- ¿Qué ventajas y desventajas tiene la implementación de las diferentes metodologías?
- ¿Qué limitaciones se han evidenciado en la implementación de esas metodologías?
- ¿Cuál es el impacto que se ha generado al implementar éstas metodologías?

- ¿Cuál es la confiabilidad o rendimiento en la aplicación de las metodologías?
- ¿Para qué fines pueden usarse los resultados de la aplicación de estas metodologías?

2. Resultados y Discusión

2.1 Panorama General

La información encontrada arrojó resultados sobre diferentes estudios de metodologías o procesos que se han hecho en distintos escenarios para evaluar los sistemas de recolección de agua lluvia y reúso de aguas grises desde el punto de vista ambiental. En la Figura 2 es posible apreciar la evolución de las publicaciones. En cuanto a los años, la gráfica muestra que en 2018 es donde más estudios han salido en el tema. En la Figura 2 es posible apreciar que del 2010 hacía atrás las publicaciones son pocas e incluso nulas puesto que el análisis de los sistemas de recolección y reúso se considera relativamente actual.

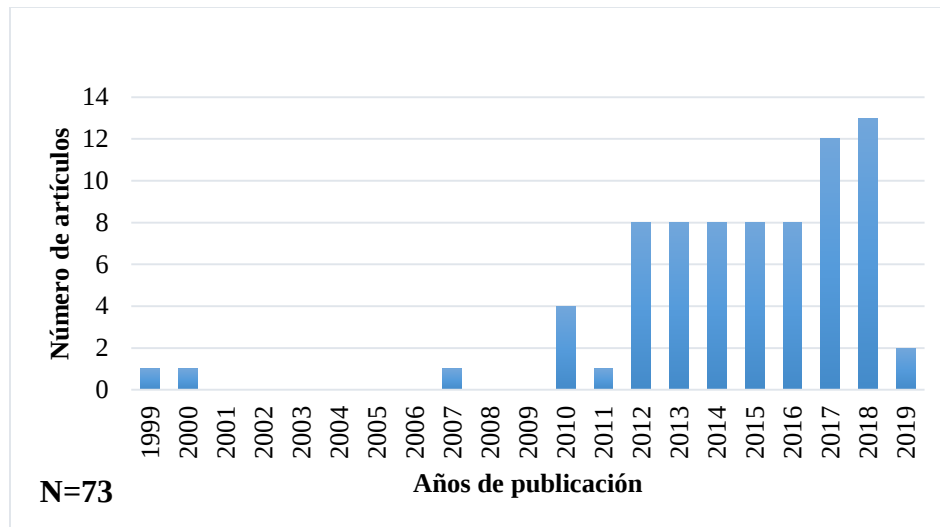


Figura 2. Número de publicaciones por año seleccionadas para el estudio

El principal propósito de estos estudios es prestar atención a los impactos ambientales que pueden causar los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia o reúso de aguas grises teniendo en cuenta todas sus etapas, incluso analizando el destino final del agua recolectada, para subsanar el hecho de que muchos estudios se enfocan tradicionalmente en criterios financieros proceso de construcción o impacto social y dejan de lado la huella ambiental, factor de gran importancia para toda la humanidad sobre todo desde el momento en que se ha insistido en cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En el Anexo 1 en la Tabla A1 se encuentra el objetivo principal de los 30 estudios escogidos a partir de los 73 elegidos para el análisis, entre los que aparecen objetivos como: analizar el consumo de energía en los sistemas de recolección a partir del ACV(JIANG, LI, & MA, 2013), comparar sistemas convencionales de suministro de agua y sistemas RALL en cuanto a los impactos ambientales que generan (Ghimire et al., 2017), ahondar en el efecto que genera no sólo el sistema sino las personas que hacen uso del mismo(Devkota et al., 2015), enfatizar en las implicaciones de implementar un sistema de RALL a nivel de cuencas (Ghimire & Johnston,

2017b; Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018), identificar cuales fases del funcionamiento de los sistemas de RALL contribuyen de manera crítica a los impactos ambientales mediante las etapas del ACV(Zanni et al., 2019).

2.1.1 Metodologías implementadas para la evaluación ambiental de sistemas de recolección de agua lluvia y reúso de agua gris Para la evaluación ambiental de sistemas de recolección de agua lluvia y reúso de agua gris se han implementado diferentes metodologías como se muestra en la Tabla 2. A continuación se describe brevemente en qué consisten las metodologías empleadas.

Tabla 2.

Diferentes metodologías implementadas

Metodología	Fuente
Análisis de ciclo de vida	(Petit-Boix et al., 2018),(JIANG et al., 2013),(Jeong et al., 2016)(Valdez et al., 2016),(Ghimire et al., 2017) (Ghimire & Johnston, 2017b),(Vargas-Parra, Rovira-Val, Gabarrell, & Villalba, 2018),(Angrill et al., 2012)(García-Montoya et al., 2016), (Angrill et al., 2017),(Ghimire, Johnston, Ingwersen, & Hawkins, 2014)(Morales-Pinzón et al., 2015),(Gabarrell et al., 2014) , (Morales-Pinzón, Lurueña, Rieradevall, Gasol, & Gabarrell, 2012), (Vialle et al., 2015), (Gao, Zhou, Li, Han, & Li, 2017),(Devkota et al., 2015), (Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018),

Metodología	Fuente
	(Ghimire & Johnston, 2017a), (Marinoski & Ghisi, 2019), (Toboso-Chavero et al., 2018), (Zanni et al., 2019), (Wang & Zimmerman, 2015)
	(Li et al., 2018), (Devkota, Schlachter, Anand, Phillips, & Apul, 2013), (Shah, Patel, Kudo, Steinberg, & Herold, 2013), (Lamnatou et al., 2016), (Sojka, Younos, & Crawford, 2016)
	(Ghimire & Johnston, 2017a), (Wang & Zimmerman, 2015)
Análisis de exergía y eficiencia exergética	(Talens Peiró, Villalba Méndez, Sciubba, & Gabarrell i Durany, 2010; Vargas-Parra, Villalba, & Gabarrell, 2013)
Indicadores de energía incorporada, ahorro de agua potable, reducción de aguas residuales	(Marinoski, Rupp, & Ghisi, 2018)
Método de análisis de criterios múltiples	(Cinelli, Coles, & Kirwan, 2014; Janssen, 2001; Melville-Shreeve, Ward, & Butler, 2016) , [7]
Modelo hidrológico-hidráulico	(Gironás, 2009; Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018), (Petit-Boix et al., 2018)
Método mejorado con consumo de energía y emisiones de carbono	(Ward, Butler, & Memon, 2012)

- **Análisis de exergía y eficiencia exergética:** Violeta, Gara y Xavier Gabarrell [39] exponen en uno de los artículos que el análisis de flujo de exergía proporciona la identificación y cuantificación de la energía y los materiales utilizados para la adquisición de un producto. Los autores definen la exergía como la cantidad máxima de trabajo que puede realizar el subsistema a medida que se acerca al equilibrio termodinámico y solo se puede definir en términos de un estado de referencia. Dado que la cantidad de exergía contenida en un material o subsistema es una

medida del trabajo potencial, se puede medir en las mismas unidades que energía y trabajo (julios, kWh, btu, etc.). Esto es útil en la evaluación de un sistema y en la comparación entre diferentes opciones, lo cual da una mayor eficiencia del estudio. De acuerdo con los autores, el proceso consta de cuatro pasos: establecer los límites del sistema; obtener entradas y salidas en unidades de operación para estudiarlas de forma independiente; realizar un balance de flujos de entrada y salida para cada unidad de proceso, siguiendo el principio de balance de materiales; y realizar un balance para tener en cuenta las pérdidas de exergía (Talens Peiró et al., 2010; Vargas-Parra et al., 2013).

- **Indicadores de energía incorporada, ahorro de agua potable, reducción de aguas residuales:** la energía incorporada incluye todas las fases desde la extracción de la materia prima hasta que esté lista para ser entregada por el fabricante. Se gasta una cantidad considerable de energía en los procesos de fabricación y transporte de diversos materiales de construcción. Es posible hallar esta energía en función de los tipos y cantidades de materiales en cada componente del sistema (Marinoski et al., 2018).

- **Análisis de criterios múltiples:** los métodos de análisis de criterios múltiples (ACM) se utilizan con frecuencia en el campo de la gestión integrada del agua para ayudar a los tomadores de decisiones que desean diferenciar entre opciones con características complejas y multifacéticas (Cinelli et al., 2014; Janssen, 2001; Melville-Shreeve et al., 2016). Los métodos generalmente siguen una estructura de la siguiente manera: defina el problema, identifique opciones alternativas, defina criterios y objetivos asociados, complete la matriz de desempeño, evalúe el desempeño en función de los criterios y pruebas de escenarios (Dodgson et al., 2001; Melville-Shreeve et al., 2016).

- **Modelo hidrológico-hidráulico:** este modelo en combinación con el Análisis de Ciclo de Vida aplicado a cuencas en algunos casos se puede utilizar para controlar los desbordamientos

de sistemas de alcantarillado combinado. Generalmente se puede hacer un modelo con el software EPA SWMM donde se discretiza la superficie terrestre en subcuencas hidrográficas, cada una representada hidrológicamente como un reservorio no lineal con flujo de salida regido por la ecuación de Manning para el flujo sobre suelo, lo cual permite crear y calibrar modelos de sistemas de recolección de agua lluvia. En SWMM, las prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID, por sus siglas en inglés) pueden simular la captura y detención de escorrentía, la infiltración y la evapotranspiración (o una combinación de estos procesos) aplicada a la escorrentía capturada (Gironás, 2009; Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018). En el trabajo de Petit-Boix (Petit-Boix et al., 2018) se empleó el Modelo de Manejo de Aguas Pluviales de Computadoras Personales (PCSWMM) v.5.1007 para estimar la escorrentía resultante de los eventos de precipitación en los vecindarios antes y después de la implementación de RALL. PCSWMM simula procesos hidrológicos y de transporte en entornos urbanos. También calcula la infiltración y el almacenamiento en la superficie del agua en un paso de tiempo sub-por hora y dirige el resto como flujo de hoja utilizando el algoritmo de reservorio no lineal (Petit-Boix et al., 2018).

- **Método mejorado con consumo de energía y emisiones de carbono:** este método desarrollado por Ward (Ward et al., 2012) estima el consumo de energía utilizando los datos de consumo de agua de lluvia como un proxy. Aborda la brecha que se genera entre la energía consumida en la fase de arranque de la bomba y la fase de operación; el cálculo de consumo de energía se realiza con base en parámetros para la eficiencia de la bomba y la energía de arranque / operación. Además, incluye estimación de las emisiones de CO₂. La energía es igual a la total consumida en el arranque de la bomba más la energía total consumida durante la operación; la emisión de CO₂ se puede estimar como la energía total por el CO₂ emitido en (kg) de la electricidad derivada de la combustión del carbón (Ward et al., 2012).

- **El Análisis de Ciclo de Vida (ACV):** el análisis de ciclo de vida (ACV) es una metodología que evalúa los impactos ambientales relacionados con un producto, proceso o actividad a través de la cuantificación y estimación del consumo de recursos y las emisiones producidas realizando un análisis del sistema de la “cuna hasta la tumba”(Angrill et al., 2012). El ACV permite la comparación de productos y la toma de decisiones estratégicas con respecto a las entradas y salidas sistémicas, así como el diseño e incorporación de estrategias de diseño al final de la vida útil. Los resultados de un ACV pueden contribuir a la modificación de un producto existente (Pryshlakivsky & Searcy, 2013). La estandarización de ACV comenzó en el comité técnico del International Organization for Standardization (ISO) en París en 1993 (Marsmann, 2000; Pryshlakivsky & Searcy, 2013). El objetivo de la evaluación de impacto es comprender y evaluar la magnitud y la importancia de los posibles impactos ambientales del sistema estudiado. El alcance completo del ACV es útil para evitar el cambio de situaciones, por ejemplo, de una fase del ciclo de vida a otra, de una región a otra o de un problema ambiental a otro (Finnveden et al., 2009).

Teniendo en cuenta que 64% (47/73) de los estudios enfocados en evaluación ambiental de sistemas de aprovechamiento de fuentes de agua alternativos usaron la metodología de ACV, se decidió enfocar la revisión de literatura en esta metodología y los artículos que la abordaban. A continuación, se profundiza sobre el ACV y sus aplicaciones en sistemas de aprovechamiento de fuentes de agua alternativas.

Tabla 3.

Síntesis de las metodologías encontradas

Metodología	Aplicabilidad	Uso de software	Estructurada por etapas	Categorías de impacto ambiental
Análisis de ciclo de vida	Edificio, barrio o cuenca	x	x	x
Análisis de exergía y eficiencia exergética	Casa o edificio		x	
Indicadores de energía incorporada, ahorro de agua potable, reducción de aguas residuales	Casa o edificio			
Método de análisis de criterios múltiples	Casa o edificio		x	
Modelo hidrológico-hidráulico	Barrio o cuenca	x		x
Método mejorado con consumo de energía y emisiones de carbono	Edificio			x

2.2 Aplicación del ACV en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y reúso de aguas grises

2.2.1 Etapas del ACV La metodología de ACV se divide en cuatro etapas: i), definición de objetivos y alcance, ii), análisis de inventario de ciclo de vida (ICV), iii), evaluación de impacto; y iv), interpretación (Pryshlakivsky & Searcy, 2013). La definición de objetivos y alcance incluye las razones para llevar a cabo el estudio, la aplicación y audiencia deseada, en esta etapa también es donde se describen los límites del sistema y se define la unidad funcional (Finnveden et al., 2009). En la segunda etapa o ICV se hace una compilación de las entradas (recursos) y las salidas

(emisiones) del producto a lo largo de su ciclo de vida en relación con la unidad funcional. En la etapa de evaluación de impacto se definen las categorías de impacto y se les asignan indicadores para determinar el impacto que generan; en la interpretación, los resultados de las fases anteriores se evalúan en relación con el objetivo y el alcance para llegar a conclusiones y recomendaciones (Finnveden et al., 2009). El ACV consiste en aplicar estas etapas al sistema que se desee analizar, empezando por definir la unidad funcional y los límites que se establecen para llevar a cabo la evaluación, partiendo de ahí es necesario fijar los impactos, es decir, las variables que se consideran pueden estar involucradas en las afectaciones ambientales que puede ocasionar el sistema correspondiente teniendo en cuenta los resultados que se esperan obtener puesto que no siempre se analizan los mismos aspectos. Para facilitar la obtención de los datos necesarios se debe tener acceso a bases de datos y software que permitan procesar la información e integrarla con otras ramas como lo son la social y la económica.

2.2.2 Aplicación de la metodología en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y reúso de aguas grises Al revisar de manera exhaustiva los artículos seleccionados, se encontró que la metodología de Análisis de Ciclo de Vida estaba aplicada especialmente a sistemas de recolección de agua lluvia (64% 30/47). Algunos pocos trabajos (Gabarrell et al., 2014; García-Montoya et al., 2016; Marinoski & Ghisi, 2019; Morales-Pinzón et al., 2015; Zanni et al., 2019), abordaron sistemas combinados de ALL y agua gris, pero normalmente enfatizan en los sistemas de RALL. La razón de esto es que el agua proveniente de la lluvia es un poco más fácil de recolectar y poco a poco se han implementado diferentes métodos para realizar este proceso (Morales-Pinzón et al., 2015); por el contrario la recolección de agua gris puede ser más compleja, debido a que en algunos casos se debe hacer uso de pequeñas plantas que permiten darle un tratamiento y así se

pueda garantizar el uso en actividades como lo agricultura (Lemos, Dias, Gabarrell, & Arroja, 2013). Por tal motivo el enfoque de este documento se dirigió a estudiar las aplicaciones de ACV a sistemas RALL (Ver Tabla 4).

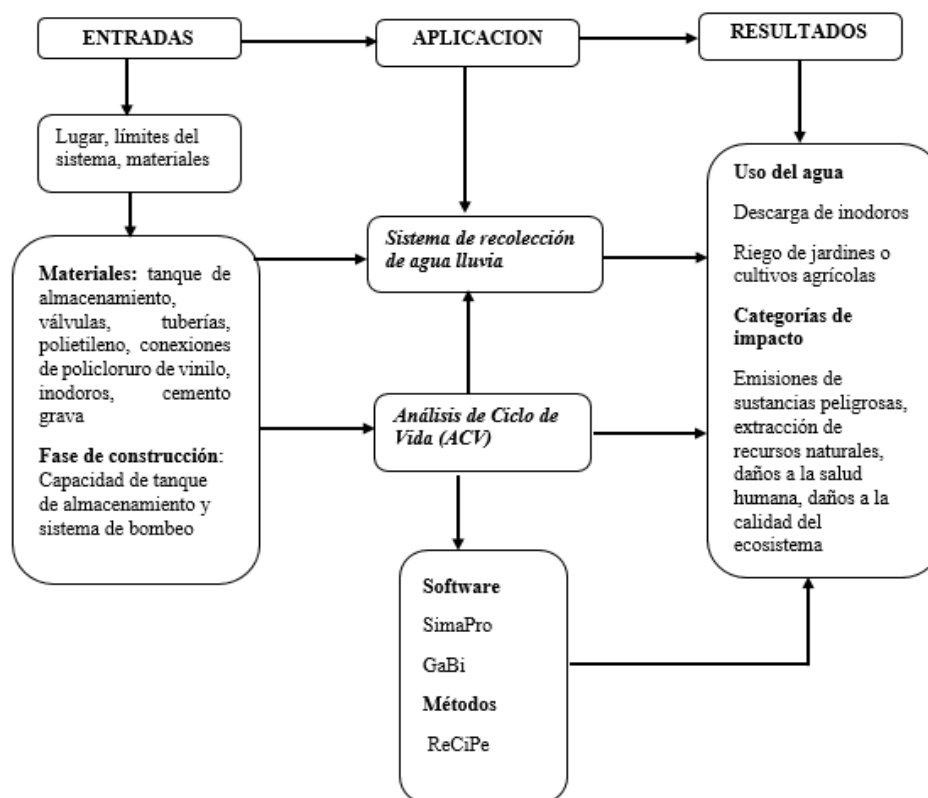


Figura 3. Esquema de aplicación de la metodología ACV a sistemas de RALL

Tabla 4.

Clasificación dependiendo el sistema

Artículos	Cantidad
Contienen Análisis de Ciclo de Vida	47
ACV aplicado a sistemas de recolección de agua lluvia	30
ACV aplicado a sistemas de reúso de agua grises y otros sistemas	17

2.2.2.1 Lugares y propósitos de la aplicación de la metodología ACV La mayoría de estudios que aplican el ACV a sistemas RALL se han realizado en países desarrollados, como Estados Unidos, seguido por España y China (Ver fig.4). Entre las razones para la aplicación de la metodología se encuentra que como el suministro de agua municipal se debe transportar desde recursos de agua dulce a grandes distancias en tuberías subterráneas, las posibilidades de fugas y el consumo de energía son altas por lo cual se decide aplicar la metodología de ACV que permite identificar los impactos que genera la implementación de sistemas de RALL que son una solución viable al problema presentado. Los sistemas descentralizados de recolección de agua de lluvia están diseñados para capturar el agua de lluvia del techo (captación) para uso inmediato o para almacenamiento y uso en el futuro(Devkota et al., 2013). En los EE. UU, los sistemas combinados de alcantarillado son vulnerables a los desbordamientos e inundaciones durante los eventos de lluvia intensiva, que, a su vez, pueden contaminar las aguas superficiales y aumentar la erosión. Por tal motivo en Atlanta se hace una comparación basada en ACV de sistemas convencionales con sistemas de RALL para determinar los impactos ambientales que se generan(Jeong et al., 2016).

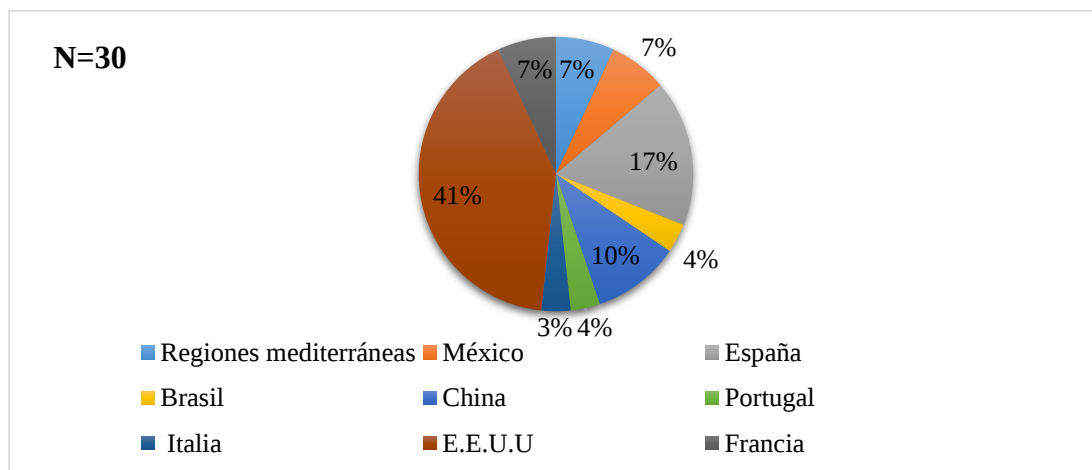


Figura 4. Porcentaje de publicaciones en los diferentes países

2.2.2.2 Alcances de la aplicación de ACV en sistemas de recolección de agua lluvia La metodología ACV aplicada a sistemas RALL se ha implementado en diferentes tipos de edificaciones, aunque es muy común que se aplique a nivel de casa o edificios de tipo residencial (ver Figura 5). Sin embargo, también se han hecho estudios a escala de cuencas y sistemas urbanos. Para su aplicación se requiere conocer características de la edificación como la cantidad de pisos que tiene, el área de captación de agua lluvia, el material del techo o si se presenta escurrimiento.

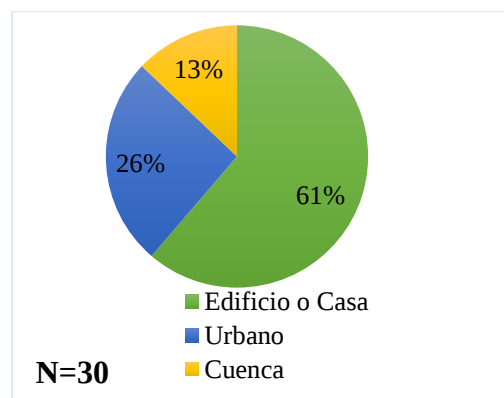


Figura 5. Escala de aplicación de la metodología

La unidad funcional utilizada en los análisis normalmente es 1 m³ de agua lluvia para uso no potable (Ver Tabla 5) porque el aprovechamiento del agua no es para consumo humano, pero hay casos en los que se usa agua tratada, procesada, recuperada o potable, es decir, que la unidad funcional escogida depende del uso del agua recolectada después de su análisis.

Tabla 5.

Tipo de unidad funcional

Unidad Funcional	Fuente
1 m ³ de agua para uso no potable	(Petit-Boix et al., 2018),(JIANG et al., 2013),(Jeong et al., 2016)(Valdez et al., 2016),(Ghimire et al., 2017)

Unidad Funcional	Fuente
	(Ghimire & Johnston, 2017b),(Vargas-Parra et al., 2018),(Angrill et al., 2012)(García-Montoya et al., 2016),(Angrill et al., 2017),(Ghimire et al., 2014)(Morales-Pinzón et al., 2015),(Gabarrell et al., 2014) ,(Morales-Pinzón et al., 2012)
30 l de agua por día por persona	(Vialle et al., 2015)
Prestación de servicios de saneamiento	(Gao et al., 2017),(Devkota et al., 2015)
1 m ³ del volumen de las desbordamiento combinado de alcantarillado (OSC)	(Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018), (Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018)
Volumen total de agua consumida en una casa (55,713.6 m ³ de agua)	(Marinoski & Ghisi, 2019)
Cumplir con las demandas anuales de FEW(Alimento-Energía-Agua) de un residente promedio	(Toboso-Chavero et al., 2018)
1 m ³ de agua recuperada	(Zanni et al., 2019),(Wang & Zimmerman, 2015)
10000 m ² de área de construcción	(Li et al., 2018)

En la mayoría de los casos se cumplen con todas las etapas del Análisis de Ciclo de Vida que ya han sido explicadas, pero se presentan situaciones donde solo se aplica la metodología a una o dos etapas del sistema. Cuando no se abordan todas las etapas los autores aclaran que la escogida específicamente permite que el análisis sea concreto y arroje los resultados esperados, como es el caso de uno de los estudios (Jin Chang, Woojin Lee, Sukhwan Yoon [52]) encontrados en donde solo se tuvo en cuenta la fase de operación del sistema para evitar suposiciones problemáticas que se hacen a menudo en ACV con respecto a las fases de construcción y demolición, por ejemplo, la

subestimación de la vida útil del sistema (Chang, Lee, & Yoon, 2017; Stokes & Horvath, 2006). La decisión de tener en cuenta solo ciertas etapas de la metodología también está relacionada con el tipo de sistema que se analice y las características que éste tenga.

2.2.2.3 Etapas que abarca el ACV en sistemas de RALL La ubicación de las infraestructuras de recolección o captación se tienen en cuenta dentro de la etapa de definición y objetivos. Las etapas generalmente consideradas en el inventario de ciclo de vida para el análisis de los sistemas RALL son adquisición de materiales construcción, transporte y uso/deconstrucción. En la Figura 6 se presenta un diagrama de flujo que muestra los aspectos que se deben tener en cuenta para desarrollar cada etapa de la metodología; además en el Anexo 2 en la Tabla A2 se discretiza cada etapa teniendo en cuenta los estudios revisados y sus respectivos componentes. Los elementos considerados con más frecuencia en la fase de construcción son los tanques de almacenamiento que se dimensionan normalmente a partir de datos de precipitación, el sistema de bombeo, filtros y tuberías; en la fase de transporte se incluye el traslado tanto de materiales para la construcción del sistema de RALL como los desechos que éste genere en cuanto a su infraestructura o funcionamiento; en la fase de adquisición de materiales se abarcan los insumos necesarios para la construcción de la infraestructura de los sistemas de RALL como por ejemplo concreto, cloruro de polivinilo, acero, tipos de techo, válvulas entre otros; finalmente en la fase de uso/deconstrucción se incluye el destino que tiene el agua recolectada y si se deben hacer demoliciones.

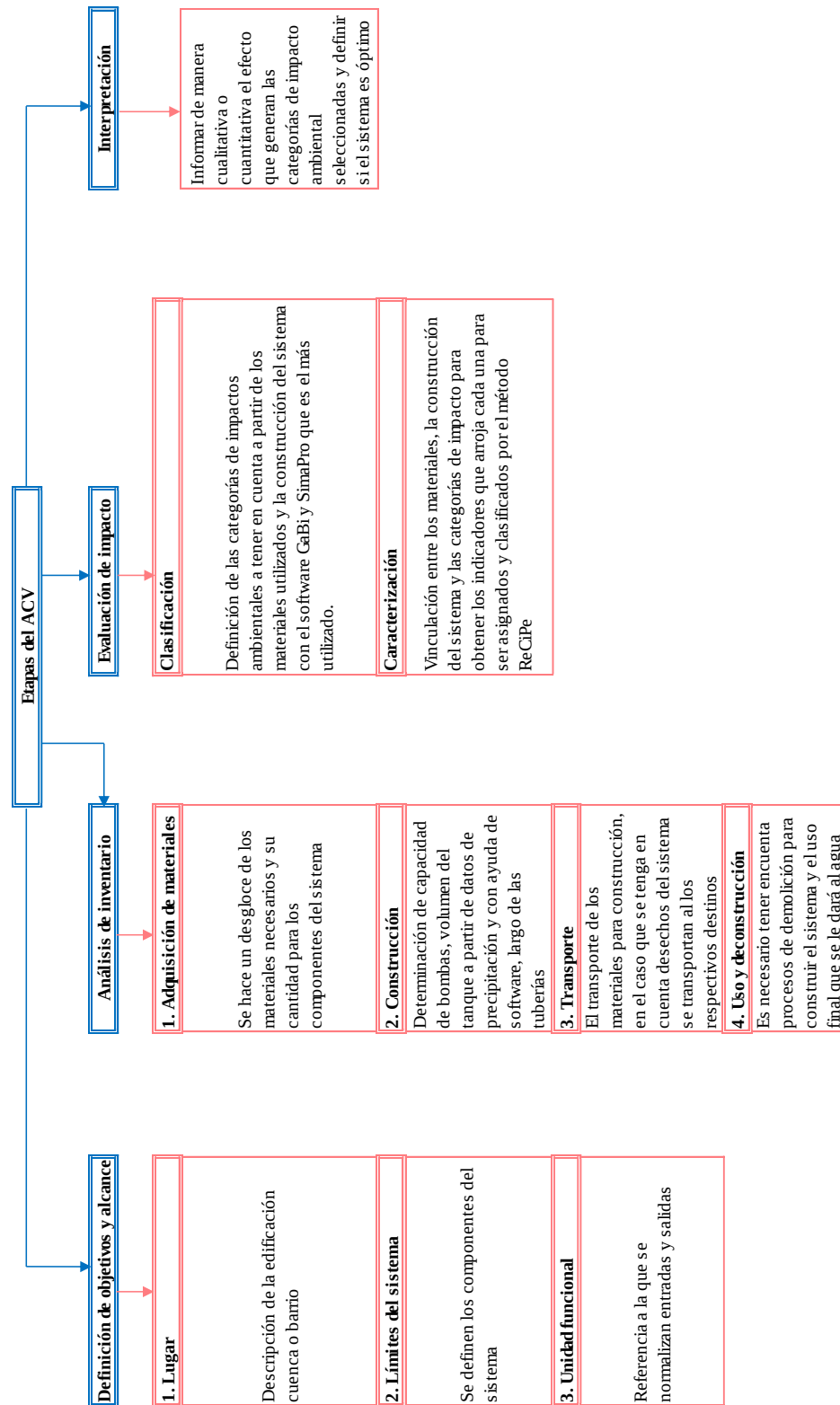


Figura 6. Diagrama de flujo de las etapas del ACV

2.2.2.4 Herramientas empleadas para el ACV Para la aplicación del ACV se utilizan diferentes programas de computador, pero el más utilizado es SimaPro. En esta revisión, 14 de los 30 estudios considerados usaron este software para la aplicación de ACV. SimaPro es el paquete de software líder para ACV con 25 años en la industria y usado en más de 80 países. El software tiene un costo de entre 2340 y 3900 dólares por 12 meses, entre 4680 y 5460 dólares para adquirir la licencia de forma indefinida; está diseñado para que sea una fuente de información basada en la ciencia, mediante éste es posible tomar decisiones consientes a lo largo del análisis para garantizar precisión en los resultados. Se puede utilizar para una variedad de aplicaciones, como informes de sostenibilidad, huella de carbono y agua, diseño de productos, generación de declaraciones ambientales de productos y determinación de indicadores clave de rendimiento. El software permite: modelar y analizar fácilmente ciclos de vida complejos de manera sistemática y transparente; medir el impacto ambiental de productos y servicios en todas las etapas del ciclo de vida; identificar los puntos críticos en cada eslabón de la cadena de suministro, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación, distribución, uso y eliminación (B.V, n.d.). ReCiPe es un método de evaluación de ciclo de vida que se utiliza para integrar los datos de inventario del análisis de ciclo de vida y las categorías de impacto ambiental que arroja el software SimaPro (Goedkoop & Huijbregts, 2013); el método ReCiPe consta de dos grupos de categorías de impacto: el punto medio y el punto final. En el nivel medio, las categorías de impacto se reportan como una función de unidades individuales para cada factor, mientras que, en el nivel de punto final, se implementa una única puntuación global en solo tres categorías de impacto de punto final (Marinoski & Ghisi, 2019).

Las variables más involucradas en el ACV son la precipitación y la esorrentía puesto que a partir de ellas se define la capacidad de los tanques de almacenamiento y la unidad funcional que

se define a partir del área de captación, agua disponible, demanda de agua entre otros; pero también se tienen en cuenta en algunos casos el clima del lugar donde se está haciendo la evaluación. Se toman datos de flujos de agua asociados, emisiones de gases efecto invernadero, energía, productos químicos, material de equipos de irrigación que son proporcionados por la base de datos Ecoinvent y el inventario de ciclo de vida; en casos donde se involucran plantas de tratamientos, los datos se pueden obtener de sus fuentes. La Fig.6 presenta un diagrama de flujo del software SimaPro donde se especifican cuales son las entradas y salidas del mismo. En un estudio específico el modelo IMPACT 2002p se utilizó para modelar los riesgos e impactos potenciales de las emisiones de varios productos químicos; las características de energía y agua se obtuvieron usando el simulador de procesos ASPEN-HYSYS® (García-Montoya et al., 2016; Pennington, Margni, Ammann, & Jolliet, 2005); en este caso se usaron escenarios óptimos del principio de Pareto para aplicar la metodología. La base de datos Ecoinvent está vinculada al software SimaPro contiene datos de inventario de ciclo de vida como: suministro de energía, agricultura, transporte, biocombustibles y biomateriales, productos químicos a granel y especiales, materiales de construcción, madera y tratamiento de residuos(“Methodology of ecoinvent 3 – ecoinvent,” n.d.).

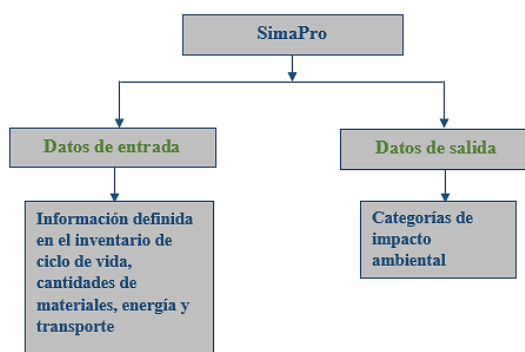


Figura 7. Diagrama de flujo software SimaPro

2.2.2.5 Resultados de la aplicación de la metodología ACV Los resultados de aplicación del ACV dependen de los límites de análisis que se establezcan. Los impactos analizados más comúnmente en los trabajos revisados son (Ver Tabla A3 del Anexo 3): potencial de calentamiento global (PCG) con un 63%, agotamiento de la capa de ozono (AEC) 50%, consumo de energía (CE) 43%, toxicidad humana (TH) 40% y ecotoxicidad acuática (EA) 33%; así mismo los impactos que menos se tuvieron en cuenta fueron: agotamiento de agua (AA) 10%, potencial de acidificación (PA) 10%, calidad del ecosistema (CDE) 6,7%, agotamiento de recursos (AR) 3,3% entre otros. A continuación, se definen brevemente los impactos considerados en los estudios revisados.

- **Potencial de calentamiento global (Kg CO₂):** es la medida en que un gas efecto invernadero contribuye al calentamiento global (Gases, Invernadero, & Alto, 2007).
- **Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC⁻¹¹ eq):** reducción de la capa que protege a la tierra de los rayos ultravioleta (Fahey, 2002).
- **Consumo de energía (kWh):** hace referencia al gasto total energético en un proceso determinado (J. M. Moreno, E. Aguiló, S. Alonso. et al. M. Álvarez Cobelas, R. Anadón, F. Ballester et al., n.d.).
- **Toxicidad humana (kg 1,4^{-DB} eq):** medida que se emplea para identificar el nivel tóxico de diferentes sustancias o elementos en la salud humana (Toxicity, For, Inventory, & Screening, 2001).
- **Ecotoxicidad acuática, terrestre (kg 1,4^{-DB} eq) y de agua dulce (kg 1,4^{-DB} eq):** resultado de bioacumulación de sustancias tóxicas que generan efectos adversos en sistemas biológicos y el medio ambiente (A & Mj, 2016).
- **Potencial de eutrofización (kg N eq):** impacto que se genera por exceso de nutrientes (Rada, 2005).

- **Cambio climático (Kg CO₂eq):** según la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNU) es un cambio de clima que se da en la atmosfera generado directa o indirectamente por actividades humanas (J. M. Moreno, E. Aguiló, S. Alonso. et al. M. Álvarez Cobelas, R. Anadón, F. Ballester et al., n.d.).
- **Gases efecto invernadero (Kg CO₂):** componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (IDEAM 2007).
- **Agotamiento de fósiles (kg oil eq):** disminución de fuentes de obtención de fósiles como carbón, petróleo y gas natural (“INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES TRANSICIONES ENERGÉTICAS: AGOTAMIENTO Y RENOVACIÓN DE LOS Mayo 2012,” 2012).
- **Acidificación acuática y terrestre (kg SO₂ eq):** se produce por la caída de lluvia ácida la cual cambia la composición del suelo y el agua (Camargo & Alonso, 2007).
- **Eutrofización de agua dulce (kg P eq) y marina (kg N eq):** exceso de nutrientes vegetales en cuerpos de agua de origen antrópico(Rada, 2005).
- **Oxidación fotoquímica (kg NMVOC):** se produce por la reacción de oxidantes en la atmosfera que se generan por la reacción entre el oxígeno y otras sustancias que hay en el ambiente en presencia de radiación ultravioleta (Sanhueza, 2000).
- **Agotamiento de metales (kg Fe eq):** disminución de la cantidad de metales que están presentes en el ambiente puesto que son difíciles de encontrar en estado en la naturaleza (Metales, 2008).

- **Radiación ionizante (kBq U₂₃₅ eq):** (rayos X, neutrones, protones, partículas α y β y rayos gamma) produce lesiones en los tejidos directamente (efecto directo) mediante reacciones secundarias (efecto indirecto). Se produce cuando partículas incluidos los fotones causan separación de electrones en moléculas y átomos (Bayo, 2001).
- **Consumo de agua dulce y agotamiento de agua (m³):** cantidad de agua consumida tanto por los seres vivos como por los sistemas que la necesitan para su funcionamiento (Evaluación, Recurso, & Colombiano, 2008).
- **Potencial de acidificación:** tendencia que posee un elemento a convertirse en acidificante. El dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO, NO₂) han sido reconocidos tradicionalmente como los contaminantes principales en el proceso de acidificación de lagos y ríos con baja o reducida alcalinidad. Estos gases, una vez emitidos a la atmósfera, pueden reaccionar con otras moléculas (H₂O, OH, O₃), llegando a formar ácido sulfúrico (H₂ SO₄) y ácido nítrico (HNO₃). La deposición atmosférica de estos ácidos sobre las aguas superficiales puede incrementar no solo la concentración de SO₄ y NO₃ sino también la concentración de H⁺ y, en consecuencia, reducir el valor del pH del agua (Camargo & Alonso, 2007).
- **Formación de materia particulada (kg PM₁₀ eq):** formación de pequeñas partículas que se suspenden en el aire generadas a partir de actividad antropogénica. Una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire (“Material Particulado,” n.d.).
- **Demanda de energía primaria (kWh/m³):** según la Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA) de España es toda forma de energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada (Conference & Engineering, n.d.).

- **Efectos cancerígenos y no cancerígenos (Unidades tóxicas comparativas UTC):** son producto de agentes físicos, químicos o biológicos que al entrar en contacto con los seres humanos por inhalación, penetración cutánea o ingestión pueden causar cáncer (Zafra, 2008).
- **Potencial de agotamiento abiótico (kg eq SBb):** medida en la que se agotan los recursos que rodean a los seres vivos y forman el ecosistema (Conference & Engineering, n.d.).
- **Calidad del ecosistema:** medida de las características de los seres vivos y el medio natural en el que habitan (“Estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en España,” 2014).
- **Extracción mineral:** proceso mediante el cual se extraen minerales (sustancias naturales y homogéneas) del suelo (Valero & Valero, 2015).
- **Transformación de la tierra natural (m²):** Cambio del aspecto y características comunes de la tierra (Muñoz, 2008).
- **Uso de agua azul y verde (m³):** el agua azul hace referencia al agua superficial o subterránea y de cuerpos de agua, la verde a la que está como escorrentía proveniente del agua lluvia (“LOS COLORES DEL AGUA , EL AGUA VIRTUAL Y LOS,” 2006).
- **Ocupación de la tierra agrícola y urbana (m^{2a}):** destino que se le da al suelo agrícola o urbano (Arquitectura & Clichevsky, 2009).
- **Agotamiento de recursos:** es el consumo de cualquier recurso con mayor rapidez de la que éste tiene para restablecerse (Conference & Engineering, n.d.).

2.2.2.6 Ventajas y desventajas del ACV Los artículos revisados señalan entre las ventajas del ACV: i) la posibilidad de realizar una evaluación ambiental confiable de los sistemas de recolección de agua lluvia (Ghimire et al., 2014; Li et al., 2018); ii) En el anexo 1 Tabla 5 se puede

confirmar que la metodología está estructurada en etapas que facilitan su aplicación; iii) su sustento mediante la norma International Organization for Standardization (ISO) que permite investigar y dar confiabilidad; iv) el uso de bases de datos que garantiza la veracidad de información y facilita su manejo (Angrill et al., 2012, 2017; Devkota et al., 2015; Gabarrell et al., 2014; García-Montoya et al., 2016; Ghimire & Johnston, 2017a, 2017b, Ghimire et al., 2014, 2017; Jeong et al., 2016; Lamnatou et al., 2016; Li et al., 2018; Marinoski & Ghisi, 2019; Morales-Pinzón et al., 2012, 2015; Petit-Boix et al., 2018; Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018; Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018; Toboso-Chavero et al., 2018; Valdez et al., 2016; Vialle et al., 2015; Wang & Zimmerman, 2015; Zanni et al., 2019). Según la información encontrada es posible aplicar la metodología a cualquier sistema de recolección (Petit-Boix et al., 2018).

Entre las desventajas del uso de la metodología se tiene que en algunos casos es necesario usar software para la evaluación y si no se tiene fácil acceso a esto se puede entorpecer el proceso (Morales-Pinzón et al., 2015). Como se puede observar en la Tabla 4 se debe tener como referencia una unidad funcional para aplicar la metodología. Puede considerarse de complejidad alta puesto que se necesita de conocimientos sistemáticos para aplicarla (García-Montoya et al., 2016).

2.2.2.7 Limitaciones de la metodología ACV Aunque en los documentos encontrados no son evidentes las limitaciones que tiene la aplicación de la metodología es posible apreciar algunas a medida que se hace una lectura y análisis detallado de cada uno, en la mayoría se identificó que el ACV en muchos casos está enfocado a obtener resultados económicos, es decir, costo de los sistemas de RALL, valores de presente neto y tasa interna de retorno (Morales-Pinzón et al., 2012). También fue posible apreciar que es necesario conocer a fondo las etapas de la metodología para definir los límites del análisis y los datos específicos que se requieren para obtener los resultados

deseados (Angrill et al., 2012). En algunos estudios se presentan complicaciones para comparar este método con otro puesto que en las evaluaciones de impacto y los límites del sistema se utilizan enfoques diferentes; cuando se analizan sistemas de recolección de agua lluvia la precipitación del lugar puede ocasionar problemas cuando es muy baja, puesto que, esto puede ocasionar que el sistema no tenga un funcionamiento constante (Vargas-Parra et al., 2018). La evaluación ambiental se puede combinar con un análisis financiero de los sistemas, pero es de vital importancia definir los parámetros a utilizar para que no se genere confusión al interpretar los resultados obtenidos (Wang & Zimmerman, 2015).

Una de las limitaciones que se considera más relevante es que la metodología se ha enfocado en el análisis económico, social y financiero de los sistemas; lo que en algunos casos no permite hacer comparaciones o basarse en estudios anteriores para analizar los resultados obtenidos; sin embargo, acoplar los resultados financieros con los ambientales permite obtener información más completa sobre los sistemas de recolección. De los estudios analizados, 16/30 se enfocan en la evaluación ambiental a partir de la metodología de ACV. 12/30 combinan la metodología con procesos para presentar resultados económicos, en el Anexo 1, Tabla A1 es posible determinar ésta información basándose en los objetivos específicos de cada estudio. Debido a que es una metodología de la cuna hasta la tumba, se fijan límites en el sistema para su análisis los cuales deben ser elegidos con precaución para evitar errores en el desarrollo de las etapas de la metodología.

2.2.2.8 Confiabilidad del ACV El análisis de ciclo de vida se puede considerar confiable, debido a que, los datos que arroja son basados en bases de datos que contienen información veraz. En todos los estudios que se encontraron ésta metodología aportó información verídica que

proporcionó soluciones e incluso herramientas para evitar que los sistemas de recolección de agua lluvia en vez de convertirse en una solución para el problema de escasez de agua generen inconvenientes al momento de implementarlos.

2.2.2.9 Uso de los resultados del ACV La descripción de la etapa de interpretación de los resultados que se encuentra en el Anexo 2, Tabla A2 de éste documento argumenta lo mencionado en éste párrafo: Los resultados de la aplicación de la metodología se pueden usar para construir los sistemas de recolección de manera óptima, para saber el porcentaje de gases que pueden emitir, para conocer los consumos de energía en todas las fases de funcionamiento de los sistemas; permite obtener información de las implicaciones que tiene la implementación u operación de los mismos en la salud humana, ayuda a tomar decisiones de ubicación de los sistemas de recolección por ejemplo en las edificaciones, cuantificar la emisión de contaminantes como valor energético. Con la información que aporta la aplicación de la metodología, se pueden identificar los mejores sistemas de recolección de agua lluvia. La elección adecuada de un sistema de aprovechamiento implica reducción de costos en la construcción y en su operación y mantenimiento principalmente. Es posible determinar los diferentes efectos ambientales que se generan teniendo en cuenta el lugar puesto que se pueden presentar diferencias por las condiciones del sitio; a partir de la metodología es posible identificar que parte del sistema representa mayor riesgo ambiental. El porcentaje de ahorro de agua que se puede determinar permite hacer una proyección a futuro; se puede predecir las precauciones que se deben tener al momento de implementar un sistema de recolección. Al aplicar la metodología se evidencia cual de las etapas de la misma aporta mejor información de los impactos ambientales. Los resultados de la evaluación ambiental se pueden combinar con los económicos para hacer un análisis de los costos que genera aplicar la metodología para este tipo

de evaluación. Un factor importante es mostrar a la comunidad los beneficios que se generan al aplicar la metodología sin importar el lugar, para que se decidan a implementar los diferentes sistemas de recolección que existen. Reconocer la facilidad que se genera cuando se utilizan diferentes herramientas como software especializado para aplicar una metodología. Analizando los beneficios que se evidencian al aplicar el análisis de ciclo de vida se pueden incentivar la construcción de otros sistemas amigables con el medio ambiente; finalmente aclara el hecho de que no siempre los sistemas financieramente más viables son los mejores para el medio ambiente.

2.2.2.10 Impacto generado por la implementación de la metodología ACV Se ha generado un impacto positivo puesto que actualmente a nivel mundial se trabaja por contaminar lo menos posible el medio ambiente debido a los diferentes problemas que se han ido presentado y que se predice pueden aparecer a futuro, por tal motivo se considera de gran ayuda la evaluación ambiental de los sistemas de recolección que incluso con su sola implementación ya están contribuyendo a mejorar las condiciones ambientales en este caso con respecto a la escasez del recurso hídrico.

3. Conclusiones

La fuente de información académica Scopus es una herramienta que contiene información completa para cualquier revisión de literatura que se desee hacer; es fácil de utilizar, sin embargo, es importante elegir las palabras clave adecuadas para ejecutar la búsqueda con el fin de obtener

resultados precisos y relevantes. Es de fácil acceso para estudiantes y comunidad en general que tenga ingreso a bases de datos confiables puesto que no es una herramienta gratuita.

La metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) que se aborda en este estudio es una de las más implementadas para la evaluación ambiental de sistemas de recolección de aguas lluvias (RALL) puesto que sigue un proceso efectivo mediante etapas específicas que permiten hacer un análisis detallado de dichos sistemas, además, hace uso de programas informáticos y bases de datos que hacen que la evaluación sea eficaz y arroje resultados confiables puesto que proporcionan información cualitativa y cuantitativa explícita. El ACV se considera importante, pues es una de las primeras metodologías que permite hacer una evaluación ambiental de los sistemas de RALL, lo cual, genera interés debido a que por la escasez de agua que se ha ido evidenciando a través del tiempo en muchos lugares del mundo se implementan sistemas de este tipo de los cuales es vital conocer el impacto que puedan generar al medio ambiente.

El consumo de energía, el calentamiento global, el agotamiento de los recursos hídricos, la toxicidad humana y el agotamiento de la capa de ozono son los parámetros que se han tenido en cuenta para decidir la importancia de evaluar ambientalmente los sistemas de recolección de agua lluvia, debido a que, si se implementan, en gran medida son para generar un aporte a los problemas medio ambientales que se generan por el desperdicio o escasez de agua. Por tal razón, es necesario conocer en qué ámbito pueden dar solución errónea y ocasionar más inconvenientes para la lucha contra el deterioro de la naturaleza.

La revisión expuesta en el trabajo es la base para implementar la metodología de análisis de ciclo de vida en sistemas de recolección de agua lluvia que se deseen analizar desde el grupo de investigación Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental de la Universidad Industrial de Santander.

Referencias Bibliográficas

- A, C. Z., & Mj, R. (2016). Ensayos de ecotoxicidad de los fármacos y efectos tóxicos en el medio ambiente : Revisión.
- Angrill, S., Farreny, R., Gasol, C. M., Gabarrell, X., Viñolas, B., Josa, A., & Rieradevall, J. (2012). Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(1), 25–42. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0330-6>
- Angrill, S., Segura-Castillo, L., Petit-Boix, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X., & Josa, A. (2017). Environmental performance of rainwater harvesting strategies in Mediterranean buildings. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(3), 398–409. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1174-x>
- Ardente, F., Beccali, G., Cellura, M., & Lo Brano, V. (2005a). Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy*, 30(7), 1031–1054. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2004.09.009>
- Ardente, F., Beccali, G., Cellura, M., & Lo Brano, V. (2005b). Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances. *Renewable Energy*, 30(2), 109–130. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2004.05.006>
- Arquitectura, F. De, & Clichevsky, N. (2009). Algunas reflexiones sobre informalidad y regularización del suelo urbano, (1), 63–88. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3151068.pdf>
- B.V, P. C. (n.d.). SimaPro. Retrieved from <https://simapro.com>
- Bayo, N. A. (2001). Reacción celular ante la radiación. *Radiobiología*, 1, 9–11.

- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos : problemas medioambientales , criterios de calidad del agua , e implicaciones del cambio climático, *16*(2), 98–110.
- Chang, J., Lee, W., & Yoon, S. (2017). Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea. *Journal of Cleaner Production*, *141*, 728–736. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.131>
- Cinelli, M., Coles, S. R., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, *46*, 138–148. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2014.06.011>
- Conference, I., & Engineering, P. (n.d.). CATEGORÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA VINCULADAS CON ENERGÍA : REVISIÓN Y PROSPECTIVA Resumen, 1180–1190.
- Devkota, J., Schlachter, H., Anand, C., Phillips, R., & Apul, D. (2013). Development and application of EEAST: A life cycle based model for use of harvested rainwater and composting toilets in buildings. *Journal of Environmental Management*, *130*, 397–404. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.015>
- Devkota, J., Schlachter, H., & Apul, D. (2015). Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. *Journal of Cleaner Production*, *95*, 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.021>
- Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A., & Phillips, L. (2001). *Multicriteria Analysis: A Manual*.
- Estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en España. (2014), (January 1999). Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Narcis_Prats/publication/237311582_ESTADO_ECOLOGICO_DE_LOS_ECOSISTEMAS_ACUATICOS_EN_ESPANA/links/00b49525fa84bad5f8000000.pdf
- Evaluación, H. D. E., Recurso, D. E. L., & Colombiano, H. (2008). RELACIONES DEMANDA-OFFERTA DE AGUA, (February 2014). Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Efrain_Dominguez_Calle/publication/228463075_DEMANDA-OFFERTA_DE_AGUA_Y_EL_INDICE_DE_ESCASEZ_DE_AGUA_COMO_HERRA

MIENTAS_DE_EVALUACION_DEL_RECURSO_HIDRICO_COLOMBIANO/links/00b4952f3daff28cd2000000/DEMANDA-OFERTA-DE-AGUA-Y-

- Fahey, D. W. (2002). Veinte Preguntas y Respuestas sobre la Capa de Ozono. Retrieved from https://unep.ch/ozone/spanish/Public_Information/20-faq-sp.pdf
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., ... Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2009.06.018>
- Gabarrell, X., Morales-Pinzón, T., Rieradevall, J., Rovira, M. R., Villalba, G., Josa, A., ... Martínez-Aceves, D. X. (2014). Plugrisost: A model for design, economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting in urban systems. *Water Practice and Technology*, 9(2), 243–255. <https://doi.org/10.2166/wpt.2014.028>
- Gao, H., Zhou, C., Li, F., Han, B., & Li, X. (2017). Economic and environmental analysis of five Chinese rural toilet technologies based on the economic input–output life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 163, S379–S391. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.089>
- García-Montoya, M., Sengupta, D., Nápoles-Rivera, F., Ponce-Ortega, J. M., & El-Halwagi, M. M. (2016). Environmental and economic analysis for the optimal reuse of water in a residential complex. *Journal of Cleaner Production*, 130, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.109>
- Gases, E. D. E., Invernadero, D. E. E., & Alto, C. O. N. (2007). CALENTAMIENTO GLOBAL : EL SECTOR AGROPECUARIO, 11, 7–14.
- Ghimire, S. R., & Johnston, J. M. (2017a). A modified eco-efficiency framework and methodology for advancing the state of practice of sustainability analysis as applied to green infrastructure. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(5), 821–831. <https://doi.org/10.1002/ieam.1928>
- Ghimire, S. R., & Johnston, J. M. (2017b). Holistic impact assessment and cost savings of rainwater harvesting at the watershed scale. *Elementa*, 5. <https://doi.org/10.1525/elementa.135>

- Ghimire, S. R., Johnston, J. M., Ingwersen, W. W., & Hawkins, T. R. (2014). Life cycle assessment of domestic and agricultural rainwater harvesting systems. *Environmental Science and Technology*, 48(7), 4069–4077. <https://doi.org/10.1021/es500189f>
- Ghimire, S. R., Johnston, J. M., Ingwersen, W. W., & Sojka, S. (2017). Life cycle assessment of a commercial rainwater harvesting system compared with a municipal water supply system. *Journal of Cleaner Production*, 151, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.025>
- Gironás, J. L. A. J. (2009). *Storm Water Managment Model Applications Manual*. CINCINNATI: Water Supply and Water Resources Division.
- Goedkoop, M., & Huijbregts, M. (2013). ReCiPe 2008.
- Hasik, V., Anderson, N. E., Collinge, W. O., Thiel, C. L., Khanna, V., Wirick, J., ... Bilec, M. M. (2017). Evaluating the Life Cycle Environmental Benefits and Trade-Offs of Water Reuse Systems for Net-Zero Buildings. *Environmental Science & Technology*, 51(3), 1110–1119. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03879>
- Hunt, R. G., Franklin, W. E., & Hunt, R. G. (1996). LCA — How it came about. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(1), 4–7. <https://doi.org/10.1007/BF02978624>
- Ingwersen, W., Gausman, M., Weisbrod, A., Sengupta, D., Lee, S.-J., Bare, J., ... Ceja, M. (2016). Detailed life cycle assessment of Bounty® paper towel operations in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 131, 509–522. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.04.149>
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES TRANSICIONES ENERGÉTICAS : AGOTAMIENTO Y RENOVACIÓN DE LOS Mayo 2012. (2012).
- J. M. Moreno, E. Aguiló, S. Alonso. et al. M. Álvarez Cobelas, R. Anadón, F. Ballester, G. B., J. Catalán, M. de Castro, A. Cendrero, J. Corominas, J. Díaz, F. Díaz-Fierros, C. M. D., A. Esteban Talaya, A. Estrada Peña, T. Estrela, A. C. Fariña, F. F. G., E. Galante, F. Gallart, L. D. García de Jalón, L. Gil, C. Gracia, A. Iglesias, R. L., J. Loidi, F. López Palomeque, R. López-Vélez, J. M. López Zafra, E. de L. C., J. Martín-Vide, V. Meneu, M. I. Mínguez Tudela, G. Montero, J. Moreno, J. C. M. S., ... A. Sánchez-Arcilla, L. J. Sánchez de Tembleque, F. Valladares, V. R. Vallejo, C. Z. (n.d.). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*.

- Janssen, R. (2001). On the use of multi-criteria analysis in environmental impact assessment in the Netherlands. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10(2), 101–109. <https://doi.org/10.1002/mcda.293>
- Jeong, H., Broesicke, O. A., Drew, B., Li, D., & Crittenden, J. C. (2016). Life cycle assessment of low impact development technologies combined with conventional centralized water systems for the City of Atlanta, Georgia. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 10(6). <https://doi.org/10.1007/s11783-016-0851-0>
- JIANG, Z.-Y., LI, X.-Y., & MA, Y.-J. (2013). Water and Energy Conservation of Rainwater Harvesting System in the Loess Plateau of China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(8), 1389–1395. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60553-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60553-5)
- Kalogirou, S. (2009). Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters. *Solar Energy*, 83(1), 39–48. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2008.06.005>
- Lamnatou, C., Cristofari, C., Chemisana, D., & Canaletti, J. L. (2016). Building-integrated solar thermal systems based on vacuum-tube technology: Critical factors focusing on life-cycle environmental profile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1199–1215. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.030>
- Lemos, D., Dias, A. C., Gabarrell, X., & Arroja, L. (2013). Environmental assessment of an urban water system. *Journal of Cleaner Production*, 54, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.029>
- Li, Y., Huang, Y., Ye, Q., Zhang, W., Meng, F., & Zhang, S. (2018). Multi-objective optimization integrated with life cycle assessment for rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 558, 659–666. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.007>
- LOS COLORES DEL AGUA , EL AGUA VIRTUAL Y LOS. (2006), 99, 369–389.
- Lundie*, S., Peters, G. M., & Beavis, P. C. (2004). Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems Planning. <https://doi.org/10.1021/ES034206M>

- Marimuthu C, & Kirubakaran V. (2014). *Carbon Payback Period and Energy Payback Period for Solar Water Heater*. *Int. Res. J. Environment Sci. International Science Congress Association* (Vol. 3). Retrieved from www.isca.me
- Marinoski, A. K., & Ghisi, E. (2019). Environmental performance of hybrid rainwater-greywater systems in residential buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 100–114. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.035>
- Marinoski, A. K., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2018). Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. *Journal of Environmental Management*, 206, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.004>
- Marsmann, M. (2000). The ISO 14040 family. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(6), 317–318. <https://doi.org/10.1007/BF02978664>
- Material Particulado. (n.d.). Retrieved from www.saludgeoambiental.org
- Melville-Shreeve, P., Ward, S., & Butler, D. (2016). Rainwater harvesting typologies for UK houses: A multi criteria analysis of system configurations. *Water (Switzerland)*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/w8040129>
- Metales, E. L. P. D. E. L. O. S. (2008). The present of metals, 210–217.
- Methodology of ecoinvent 3 – ecoinvent. (n.d.). Retrieved February 9, 2019, from <https://www.ecoinvent.org/database/methodology-of-ecoinvent-3/methodology-of-ecoinvent-3.html>
- Meyer, D. E., & Upadhyayula, V. K. K. (2014). The use of life cycle tools to support decision making for sustainable nanotechnologies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(4), 757–772. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0686-3>
- Morales-Pinzón, T., Lurueña, R., Rieradevall, J., Gasol, C. M., & Gabarrell, X. (2012). Financial feasibility and environmental analysis of potential rainwater harvesting systems: A case study in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 69, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.014>

- Morales-Pinzón, T., Rieradevall, J., Gasol, C. M., & Gabarrell, X. (2015). Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. *Journal of Cleaner Production*, 87(C), 613–626. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.021>
- Muñoz, J. R. (2008). La transformación del medio natural en el entorno de la Bahía... RAMPAS, 10, 2008. 155, 155–213.
- Pennington, D. W., Margni, M., Ammann, C., & Jolliet, O. (2005). Multimedia fate and human intake modeling: Spatial versus nonspatial insights for chemical emissions in Western Europe. *Environmental Science and Technology*, 39(4), 1119–1128. <https://doi.org/10.1021/es034598x>
- Petit-Boix, A., Devkota, J., Phillips, R., Vargas-Parra, M. V., Josa, A., Gabarrell, X., ... Apul, D. (2018). Life cycle and hydrologic modeling of rainwater harvesting in urban neighborhoods: Implications of urban form and water demand patterns in the US and Spain. *Science of the Total Environment*, 621, 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.206>
- Pryshlakivsky, J., & Searcy, C. (2013). Fifteen years of ISO 14040: a review. *Journal of Cleaner Production*, 57, 115–123. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.05.038>
- Rada, F. F. (2005). INDICADORES FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN DEL LAGO TITIKAKA (BOLIVIA) PHYSICOCHEMICAL AND BIOLOGICAL INDICATORS OF THE EUTROPHICATION PROCESS AT TITIKAKA LAKE (BOLIVIA), 4.
- Sanhueza, E. (2000). OXIDACIÓN FOTOQUÍMICA DE HIDROCARBUROS CLORADOS : UNA FUENTE IMPORTANTE DE HCl EN LAS LLUVIAS TROPICALES REMOTAS.
- Shah, D., Patel, P., Kudo, P., Steinberg, A., & Herold, W. (2013). Feasibility of rainwater harvesting on Scott Laboratory. In *Proceedings of the 3rd IEEE Global Humanitarian Technology Conference, GHTC 2013* (pp. 361–364). <https://doi.org/10.1109/GHTC.2013.6713712>
- Sojka, S., Younos, T., & Crawford, D. (2016). Modern urban rainwater harvesting systems: Design, case studies, and impacts. *Handbook of Environmental Chemistry* (Vol. 47). https://doi.org/10.1007/978-3-319-29337-0_7

- Stokes, J., & Horvath, A. (2006). Life cycle energy assessment of alternative water supply systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(5), 335–343. <https://doi.org/10.1065/lca2005.06.214>
- Talens Peiró, L., Villalba Méndez, G., Sciubba, E., & Gabarrell i Durany, X. (2010). Extended exergy accounting applied to biodiesel production. *Energy*, 35(7), 2861–2869. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.015>
- Tavakol-Davani, H., Burian, S. J., & Apul, D. (2018). A Watershed Scale Life Cycle Assessment Framework for Stormwater Management. In *World Environmental and Water Resources Congress 2018: Groundwater, Sustainability, and Hydro-Climate/Climate Change - Selected Papers from the World Environmental and Water Resources Congress 2018* (pp. 294–303). <https://doi.org/10.1061/9780784481417.030>
- Tavakol-Davani, H., Burian, S. J., Butler, D., Sample, D., Devkota, J., & Apul, D. (2018). Combining hydrologic analysis and life cycle assessment approaches to evaluate sustainability of water infrastructure. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001340](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001340)
- Toboso-Chavero, S., Nadal, A., Petit-Boix, A., Pons, O., Villalba, G., Gabarrell, X., ... Rieradevall, J. (2018). Towards Productive Cities: Environmental Assessment of the Food-Energy-Water Nexus of the Urban Roof Mosaic. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.12829>
- Toxicity, H., For, P., Inventory, R., & Screening, R. (2001). HUMAN TOXICITY POTENTIALS FOR LIFE-CYCLE ASSESSMENT AND TOXICS RELEASE INVENTORY RISK SCREENING, 20(4), 928–939.
- Valdez, M. C., Adler, I., Barrett, M., Ochoa, R., & Pérez, A. (2016). The Water-Energy-Carbon Nexus: Optimising Rainwater Harvesting in Mexico City. *Environmental Processes*, 3(2), 307–323. <https://doi.org/10.1007/s40710-016-0138-2>
- Valero, A., & Valero, A. (2015). La valoración exergética, una forma de medir la disponibilidad de recursos minerales El agotamiento de la “gran mina Tierra,” (February). Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Alicia_Valero/publication/271828532_La_valoracion_exergetica_una_forma_de_medir_la_disponibilidad_de_recursos_minerales_El_agotamiento_de_la_gran_mina_Tierra/links/54d25ce80cf28e069723f5c3/La-valoracion-exergetica-un

- Vargas-Parra, M. V., Rovira-Val, M. R., Gabarrell, X., & Villalba, G. (2018). Rainwater harvesting systems reduce detergent use. *International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1535-8>
- Vargas-Parra, M. V., Villalba, G., & Gabarrell, X. (2013). Applying exergy analysis to rainwater harvesting systems to assess resource efficiency. *Resources, Conservation and Recycling*, 72, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.008>
- Vialle, C., Busset, G., Tanfin, L., Montrejaud-Vignoles, M., Huau, M.-C., & Sablayrolles, C. (2015). Environmental analysis of a domestic rainwater harvesting system: A case study in France. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.024>
- Wang, R., & Zimmerman, J. B. (2015). Economic and environmental assessment of office building rainwater harvesting systems in various U.S. Cities. *Environmental Science and Technology*, 49(3), 1768–1778. <https://doi.org/10.1021/es5046887>
- Ward, S., Butler, D., & Memon, F. A. (2012). Benchmarking energy consumption and CO2 emissions from rainwater-harvesting systems: An improved method by proxy. *Water and Environment Journal*, 26(2), 184–190. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2011.00279.x>
- Zafra, A. S. (2008). Efectos de los trihalometanos sobre la salud, 290, 280–290.
- Zanni, S., Cipolla, S. S., Fusco, E. D., Lenci, A., Altobelli, M., Currado, A., ... Bonoli, A. (2019). Modeling for sustainability: Life cycle assessment application to evaluate environmental performance of water recycling solutions at the dwelling level. *Sustainable Production and Consumption*, 17, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.09.002>
- Zhou, T., Xu, S., Wen, Q., Pang, Z., Zhao, X., & Tiekin, E. R. T. (2014). Economic and Environmental Assessment of Urban Rainwater Harvesting Systems in Various US Cities. *Jacs*, (727265), 1–10. <https://doi.org/10.1107/S1600536809047072>

Apéndices

Apéndice A. Información general de la revisión de literatura

Tabla A1. Síntesis de información

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
(Vialle et al., 2015)	Cuantificar los impactos ambientales de los sistemas que utilizan el agua de lluvia en Francia.	X			30 l de agua por día por persona para el inodoro	X	X	X	X	Francia	X		SimaPro	La construcción de los sistemas y el bombeo del agua presentan alto riesgo ambiental
(Gao et al., 2017)	Investigar el costo, el consumo de energía y las implicaciones del calentamiento global del uso de tecnologías de saneamiento estándar y alternativas en una aldea de montaña	X			Prestación de servicios de saneamiento para 600 personas	X	X	X	X	China		X	–	No se intentó hacer un análisis de incertidumbre cuantitativa por la dificultad de adquirir los datos y la cantidad limitada de estos en bruto.
(Petit-Boix et al., 2018)	Comparar el desempeño ambiental de la implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia (RALL) en ciudades estadounidenses y europeas.		X		1 m3 de demanda de agua para servicios de lavado de inodoros y lavandería (lluvia y potable)	X	X	X	X	España y E.E.U.U	X		GaBi	En el artículo se asegura que la metodología se puede aplicar en cualquier región, ciudad o distrito

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
(Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018)	Presentar un estudio sobre la combinación de criterios hidrológicos y de ACV en la evaluación de la sostenibilidad ambiental de la recolección de agua de lluvia (RALL) para controlar los desbordamientos combinados de alcantarillado (OSC).			X	1 m3 del volumen de las OSC (desbordamiento combinado de alcantarillado) a lo largo del ciclo de vida de las instalaciones	X	X	X	X	E.E.U.U		X	GaBi	El modelo de ACV puede utilizarse a escala de cuencas hidrográficas, sin embargo sería una extrapolación inexacta debido al comportamiento no lineal de los sistemas de agua.
(JIANG et al., 2013)	Revisar el desarrollo y la aplicación de la recolección de agua de lluvia y analizar su eficiencia en el uso del agua en la meseta de Loess. Crear un análisis de escenario del consumo de energía para la recolección de agua de lluvia utilizando el método de (LCA) y comparar la recolección de agua de lluvia con el sistema de suministro de agua convencional de la ciudad en la meseta de Loess de China.	X			1 m3 de agua de lluvia	X	X	X	X	China	X		–	Es posible que se presenten dificultades sino se tiene claro el límite del sistema
(Devkota et al., 2013)	Desarrollar un modelo que pueda abordar tanto las necesidades prácticas de los diseñadores de edificios como las necesidades de investigación de la comunidad de edificios e infraestructura para	X				X	X	X	X	E.E.U.U		X	EEAST (Análisis económico y ambiental de tecnologías de saneamiento)	Las limitaciones del EIO-LCA (evaluación de entrada y salida económica del ciclo de vida), como la producción lineal (es decir, el menor costo que resulta en una menor energía y emisiones) y los sectores agregados (por ejemplo,

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
	comprender mejor el papel potencial de los inodoros de compostaje y los sistemas de recolección de agua de lluvia en el entorno urbano actual.													el tratamiento de agua y aguas residuales modeladas como un solo sector) se transfieren al modelo EEA. Sin embargo, el uso de datos EIO-LCA evita la selección arbitraria de datos de inventario de ciclo de vida basados en procesos que pueden variar en muchos órdenes de magnitud según las fuentes de datos y los límites seleccionados.
(Marinoski & Ghisi, 2019)	El objetivo de este documento es presentar un método basado en LCA para evaluar el desempeño ambiental de los sistemas híbridos de aguas lluvias y aguas grises en casas de bajos ingresos en Florianópolis, sur de Brasil.	X			Volumen total de agua consumida en la casa durante el horizonte de tiempo definido (55,713.6 m³ de agua)	X	X	X	X	Brasil		X	SimaPro	Una de las limitaciones de esta investigación fue el uso de bases de datos extranjeras debido a la falta de una base de datos brasileña para el inventario del ciclo de vida de los sistemas evaluados. Sin embargo, se intentó adaptar los procesos de los inventarios modelados, como los medios de transporte y la matriz energética utilizada.
(Valdez et al., 2016)	Calcular y comparar las emisiones de GEI del ciclo de vida, la energía y los costos de los edificios suministrados por el agua municipal y las diferentes configuraciones de los sistemas RALL en la Ciudad de México.	X			1 m3 de agua consumida por el edificio	X	X	X	X	México	X		SimaPro	Los edificios de gran altura pueden ocasionar problemas en el funcionamiento de los sistemas de recolección, sin embargo, los resultados arrojan una contribución considerable a las emisiones de gases efecto invernadero

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
(Toboso-Chavero et al., 2018)	Evaluar la implementación de los recursos FEW (alimentos, energía y agua) en tejados y desarrollar una guía analítica para examinar la factibilidad técnica y las implicaciones ambientales del enfoque del mosaico de techos en las ciudades.		X		Cumplir con las demandas anuales de FEW (Alimento-Energía-Agua) de un residente promedio de Montbau, Barcelona	X	X	X	X	España		X	SimaPro	Podemos encontrar diferentes obstáculos logísticos si estos sistemas se implementan en la escala de vecindario, como la construcción de nueva infraestructura para conectar los sistemas entre edificios, o las demandas organizativas entre vecinos, los administradores de edificios, etc.
(Jeong et al., 2016)	Comparar los impactos ambientales en el ciclo de vida de tecnologías o sistemas individuales, y evaluar cómo múltiples tecnologías LID, con diversas funciones, podrían mejorar los impactos ambientales de un sistema convencional en general como una función de uso del suelo y población.		X		1 m3 de agua pluvial	X	X	X	X	E.E.U.U		X	SimaPro	
(Ghimire et al., 2017)	Llevar a cabo un LCA de un sistema comercial de RALL y compararlo con un suministro de agua municipal (MWS), en adelante denominado sistemas comerciales de referencia RALL y MWS.	X			1 m3 de agua lluvia	X	X	X	X	E.E.U.U	X		GreenDelta	Existen limitaciones para usar la base de datos Ecoinvent, un LCI europeo, en los EE. UU. Porque los resultados serían sensibles a la calidad de los datos y al tipo de material. Sin embargo, la disponibilidad de datos es una consideración importante, de modo que el LCI y el LCA utilizaron datos y métodos de un estudio nacional de RALL

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
														en el sureste de los EE. UU
(Devkota et al., 2015)	Abordar el impacto que generan las personas en el medio ambiente mediante el análisis de las implicaciones económicas y ambientales de cinco escenarios diferentes de recolección de agua de lluvia diseñados para la descarga de inodoros y / o irrigación en un edificio de dormitorios de la Universidad de Toledo existente.	X			Provisión de servicios de saneamiento y riego en el edificio especificado	X	X	X	X	E.E.U.U		X	GaBi	Los períodos de recuperación de la equivalencia de costos, energía y dióxido de carbono (CO2) pueden variar mucho según el tipo de edificio y el uso. El estudio sugiere que el agua lluvia para la descarga de inodoros es buena pero requiere varios años para recuperar las emisiones de energía y de gases efecto invernadero. También que aunque los alcantarillados combinados son una buena alternativa el desbordamiento de estos genera un gran impacto ambiental
(Ghimire & Johnston, 2017b)	Abordar de manera integral los impactos de RALL a escala de cuencas hidrográficas, incluidas las categorías de impacto de consumo de energía de LCIA, emisiones de GEI, salud humana y ecológica, además del ahorro de costos de balance de agua en el ciclo de vida y energía.			X	1 m3 de agua	X	X	X	X	E.E.U.U	X		OpenLCA	Nuestro estudio tiene límites relacionados con las limitaciones inherentes de la ACV. La atribución de los impactos ecológicos y de salud humana a una escala geográfica específica, es decir, local frente a nacional o regional, es una limitación conocida de la metodología actual de ACV. Como ejemplo, la eutrofización, aunque se considera regional, puede o no realizarse dentro del límite del área de evaluación debido al uso de datos sustitutos de Ecoinvent.

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
(Shah et al., 2013)	Desarrollar un sistema conceptual de recolección de agua de lluvia que busca reducir el uso doméstico de agua y el impacto ambiental del edificio de un laboratorio del campus.	X								E.E.U.U	X		Sustainable Minds	
(Vargas-Parra et al., 2018)	Presentar un análisis ambiental y económico de los sistemas de RWH que proporcionan a los hogares agua para lavado en una perspectiva de pensamiento del ciclo de vida.		X		1 m3 de agua lluvia suministrada para lavandería domestica	X	X	X	X	España	X			La baja densidad en la población puede afectar el funcionamiento de los sistemas de recolección de agua lluvias y sus implicaciones ambientales
(Zanni et al., 2019)	Evaluar y comparar los impactos ambientales atribuibles al uso de la fuente de suministro de agua, como la recolección de agua de lluvia y el reciclaje de aguas grises, alternativa a la tradicional.	X			1 m3 de agua recuperada	X	X	X	X	Italia		X	SimaPro	Se pueden presentar resultados negativos relacionados con la configuración y escala del modelo, con los beneficios ambientales que el ACV no cuenta adecuadamente
(Lamnatou et al., 2016)	Presentar una revisión sobre BIST con colectores de tubos de vacío, ACV sobre sistemas térmicos solares basados en tecnología de tubos de vacío, etc. e identificar problemas críticos relacionados con las aplicaciones de tubos de vacío, 2) proporcionar	X				X	X	X	X	Francia		X	SimaPro	El consumo alto de electricidad durante la fase de uso de los colectores. La integración de edificios se asocia con una reducción de la eficiencia del sistema

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
	información sobre el perfil ambiental de un sistema solar térmico activo patentado de BI con tubos de vacío en comparación con otra configuración solar térmica activa de BI patentada con colectores de placa plana que ha sido estudiado por autores desde el punto de vista ambiental													
(Sojka et al., 2016)	Diseñar sistemas activos de captación de agua de lluvia y analizar los impactos ambientales y la evaluación económica y del ciclo de vida de los sistemas de captación de agua de lluvia.													
(Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018)	Presentar un método para integrar los criterios de H&H y LCA en la evaluación de la sostenibilidad ambiental de la infraestructura de agua urbana			X	1 m3 del volumen de las OSC(desbordamiento o de alcantarillado combinado) a lo largo del ciclo de vida de las instalaciones	X	X	X	X	E.E.U.U		X	GaBi	
(Ghimire & Johnston, 2017a)	Demostrar el uso de un marco de EE(eco eficiencia) modificado dentro de una metodología de análisis de sostenibilidad novedosa para varias configuraciones de diseño de RALL como objetivos de gestión de						X	X	X			X	OpenLCA	

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
	decisiones, minimizando las limitaciones de la DEA(análisis de envoltorio de datos) clásica y eliminando el problema de no exclusividad de EE.													
(Angrill et al., 2012)	Identificar la estrategia más ecológica para utilizar el agua lluvia en entornos urbanos mediterráneos de diferentes densidades	X			1 m3 de agua lluvia para uso no potable	X	X	X	X	Regiones mediterráneas	X		Cypecad, MetabaseIT EC, SimaPro, EcoConcrete	Es una metodología reciente por lo que se limita en gran medida a criterios económicos
(García-Montoya et al., 2016)	Comparar los impactos entre cinco escenarios del diseño de la reutilización de agua y RALL en un complejo residencial		X		1 m3 de agua	X	X	X	X	México		X	IMPACT 2002p	Es necesario tener claro el funcionamiento de los sistemas de tratamiento para acoplarlos con el sistema de recolección y hacer una evaluación adecuada sin desviarse del objetivo
(Angrill et al., 2017)	Seleccionar una estrategia de RALL ambientalmente optima en edificios residenciales vinculados a la demanda de agua lluvia para lavandería	X			1 m3 de agua lluvia para uso no potable	X	X	X	X	Climas Mediterráneos		X	SimaPro	Existen pocos estudios que utilizan herramientas de ACV para determinar los puntos críticos del ciclo de agua urbana o evaluar la instalación de RALL en entornos urbanos
(Ghimire et al., 2014)	Evaluar los impactos en la salud humana y ambiental de los RALLD y RALLA para una cuenca representativa en Estados Unidos	X		X	1 m3 de agua para uso doméstico no potable y para riego agrícola	X	X	X	X	E.E.U.U	X		OpenLCA, SimaPro	Al trabajar con cuencas se debe tener especial cuidado puesto que su superficie sufre cambios que pueden afectar el proceso de recolección y a su vez el análisis realizado
(Wang & Zimmerman, 2015)	Evaluar y revelar los beneficios y costos funcionales económicos y ambientales directos e	X			1 m3 de agua lluvia cosechada	X	X	X	X	E.E.U.U	X		SimaPro	La escasa información empírica sobre los requisitos de mantenimiento limita el análisis ambiental de esta

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
	indirectos de implementar RALL e investigar RALL en entornos urbanos heterogéneos													etapa de los sistemas de RALL
(Zhou et al., 2014)	Analizar las condiciones del aire, las tarifas del agua, evaluación de calidad, análisis del ciclo de vida	X					X	X	X	E.E.U.U	X		-	La falta de información detallada en el inventario de ciclo de vida ocasiona problemas para la obtención de los datos necesarios en la evaluación
(Morales-Pinzón et al., 2015)	Conceptualización del software Plugrisost presentando un algoritmo general para el análisis de sistemas RALL en términos de reutilización de aguas grises e impacto ambiental	X	X		1 m3 de agua lluvia para uso no potable	X	X	X	X	España		X	Plugrisost, SimaPro	Se debe tener especial cuidado con el manejo del software puesto que integra aspectos ambientales y económicos, por lo tanto, sino se manejan los datos que se ingresan de manera adecuada puede arrojar resultados errados
(Li et al., 2018)	Evaluar y comparar los impactos ambientales y humanos de tres sistemas de RALL a través de ACV. Optimizar las áreas de construcción de los tres sistemas con el propósito de aumentar los recursos hídricos, el control de la escorrentía de aguas pluviales, la viabilidad económica y el medio ambiente	X	X		10000 m2 de área de construcción	X	X	X	X	China	X		GaBi 6.0	La principal limitación fue que solo se consideró la reducción de contaminación en el modelo. Una limitación para los dos primeros objetivos fue el volumen de precipitación, mientras que el objetivo de la reducción de contaminantes dependió del volumen de RALL
(Gabarrell et al., 2014)	Describir el software Plugrisost teniendo en cuenta costo estimado y calentamiento global. Implementar un sistema RALL que	X			1 m3 de agua lluvia para uso no potable	X	X	X	X	Portugal		X	Plugrisost, SimaPro	Los índices de precipitación en el lugar de estudio pueden limitar el proceso de evaluación cuando son muy bajos puesto que el sistema no

Artículos	Objetivo	Alcance del estudio			Unidad funcional	Etapas de ACV				Países de implementación	Tipo de sistema		Software empleado	Limitaciones
		Edificio o Casa	Urbano	Cuenca		Definición de objetivos y alcance	Análisis de Inventario	Evaluación de impacto	Interpretación		Agua lluvia	Combinado		
	muestra la importancia de disponibilidad de agua lluvia y la demanda para la operación exitosa de sistemas simulados													funciona de manera constante
(Morales-Pinzón et al., 2012)	Examinar la viabilidad económica y ambiental de sistemas RALL, por qué su construcción y el uso asociado del agua lluvia ofrecen una alternativa en el suministro de agua doméstica		X		1 m3 de agua lluvia para uso no potable	X	X	X	X	España	X		SimaPro	Es posible obtener resultados financieros acoplados con la evaluación ambiental, pero si no se especifican adecuadamente los parámetros a analizar se pueden presentar errores

Apéndice B. Etapas del Análisis de ciclo de vida

Tabla A2. Etapas de ACV

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
(Vialle et al., 2015)	Captación por canales y uso final para descarga de inodoros	30 l de agua por día por persona para el inodoro	Francia	Excavadora, cemento, grava, PVC, diésel, bombas, tanque, filtros, electricidad		Canal, filtro de tamiz, tanque subterráneo, sistema de bombeo, filtros, inodoro		El subproceso de construcción genera el 60% de impacto en cancerígenos, acidificación acuática y extracción de minerales. Las infraestructuras y la desinfección aumentan los impactos ambientales	El uso de etapa de desinfección evita el riesgo sanitario pero es altamente desfavorable con respecto al desempeño ambiental	El sistema presenta resultados desfavorables para todas las categorías de impacto excepto calidad del ecosistema, impacto sobre la salud humana, recursos y cambio climático
(Gao et al., 2017)	Hogar, descarga de inodoros, transporte por tubería o almacenamiento y tratamiento	Prestación de servicios de saneamiento para 600 personas	China	Inodoros, tanques de agua lluvia hechos de acero, concreto y material impermeable bombas tuberías			Descarga de inodoros	Se analizaron 5 escenarios, el 3 (desviación de orina más inodoro con descarga de agua del grifo) tuvo el mayor consumo de energía ocupando más del 70% en el	Las emisiones de gases efecto invernadero pueden derivarse del consumo de energía o de agua.	Los inodoros con descarga utilizando agua lluvia no fueron dominantes con respecto a los beneficios ambientales debido a la alta inversión en la

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								uso de energía. En cuanto a los gases efecto invernadero el escenario 2 (descarga de inodoro con agua lluvia) tuvo el impacto más alto en la fase de fabricación		fase de fabricación.
(Petit-Boix et al., 2018)	Escorrentía, captación, clasificación del edificio, estimación de demanda de agua, cisterna	1 m3 de demanda de agua para servicios de lavado de inodoros y lavandería (lluvia y potable)	España y E.E.U.U	Clase de área de techo, tamaño y eficiencia de la cisterna				Se tuvieron en cuenta 17 impactos de los cuales 14 de ellos presentaron resultados favorables. Los impactos en Calafell fueron un 60 % más bajos Ukiah	La recolección de agua lluvia reduce el volumen de escorrentía y al mismo tiempo brinda un servicio a los residentes y mejora la huella ambiental de la adquisición de agua	El tratamiento de escorrentía contribuyó al 70% de los impactos totales del sistema de recolección de agua lluvia generando un mayor ahorro medioambiental
(Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018)	Captación en un tanque, agua lluvia rebosada hacia cuerpos de	1 m3 del volumen de las OSC (desbordamiento combinado de	E.E.U.U	Concreto, cisterna, bomba	Transporte de materiales	Tratamiento de agua potable, tratamiento combinado de aguas residuales		Los 4 escenarios tenidos en cuenta reducen la ecotoxicidad acuática pero solo dos de ellos utilizan agua	La elección de los materiales para la construcción del sistema influye de	El uso de recolección de agua lluvia puede originar impactos de ciclo de vida más bajos con respecto a

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
	agua, aguas pluviales, alcantarillado y descarga de inodoros	alcantarillado) a lo largo del ciclo de vida de las instalaciones						lluvia, éstos ocasionaron un impacto adverso de potencial de eutrofización	manera significativa en los impactos ambientales	ecotoxicidad acuática y agotamiento de la capa de ozono
(JIANG et al., 2013)	Capitación, almacenamiento y transporte para uso doméstico	1 m3 de agua de lluvia	China	Recursos incorporados en el sistema: hormigón y mortero		No se construyó sistema de distribución de bombeo		El consumo de energía por unidad de captación es de $17.03 \text{ MJ m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ en el sistema de agua lluvia mientras el suministro de agua principal consume $62.25 \text{ MJ m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$	El sistema de recolección de agua lluvia tiene efectos profundos en el ahorro de energía afirmación que se apoyó de otras investigaciones con el mismo resultado	La recolección de agua lluvia en la meseta de Loess en China conservó el uso de energía por unidad de agua para el consumo doméstico y además mejoró el rendimiento de los cultivos
(Devkota et al., 2013)	Captación de agua lluvia, uso final descarga de inodoros, riego o ambos			Ocupación, características del edificio, precipitación		Cisterna, bombeo, tubería,		El agua de lluvia recolectada puede cubrir el 100% de la demanda de agua no potable cuando se usó para la descarga de inodoro o el riego y 82% cuando se usó para ambos. El gasto de energía cuando el agua	El agua de lluvia no era suficiente por lo que solo podía satisfacer la necesidad del inodoro haciendo que los inodoros de compostaje presentaran mejores	EEAST no modela explícitamente la gestión de sólidos por lo que le da una ventaja injusta a los inodoros de compostaje sobre el uso de agua lluvia para la descarga

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								lluvia se usa para riego es muy alto.	resultados a nivel energético y de emisiones de gases efecto invernadero	
(Marinoski & Ghisi, 2019)	Los límites del sistema de los escenarios de suministro de agua comienzan con la extracción de la materia prima para la fabricación de los componentes y finalizan con su eliminación después de su vida útil.	Volumen total de agua consumida en la casa durante el horizonte de tiempo definido (55,713.6 m ³ de agua)	Brasil	Tuberías, válvulas, conexiones de policloruro de vinilo, polietileno, conjunto de succión flotante y alimentador, cesta de filtro (tamiz de latón), válvula de retención con boquilla enchufable, conector angular para tubos de 1", abrazaderas y anillos de acero inoxidable, y manguera espiral de silicona. Válvula solenoide, una boya	Sólidos de disposición final, transporte de materiales y componentes del sistema	Tanque de almacenamiento, alimentador automático, sistema de eliminación de sólidos, succión flotante	Energía para la deconstrucción, lavado de aceras y vehículos, riego de jardines y lavadoras	El conjunto de bomba de motor adoptado para bombear aguas de lluvia tenía un consumo de energía igual a 0,31 kW h / m ³ . La fase de operación representa la mayor parte de los impactos para las categorías de cambio climático que está relacionada con el consumo de energía requerido para el tratamiento de agua y el potencial de calentamiento global por el consumo de agua potable. El sistema residencial	La implementación del sistema híbrido llevó a una reducción del 36.1% en el consumo total de energía para la operación en relación con el escenario del sistema convencional. La categoría de impacto más importante en ambos escenarios fue la toxicidad humana. La producción de los componentes	El ahorro potencial promedio de agua potable logrado mediante la implementación de un sistema híbrido de aguas pluviales y aguas grises en el estudio de caso fue de 41.9%. El escenario del sistema híbrido podría proporcionar una reducción del 36.1% en el consumo total de energía de operación en comparación con el escenario del sistema convencional. Por lo tanto, los sistemas híbridos reducirían considerablement

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
				electrónica de nivel y un registro de latón.				híbrido se desempeñó mejor que el sistema convencional en el análisis de todas las categorías de impacto en el punto medio de ReCiPe, con la excepción de la toxicidad humana , Ecotoxicidad marina, ecotoxicidad de agua dulce y agotamiento de metales, que fueron 9.7%, 0.7%, 3.4% y 0.9% más, respectivamente.	es la fase con la mayor contribución a la categoría de toxicidad humana para ambos escenarios, ya que se emiten sustancias potencialmente tóxicas a los compartimentos ambientales de agua, aire y suelo, en kg de equivalente de 1,4-diclorobenceno. La contribución de cada subsistema a los impactos ambientales estandarizados del escenario del sistema híbrido fue del 59.5% del total de	e la dependencia del sistema convencional de hogares de bajos ingresos en Florianópolis. Es importante buscar eficiencia energética en la configuración del sistema híbrido, diseñando sistemas con un tanque de almacenamiento superior con operación por gravedad y evitando el consumo de energía asociado con la distribución de agua. El método aquí propuesto podría servir como una guía y herramienta de apoyo a la decisión para diseñadores, planificadores e investigadores, para reducir la demanda de agua y el consumo de

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
									impactos relacionados al subsistema de aguas lluvias	energía para prepararse para las necesidades del futuro y comprender mejor las implicaciones ambientales relacionadas con el uso del agua en las casas.
(Valdez et al., 2016)	Captación de agua en el techo, almacenamiento en cisternas, uso final en el edificio	1 m3 de agua consumida por el edificio	México	Tuberías de drenaje, tuberías para almacenamiento, tanques de agua potable, cisterna de agua tratada, tanques de pared, tanque de sedimentación, tuberías de distribución, bombas de agua	Transporte de combustible	Equipo de tratamiento	Energía consumida por la empresa municipal de suministro de agua y la energía consumida por las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales se consideran parte del sistema.	Entre el 5% y 13% de energía corresponde al bombeo de agua de los tanques recolectores de agua lluvia. Los escenarios con sistemas de recolección reducen el potencial de calentamiento global es decir disminuyen la emisión de gases efecto invernadero. Los edificios de baja altura pueden arrojar reducciones de entre 7.1% y 18.4%	Aunque los sistemas de recolección de agua lluvia permiten que se reduzcan las emisiones de gases efecto invernadero en su etapa de construcción puede afectarse éste resultado por lo tanto el potencial de calentamiento o global se redujo en menos del 50%	Los resultados muestran que los sistemas de recolección de agua lluvia no solo disminuyen el potencial de calentamiento global (reducción de entre 0.9% y 18.4%) sino también mitigan las inundaciones

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
(Toboso-Chavero et al., 2018)	Captación de agua, producción de tomate, no se tuvo en cuenta el final del ciclo de vida del sistema	Cumplir con las demandas anuales de FEW(Alimento-Energía-Agua) de un residente promedio de Montbau, Barcelona	España	Bombas		Sistema alternativo de techo, sistemas convencionales, Agua, tipo de alimento que se va a cultivar, electricidad, agua caliente		La combinación entre sistema de recolección de agua lluvia y alimentos arrojaron resultados de entre 10% y 90% de beneficios en cuanto a los impactos analizados. En cuanto a las emisiones de gases efecto invernadero la combinación con los sistemas de energía arrojaron mejores resultados	Se pueden implementar sistemas de recolección de agua lluvia combinado con producción de alimentos en techos de edificios lo cual genera una mejora considerable en impactos como emisiones de gases efecto invernadero y consumo de energía	El nexo alimento-agua-energía se puede aplicar a diferentes escalas y en diferentes contextos y tipos de edificios
(Jeong et al., 2016)	Tanques de almacenamiento en el piso conectados por medio de tuberías al techo que es la primera	1 m3 de agua pluvial	E.E.U.U	Bombas, tubería, filtro de sedimentos		Volumen de escorrentía, tanque de almacenamiento o sobre el suelo, tubería para el transporte del agua	Limpieza del inodoro del piso superior	El tanque de almacenamiento contribuye en 46%, 55%, y 54% hacia la acidificación, los efectos cancerígenos y los impactos de ecotoxicidad	El uso de agua de lluvia recolectada disminuye la acidificación y los efectos cancerígenos en un 55% y un 46%,	A pesar de que los puntajes de LCA son más altos, la incorporación de tecnologías DBI (desarrollo de bajo impacto) a nivel comunitario puede satisfacer

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
	zona de captación del agua lluvia. No se incluyó la fase final del sistema							respectivamente. Los mayores impactos del sistema de suministro de agua son la acidificación (0.006%) y los efectos carcinogénicos (0.03%). Las tasas de utilización de agua lluvia aumentan a 34% para zonas unifamiliares y 23% para zonas multifamiliares, cuando se implementan conjuntamente la recolección de agua de lluvia y el paisajismo.	respectivamente.	la mayoría de la demanda de agua en exteriores; sin embargo, en zonas de alta densidad de población, los ahorros de agua se vuelven insignificantes. Los tanques de recolección de agua de lluvia pudieron acumular el 75% del volumen del año de diseño, mientras que solo aumentaron las cosechas en un 4% durante un año de inundación.
(Ghimire et al., 2017)	El límite del sistema se extiende desde la cuna hasta la tumba, excluyendo la distribución de los componentes desde la	1 m3 de agua lluvia	E.E.U.U	Aluminio, polipropileno, acero inoxidable, manguera de plástico reforzado, polietileno, acero laminado, suministro de agua,		Filtro de vórtice, filtro flotante, bomba principal, bomba de refuerzo tanque de presión	Descarga de inodoros y limpieza de orinales en el edificio	El sistema de RALL fue ligeramente mejor o equivalente a MWS (sistema de suministro de agua municipal) para demanda de energía, agotamiento de fósiles, calentamiento	El consumo comercial de energía y el agotamiento de fósiles cayeron en una pendiente alta porque la energía de bombeo dominó esos	Los análisis revelaron que el RALL comercial de referencia tuvo un mejor desempeño o equivalente (45%-55%) al MWS en todas las categorías de impacto, excepto el agotamiento de

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
	fabricación final hasta el punto de uso y las fases de eliminación por falta de datos comparables.			electricidad, fibra de vidrio. Demanda total de agua para enjuagar inodoros y orinales, demanda de inodoros y orinales de alta eficiencia.				global, toxicidad humana; el uso comercial de energía de RALL y el tanque de almacenamiento dominaron con 50% más en todos los impactos excepto el agotamiento de metales	impactos, así mismo el agotamiento de ozono y la extracción de agua dulce por el tanque de almacenamiento. El tanque de fibra de vidrio domina nueve de los once impactos.	la capa de ozono. Los análisis de sensibilidad del uso de energía, la demanda de agua, la pérdida de agua y el volumen del tanque de almacenamiento confirmaron las tendencias de linealidad en los puntajes LCIA.
(Devkota et al., 2015)	Captación de agua lluvia para uso final en riego y descarga de inodoros de edificios existentes y de nueva construcción	Provisión de servicios de saneamiento y riego en el edificio especificado	E.E.U.U	Base de concreto, cisterna, filtro, bombeo, tubería		Agua residual, agua potable, Cisterna, bomba, tubería doble, plataforma de concreto	Descarga de inodoros y riego de césped en edificio de dormitorios	La cisterna es el elemento con el consumo de energía y emisiones de gases efecto invernadero más alto. Si se considera la implementación de recolección de agua de lluvia para un dormitorio, es mejor si se usa el agua de lluvia recolectada en el inodoro, en una nueva	Los escenarios 1 y 3 (Riego de aguas pluviales renovado y lavado de inodoros con agua de lluvia en nueva construcción) tienen un mejor rendimiento de emisiones de gases de efecto invernadero	Los escenarios 1 y 3 (el sistema de irrigación de agua de lluvia renovado y el inodoro de agua de lluvia y la nueva construcción) son los dos escenarios más favorables en función del costo, la energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que sugiere que si se van a implementar

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								construcción o utilizado en el riego en un edificio existente debido a que generan el menor impacto ambiental	y energía, y el 4 (Inodoro con agua de lluvia y menos personas) tiene el peor desempeño ambiental cuando se mide por persona.	sistemas de recolección de agua de lluvia, el uso final debe variar dependiendo de la renovación de un edificio existente o si la recolección de agua de lluvia se implementará mientras se construye el edificio.
(Ghimire & Johnston, 2017b)	El análisis tiene en cuenta desde la adquisición del agua hasta el uso amplio en la cuenca	1 m3 de agua	E.E.U.U	Polietileno, energía de bombeo, tuberías, canal		Almacenamiento, recolección, distribución, bombeo	Descarga de inodoros y riego para producción agrícola	La adopción de RALL redujo los impactos ambientales tenidos en cuenta para el análisis excepto el de ecotoxicidad con $7,3 \times 10$ unidades tóxicas comparativas / m3 (CTU / m3). Es importante destacar que el ahorro de RALL agrícola para la demanda de energía durante el ciclo de vida fue 10 veces mayor que el RALL doméstico en la	Para el sistema doméstico las reducciones de impacto oscilaron entre 21 y 43 TJ de demanda de energía acumulada, 267–536 Mg de aceite de fósforo, agotamiento de combustibles fósiles, 1167–2343 Mg CO2 eq, potencial de	La RALL doméstica redujo los impactos en el medio ambiente y la salud humana en el ciclo de vida en comparación con el agua potable municipal, variando desde el 57.8% de la demanda de energía acumulada hasta el 99.9% del uso de agua azul. El RALL agrícola también redujo los impactos en la salud humana y en el medio

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								cuenca de Back Creek, pero menor (~ 0.4 veces el ahorro nacional de RALL) en Sycamore y Greens Mill.	calentamiento o global, 15–31 Mkg H + mole eq. acidificación, 76–153 Mkg O3 eq. smog, uso de agua azul de 3–6 Mm3, 10–20 Mkg N eq. eutrofización y 1–2 Mkg PM eq. Criterios de contaminación de la salud humana. Con una adopción del 25% de RWH agrícola, las reducciones de impacto oscilaron entre 12–210 TJ demanda energética acumulada, 594–10092 Mg CO2 eq. potencial de calentamiento o global y	ambiente en comparación con el agua de pozo, que abarca desde un 20% de agotamiento de metales hasta un 99,9% de agua azul.

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
									uso de agua azul de 39–2 Mm3.	
(Shah et al., 2013)			E.E.U.U	Tuberías, carbonato de sodio, cloruro de polivinilo, polietileno reticulado, pintura a base de látex		Tanques		Se proyectó que el agua de lluvia total recolectada de los tejados sería de aproximadamente 79,089 pies cúbicos por año. Si toda el agua que cae sobre el techo fuera a ser cosechada, entonces el sistema podría proporcionar a Scott Laboratory el 17% de sus necesidades totales de agua. El agua total que necesita Scott Laboratory equivale a casi 5,000 kWh dato que proporciona AEP (American Electric Power)	Un sistema de recolección como este también se puede implementar fácilmente en sistemas de riego donde el agua de lluvia natural es más beneficiosa para el paisaje que el agua de ciudad tratada. Lanzaría menos sustancias químicas, como el cloro y el flúor, al medio ambiente, lo cual es un beneficio directo para el césped	El uso del software Sustainable Minds fue beneficioso para analizar el impacto del proyecto en el medio ambiente desde un punto de vista de fabricación. La instalación de tal sistema evitaría más de 1,700 libras de CO2 que se libera cada año, por lo tanto, un sistema de recolección de agua de lluvia sería ambientalmente racional

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
									que rodea el laboratorio Scott.	
(Vargas-Parra et al., 2018)	Captación de agua lluvia al final del ciclo de vida del sistema que incluye el desmantelamiento y transporte de materiales a planta de gestión de residuos	1 m3 de agua lluvia suministrada para lavandería domestica	España	Tablero de partículas, concreto, acero, fibra de vidrio, ladrillo, polipropileno, diésel,.	Transporte de materiales, transporte de demolición	Extracción de materiales, excavación e instalación de tanques	Desmantelamiento, requerimientos energéticos, ahorro de detergentes para ropa y otros aditivos	El mejor desempeño ambiental lo tuvo el escenario de alta densidad para todos los impactos excepto el agotamiento de ozono, esto ocurre porque requiere menos material por metro cúbico de agua aprovechada. En el escenario de baja densidad con el sistema de almacenamiento extendido en el techo se presentan los impactos más altos para cinco de las siete categorías	El consumo de detergente de secado rápido y otros aditivos se puede reducir en un 62% como resultado del uso de agua lluvia, además también se redujo el impacto de los indicadores tenidos en cuenta	Los escenarios de alta densidad presentan mejores resultados ambientales y económicos, e ilustran cómo las demandas más altas incluyen un mayor beneficio económico y un menor impacto ambiental por unidad. La diferencia entre los requisitos de aditivos para el lavado de agua de grifo duro y de agua de lluvia suave presagia evitar un 80% los impactos ambientales y el costo económico.
(Zanni et al., 2019)	Se analiza desde la producción hasta el final de la vida útil del sistema	1 m3 de agua recuperada	Italia	Polietileno de alta densidad, tuberías de distribución de PVC, filtros y lámpara ultravioleta, tablero de		Tanque de almacenamiento, membranas de filtración, sistemas de aireación y recirculación, consumo de	Suministro de equipos electrónicos	La implementación de diferentes suministros de energía afectaría principalmente el indicador de Cambio	El uso alternativo para SRL se ha modelado en dos escenarios, es decir, el	Para RALL, la alta intensidad de uso debe combinarse con una reutilización alternativa para el agua reciclada, es decir, el

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
				cableado, sensores de control de flujo, válvulas y cables		energía para bombeo de agua.		Climático, dando lugar a un mejor rendimiento que oscila entre el 89% y el 99%, en el caso de aplicaciones de baja intensidad de uso. El indicador de impacto de agotamiento de ozono también muestra un mejor desempeño, con un valor de 317% (para RHS, escenario B3); Agotamiento de fósiles parece seguir el mismo patrón, pero con menor intensidad (variación del 210% para RHS, escenario B3). Los resultados de agotamiento de agua no se vieron afectados por el suministro de energía diferente, como se esperaba.	suministro de lavadoras y los resultados muestran una notable mejora ambiental, con valores que van de una a diez veces más bajos en los indicadores de impacto relacionados con la toxicidad, todos los indicadores de impacto que muestran valores negativos (es decir, beneficio ambiental), excepto ocupación de la tierra agrícola.	suministro de la lavadora, para obtener un beneficio ambiental general. Los resultados de LCA muestran cómo la fase de uso determina el mayor impacto tanto para SRG como para SRL, lo que sugiere, desde una perspectiva de diseño ecológico, una posible combinación de soluciones presentadas con un sistema de suministro de energía local y renovable.
(Lamnatou et al., 2016)			Francia	Absorbente negro, cubierta de vidrio, tubo		Tanque de almacenamiento o (acero inoxidable),		Para la calefacción auxiliar, se ha considerado la	Dado que la captación de agua de lluvia es una	Hay pocos estudios de ACV sobre colectores de tubos de vacío

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
				para agua fría, agua caliente, aislamiento térmico, canaleta, tubo de vacío, tubo externo e interno, colector en las canaletas		tanque de almacenamiento (aislamiento de lana de roca) Bomba (acero inoxidable)		combinación de electricidad de Francia, que tiene bajas emisiones de CO ₂ y una alta penetración de la energía nuclear. Los hallazgos revelan que, al adoptar el reciclaje, el impacto de los insumos adicionales muestra una reducción de 6.1–7.2 y 0.4–0.5 t CO ₂ . eq.	función conjunta de los sistemas BIST estudiados, como una perspectiva futura podría incluirse en el modelo de LCA. Dado que la producción de agua caliente doméstica mediante el uso de fuentes de energía convencional es implica un impacto ambiental considerable, mientras que la irrigación y el uso de agua en interiores requieren ciertas cantidades de agua, se puede evitar un impacto	y la mayoría de ellos se basan en las emisiones de EI (energía incorporada) y CO ₂ . Con respecto a los hallazgos del estudio de ACV, el Sistema II (tubo de vacío / BIST) muestra un perfil ambiental considerablemente mejor que el Sistema I (placa plana / BIST).

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
									significativo mediante el uso de una canaleta de vacío solar.	
(Sojka et al., 2016)	Captación en un tanque, finalizando el sistema con un tanque de presión			Energía de bombeo, energía incorporada, energía de construcción						
(Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018)	Empieza en la fase operativa teniendo en cuenta el desbordamiento de alcantarillado combinado y las descargas de aguas pluviales.	1 m3 del volumen de las OSC(desbordamiento de alcantarillado combinado) a lo largo del ciclo de vida de las instalaciones	E.E.U.U	Estrategias de control de aguas pluviales, área, aspereza, impermeabilidad, capacidad de infiltración, red de drenaje, precipitación pluvial y tiempo seco		Tanque de almacenamiento, azotea		Para los resultados de uWISE (evaluación de sostenibilidad de infraestructura de agua urbana), en términos de ecotoxicidad acuática, el volumen reducido de desbordamiento de alcantarillado combinado podría evitar 727 millones de CTU eco, mientras que la carga adicional del tratamiento combinado de aguas residuales y la carga evitada	El transporte y reemplazo de materiales fueron los factores más importantes para el agotamiento de ozono a través del marco uWISE y el método de extrapolación. En otras palabras, los impactos de los factores hidrológicos, es decir, las descargas de OSC, las descargas de	El presente estudio integró las consideraciones de H&H (hidrológico-hidráulico) y LCA en la evaluación de la sostenibilidad ambiental de la infraestructura de aguas pluviales. La única categoría de impacto en la que la extrapolación lineal es similar a los resultados de uWISE fue el agotamiento de ozono (95% de los valores

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								del tratamiento de agua potable estaban en equilibrio (≈ 200 millones de CTU eco).	aguas pluviales no tratadas, el tratamiento de agua potable y el tratamiento de aguas residuales, fueron insignificantes para esta categoría de impacto en particular. Esto se debe al alto efecto del consumo de combustibles fósiles sobre el agotamiento de la capa de ozono.	estimados por el marco de uWISE).
(Ghimire & Johnston, 2017a)				Tubería de plástico, tubería de hierro fundido, polietileno y concreto		Tanque de polietileno, tanque de concreto		Los costos del ciclo de vida y el impacto del uso de agua azul en el ciclo de vida de 20 DMO(objetivos de gestión de decisiones) revelaron una Línea de	La importancia de considerar los esquemas de ponderación de umbrales de impacto se demostró mediante la imposición	El marco de EE modificado y la metodología que lo acompaña como una mejor práctica sin un ejemplo específico de política en mente; ambos son generalmente

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								Compromiso con un posible dominio de solución sostenible y punto EE(marco modificado de ecoeficiencia), que incluía un subconjunto de cinco opciones de DMO relativamente más sostenibles correspondientes a impactos de ciclo de vida más bajos pero con costos de ciclo de vida más altos.	de restricciones de umbrales específicas de impacto para calcular las puntuaciones óptimas de sostenibilidad. El método también es aplicable para aumentar la puntuación de sostenibilidad de un DMO menos óptimo.	aplicables a IG (infraestructura verde), sistemas industriales, ambientales y de ingeniería. El marco modificado es más completo que un sistema de calificación ecológico como Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED), porque aborda el triple balance de las personas, el planeta y las ganancias.
(Angrill et al., 2012)	Captación en techos de superficie impermeable, almacenamiento en tanques, finalmente el uso en lavanderías.	1 m3 de agua lluvia para uso no potable	Regiones mediterráneas	Tubería, canales, tanque, bomba, concreto	Materiales para el sitio, desperdicio de detergente	Excavación de terrenos, apertura y cierre de zanjas, refuerzo estructural	Satisfacer la máxima demanda de agua para cada lavandería doméstica, energía de demolición	El modelo con densidad difusa que presentó los mejores resultados ambientales fue el que adoptó el tanque distribuido pues arrojó porcentajes entre 30-50%, excepto en OD (agotamiento de ozono) con un porcentaje de	Se puede atribuir un desempeño ambiental más favorable a los modelos urbanos de densidad compacta en seis de las siete categorías de impacto analizadas.	Los impactos ambientales asociados con los modelos compactos de densidad urbana fueron más bajos que los de los modelos de densidad difusa. Sin embargo, esto no mostró una tendencia lineal y está condicionado al tipo de refuerzo

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								69,7%; de la misma manera sucede para el escenario compacto en el que los porcentajes estuvieron entre el 15-35% con la excepción del OD con 100%	Al enfocar el análisis en la categoría GWP (potencial de calentamiento global), dada su relevancia política actual, el escenario con el tanque distribuido en el techo presentó la proporción relativa más baja de impactos sobre el contribuyente principal (17,2%).	del sistema de construcción y al sistema de bombeo necesarios, así como a los supuestos estructurales e hidráulicos realizados. El subsistema de almacenamiento y la etapa del ciclo de vida de la extracción y el procesamiento de los materiales del tanque y los componentes de refuerzo estructural son factores críticos a considerar en la optimización ambiental de estas infraestructuras. La posibilidad de integrar un tanque distribuido sobre el techo en el diseño de un edificio en lugar de construir un tanque subterráneo en

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
										uno existente generalmente reduce los impactos ambientales hasta 4.7 veces en la densidad urbana compacta y 1.5 la difusa.
(García-Montoya et al., 2016)	El límite del sistema incluye las aguas residuales del inodoro, ducha, lavaplatos, lavandería y jardinería a los tres tratamientos (lodo activado convencional, lodo anaeróbico de flujo ascendente, biorreactor de membrana)	1 m3 de agua	México			Energía, productos químicos, agua	Descarga de inodoro, ducha, lavavajillas, para lavandería y jardinería	El escenario A corresponde a la solución económica óptima en la que el reciclaje y la reutilización de aguas grises y la recolección de agua de lluvia se consideran simultáneamente, este escenario representa el mayor consumo de agua dulce con 338,533 m3 / año, los impactos mínimos son los efectos respiratorios, la acidificación terrestre y el calentamiento global en comparación con	El consumo de agua dulce es un problema grave en Morelia, México por tan motivo se intentan optimizar las redes de agua para lo cual se implementan sistemas de recolección que arrojan resultados positivos en los impactos ambientales tenidos en cuenta	Los resultados muestran que es posible satisfacer las demandas de agua mientras se mejoran los objetivos de consumo de agua dulce, costo total anualizado e impacto ambiental.

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								los otros escenarios.		
(Angrill et al., 2017)	Captación por medio de tanques y distribución para uso del edificio	1 m3 de agua lluvia para uso no potable	Climas Mediterráneos	Comprende la extracción, transporte, producción, procesamiento y almacenamiento de los materiales utilizados en la infraestructura de RWH	Transporte de material local, transporte de desechos,	Los flujos de energía incluyeron la excavación del terreno, y la apertura y cierre de zanjas	Demanda de potencia para escenarios con requisitos de bombeo	La mayor diferencia se encontró en OD (agotamiento de ozono) y HTP (toxicidad humana), donde CR (distribución a todos los apartamentos del edificio) mostró un 66% menos de impactos que AU (lavadero centralizado). Sin embargo, CR tuvo un desempeño negativo en ADP(potencial de agotamiento abiótico) y CED	Los resultados absolutos indicaron que, en general, los escenarios U (tanque subterráneo) presentaron mayores impactos que sus equivalentes de R(tanque de techo) en todas las categorías de impacto. Esto fue especialmente notable en la estrategia de distribución CR porque, para los tanques subterráneos, los impactos aumentaron siguiendo una tendencia	Los resultados indican que un tanque de techo es, en todos los casos examinados, menos perjudicial para el medio ambiente que un tanque subterráneo. Por ejemplo, para un edificio de 15 pisos con distribución de agua cosechada a todos los apartamentos, las reducciones en los impactos debidos a la ubicación del tanque varían de 61 a 89%, según la categoría de impacto. La ubicación de un tanque en el techo aumenta el ahorro de energía y materiales y lo más probable es que contribuya a construir edificios

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
									polinómica relacionada con la cantidad de pisos en el edificio. Para los escenarios R, el sistema de almacenamiento fue el principal contribuyente a los impactos GWP de las infraestructuras de RALL en todas las alturas del edificio debido al refuerzo requerido para soportar el peso del tanque y el agua	con mayor eficiencia energética porque el agua en el tanque puede actuar como un aislante térmico.
(Ghimire et al., 2014)	El sistema RALLD incluía el agua de lluvia recolectada desde el techo de	1 m3 de agua para uso doméstico no potable y para riego agrícola	E.E.U.U	Tuberías, cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilo clorado (CPVC),		RALLD: Tanque de almacenamiento, una bomba, tuberías, canalones, filtros y válvulas.	El sistema de recolección doméstico (RALLD) contribuyó a la descarga del	Para el sistema RALLD, la energía de bombeo y bombeo fue dominante en siete impactos (criterios de salud	El sistema RALLD se desempeñó mejor que el agua potable municipal para la demanda de	En términos de sostenibilidad de la cuenca, los dos diseños mínimos redujeron los impactos ambientales, del 58% al 78% de

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
	una vivienda unifamiliar residencial, almacenamiento de tanques y distribución para uso no potable en el inodoro. El sistema RALLA incluyó el agua de lluvia recolectada de las cuencas de tierras altas de una granja familiar en una cámara de sedimentación, almacenamiento de agua e irrigación de pasturas / heno y cultivos.			hierro fundido, concreto y polietileno (PE).		RALLA: Captación, canal, cámara de sedimentación (estanque de almacenamiento), tanque de retención de agua, bomba, equipo de riego, tuberías, válvulas y filtro	inodoro y el sistema agrícola (RALLA) proporcionó agua para el riego	humana, salud humana, no cancerosos, eutrofización, agotamiento de metales, uso de agua azul y acidificación), pero el tanque de PE, tuberías de PVC y CPVC también influyeron en los impactos Incluyendo ecotoxicidad, calentamiento global, salud humana, demanda de energía y agotamiento de fósiles. El sistema básico de RALLA superó el rendimiento del agua de pozo en todas las categorías de impacto, excepto en los impactos de agotamiento de metales, eutrofización y salud humana.	energía (58%), el agotamiento de fósiles (43%), calentamiento global (52%), agotamiento de metales (13%), agotamiento de ozono (82%), acidificación (90%), uso de agua azul (99.9%), eutrofización (90%), toxicidad humana (88%). El sistema RALLA funcionó mejor que la irrigación de agua de pozo para la demanda de energía (78%), el agotamiento de fósiles (78%), el	uso de energía y del 67% al 88% de contaminantes de criterios de salud humana, así como evitando hasta un 20% de pérdidas de agua azul (agua superficial / subterránea) comparado con agua potable municipal y agua de pozo. Desde la perspectiva del ciclo de vida, el sistema RALLD también proporcionó un ahorro adicional de agua del 20% (1.2 m3 de consumo de agua azul por 1 m3 de suministro de agua potable municipal) debido a ineficiencias (fugas, uso del agua, etc.) en sistemas de agua municipales.

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
									calentamiento global (76%), el agotamiento de metales (20%), el agotamiento del ozono (67%), la acidificación (87%), smog (80%), uso de agua azul (99.9%), ecotoxicidad (72%), eutrofización (77%), toxicidad humana (67%).	
(Wang & Zimmermann, 2015)		1 m3 de agua lluvia cosechada	E.E.U.U			Precipitación diaria de las 14 ciudades desde 1960 hasta 2014 y demanda laboral. Las entradas adicionales del modelo incluyeron el área del techo (458 m2), coeficiente de	Descarga de inodoro y orinal	Es importante tener en cuenta que la implementación del sistema RALL conlleva los costos del consumo de energía adicional y las emisiones de gases de efecto invernadero, causados por la construcción,	Las actividades de mantenimiento y fabricación de materiales hicieron las mayores contribuciones a las emisiones indirectas. Por ejemplo,	Este análisis demostró que los sistemas de RALL pueden promover beneficios o inconvenientes ambientales y económicos en múltiples sectores del agua que varían según la ubicación y el contexto.

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
						escorrentía ($C = 0.9$) y la eficiencia del sistema de filtración ($E_f = 90\%$).		operación y mantenimiento de los sistemas en comparación con el suministro público de agua. El impacto del cambio climático en el ciclo de vida mínimo fue de 0.5 a 4.5 kg de CO ₂ equivalente por m ³ de rendimiento de agua de lluvia (es decir, la unidad funcional) entre las ciudades.	desde Atlanta a Phoenix, estas dos etapas generaron de 2 a 20 veces más emisiones de CO ₂ equivalente a la etapa de operación, respectivamente	
(Zhou et al., 2014)			E.E.U.U	Tejas de asfalto, canales de aluminio, filtros, tubería		Filtros finos de descarga, tanque, bombas, canaletas		De las 14 ciudades tenidas en cuenta Atlanta arrojó el mejor resultado en cuanto a la eutrofización de agua dulce y marina. En cuanto al cambio climático New York fue la ciudad con menos impacto reportando 0,5 Kg Coeq/m ³ /año	En comparación con la demanda diaria, las evaluaciones económicas y ambientales fueron más sensibles a los parámetros del lado de la oferta, destacando la naturaleza específica	En el análisis se muestra que, cuando se prioriza el desempeño económico sobre los potenciales de la cantidad de agua o los beneficios de calidad, es probable que se priorice el uso de pequeñas cisternas de lluvia o no RALL, especialmente en ciudades donde

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
									del sitio de los rendimientos económicos y ambientales de los sistemas RALL. Esos parámetros del lado de la oferta limitan directamente los servicios de agua potable, aguas residuales y aguas pluviales que RALL puede proporcionar y, por lo tanto, afectan los impactos del cambio climático y la eutrofización generados y evitados a través de los servicios.	las tarifas de los servicios públicos son bajas. Sin embargo, cuando el manejo de las aguas pluviales es la principal preocupación, la implementación de sistemas de RALL relativamente grandes se convertirá en una opción más favorable.

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
(Morales-Pinzón et al., 2015)	La recolección de agua de lluvia incluye el almacenamiento, procesamiento y uso doméstico	1 m3 de agua lluvia para uso no potable	España	Acero, concreto, fibra de vidrio, polipropileno, cloruro de polivinilo, resina de poliéster		Tanque, filtro, canaletas	Usos domésticos en limpieza, descarga de inodoros y jardín	El indicador de GWP (potencial de calentamiento global) en la escala de una casa y en un escenario optimista (el menor impacto ambiental) muestra que un volumen de almacenamiento por encima de 5 m3 no es deseable porque superaría los posibles impactos ambientales generados por el sistema de agua de la red. En un escenario promedio, el volumen del tanque no debe exceder los 2 m3, y para un escenario pesimista, debe ser inferior a 1 m3. Para la escala de construcción de apartamentos, está claro que hay un alto consumo de energía, que	Según los resultados obtenidos utilizando Plugrisost, los sistemas RALL con mayor consumo de energía serían mejores en términos ambientales en comparación con los sistemas centralizados. En la mayoría de los casos que se han estudiado recientemente, los impactos ambientales potenciales de los sistemas de RALL son menores que los producidos por el agua	El programa de software Plugrisost contribuye a una evaluación más completa de los sistemas de RALL, proporcionando información sobre aspectos técnicos, económicos y ambientales. El análisis económico y ambiental puede ayudar a evitar el sobredimensionamiento de los tanques para el agua de lluvia y así obtener beneficios, donde el costo estimado y el GWP son dos buenos indicadores incluidos en Plugrisost para este propósito.

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								está por encima del promedio de una red combinada de producción de energía y distribución de agua	del grifo. Sin embargo, el tamaño y la selección de la infraestructura adecuada y la escala del diseño urbano pueden convertirse en factores determinante s. Además, dependiendo de las opciones y estrategias seleccionada s para implementar un sistema dado, es probable que encontremos resultados favorables, desfavorable s y contradictori os.	
(Li et al., 2018)	El sistema incluye construcción,	10000 m3 de área de construcción	China	Techos verdes: plantas, matriz del suelo, capa	Transporte de materiales			El impacto en la salud humana se relacionó con los materiales de	El fósil de ADP (potencial de agotamiento	El fósil de ADP contribuyó con más del 90% de los impactos

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
	operación y mantenimiento y fase final de eliminación			de filtro, capa de drenaje y descarga. Pavimentos porosos: superficie porosa, capa niveladora porosa del suelo, capa base porosa, capa porosa de subbase y drenaje. Tierras verdes: capa de estacionamiento, arena y tuberías.	para la construcción			concreto utilizados en la construcción, lo que tuvo un impacto directo en el agotamiento de los recursos. El agotamiento de los recursos también contribuyó significativamente al daño del ecosistema, mientras que el alto agotamiento de fósiles de PDA (potencial de agotamiento abiótico) estuvo dominado por el transporte de materiales. Los impactos más bajos de todas las categorías se observaron para las tierras verdes, con contribuciones totales de menos de la mitad en comparación con los techos verdes y aún menos para los pavimentos	abiótico) contribuyó con más del 90% de los impactos ambientales y humanos totales, lo que podría explicarse por el consumo de poliéster no tejido para techos verdes y asfalto para pavimentos porosos. Por lo tanto, PDA fósil fue elegido como el factor de impacto representativo en el modelo de optimización como un indicador ambiental notable para los sistemas RALL.	ambientales y humanos totales, lo que podría explicarse por el consumo de poliéster no tejido para techos verdes y asfalto para pavimentos porosos. Por lo tanto, ADP fue elegido como el factor de impacto representativo en el modelo de optimización como un indicador ambiental notable para los sistemas RALL.

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								porosos. El consumo de material de las tierras verdes se centró en la escoria y la grava con bajo impacto ambiental.		
(Gabarrell et al., 2014)	El sistema incluye almacenamiento, procesamiento y distribución de las precipitaciones	1 m3 de agua lluvia para uso no potable	Portugal			Entradas: Serie anual de precipitaciones , uso de agua en la cocina, uso del agua del baño, Uso del agua del inodoro, uso del agua de la lavandería, Riego, demanda de recolección de agua de lluvia, área de captación, Sistema de recolección de agua de lluvia, potencial de calentamiento global, uso de agua del grifo, escorrentía y coeficientes de filtro, costo del agua de la	Lavadora doméstica y descarga de inodoros	El potencial de calentamiento global disminuye a medida que el tamaño del tanque se aumenta esto teniendo en cuenta un periodo de análisis de 10 años.	Las reducciones logradas en el impacto de GWP dependiendo de la capacidad del tanque del sistema durante el período de análisis de 10 años, considerando que incluso cuando el tanque de 4 m3 tiene un impacto pesimista de 1.5 kg CO2 eq / m3, su desempeño real en el lapso de diez años logra una	El software Plugrisost ayuda a evitar el sobredimensionamiento de los tanques de almacenamiento considerando la demanda de agua también. Este último factor fue el crítico en Aveiro, donde un tanque de almacenamiento de 3 m3 fue suficiente. Para este tipo de tanque y las condiciones locales de Aveiro del precio del agua del grifo (análisis económico), la mejor solución es un tanque pequeño,

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
						llave Salidas: Nivel de tanque de agua de lluvia en el momento, escurrimiento útil, desbordamiento de agua de lluvia, volumen de agua de lluvia, suministro de agua del grifo.			reducción total de 44 kg de CO ₂ eq, mientras que los tanques de 5 m ³ y superiores tienen un impacto mayor en el medio ambiente que el suministro tradicional de agua del grifo.	mientras que los factores ambientales (GWP) permitirían un mayor volumen, pero no mucho más.
(Morales-Pinzón et al., 2012)	Procesos de tratamiento estándar del agua de origen superficial, que para algunos sistemas se compararon con los utilizados para tratar el agua desalinizada utilizando escenarios promedio	1 m ³ de agua lluvia para uso no potable	España	Fibra de vidrio de poliéster, concreto, acero,		Relación demanda-suministro de agua, dureza del agua, precipitación	Suministro de agua para lavadora doméstica	En promedio, los impactos ambientales potenciales para cada unidad funcional indican que ESH (ocho casas individuales) produce menos GWP (potencial de calentamiento global) que otros sistemas (0,36 kg CO ₂ eq m ⁻³), y el mayor es producido por TSH (dos casas individuales)	En los sistemas ESH, los tanques de poliéster y fibra de vidrio se comparan con los tanques de hormigón, el último de los cuales tiene un mayor impacto ambiental. En los sistemas AB, un tanque de	Se ha considerado que el uso de sistemas de agua de lluvia en edificios multifamiliares es la modalidad menos eficiente en términos de ahorro y costos de agua. Sin embargo, nuestros resultados muestran que la escala óptima para los sistemas de RWH parece ser el vecindario

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
	de Consumo de insumos químicos y la energía necesaria para su tratamiento							(0,95 kg CO ₂ eq m ⁻³). Los subsistemas 5p-TSH (5 m ³ de volumen de almacenamiento) y 50p-GH (50 m ³ de volumen de almacenamiento) son aquellos con mayor y menor impacto potencial ambiental, cada uno con un promedio de 0.27 y 1.38 kg CO ₂ eq m ³ , respectivamente. El uso potencial de energía está entre 0.16 y 4.0 kWh m ³ para el suministro de agua de lluvia. El potencial de consumo de energía por hogar es en promedio más alto en los sistemas EA (edificios de apartamentos) y GAB (grupo de edificios de apartamentos) que en otros sistemas.	8 m ³ de poliéster y fibra de vidrio tiene un impacto menor que un tanque de acero con un volumen de 10 m ³ . En estos sistemas, el concreto tiene un mayor impacto ambiental que los otros materiales. Para los sistemas de GH, el poliéster y el acero se comparan, lo que demuestra que, en promedio, los tanques de acero causan un mayor impacto. Un mayor suministro	en desarrollos a gran escala y de alta densidad. Los sistemas con mayor consumo de energía muestran un mejor desempeño con respecto a los indicadores financieros y el impacto ambiental potencial, medido por GWP. Por lo tanto, la mejor estrategia se encuentra en los sistemas a escala de barrio.

Artículos	Definición de objetivos y alcance			Análisis de Inventario				Evaluación de impacto		Interpretación
	Límites del sistema	Unidad funcional	Lugar de aplicación	Adquisición de materiales	Transporte	Construcción	Uso y deconstrucción	Magnitud del impacto ambiental	Importancia del impacto Ambiental	
								El subsistema 6pf-ESH tiene el consumo de energía promedio más bajo, mientras que 10c-AB y 10s-AB tienen el consumo de energía promedio más alto, con 1.5 y 2.2 kWh / vivienda / año, respectivamente.	de agua de lluvia produce un mayor consumo de energía y un menor GWP por unidad funcional	

Apéndice C. Indicadores para la evaluación del impacto ambiental

Tabla A3. Indicadores de evaluación de impacto ambiental

Artículo	(Vialle et al., 2015)	(Gao et al., 2017)	(Petit-Boix et al., 2018)	(Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018)	(JIANG et al., 2013)	(Devkota et al., 2013)	(Marinoski & Ghisi, 2019)	(Valdez et al., 2016)	(Toboso-Chavero et al., 2018)	(Devkota et al., 2015)	(Jeong et al., 2016)	(Ghimire et al., 2017)	(Ghimire & Johnston, 2017b)	(Shah et al., 2013)	(Vargas-Parra et al., 2018)	(Zanni et al., 2019)	(Lamnatou et al., 2016)	(Sojka et al., 2016)	(Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018)	(Ghimire & Johnston, 2017a)	(Angrill et al., 2012)	(García-Montoya et al., 2016)	(Angrill et al., 2017)	(Ghimire et al., 2014)	(Wang & Zimmerman, 2015)	(Zhou et al., 2014)	(Morales-Pinzón et al., 2015)	(Li et al., 2018)	(Gabarrell et al., 2014)	(Morales-Pinzón et al., 2012)	
Consumo de agua dulce											X											X				X					
Consumo de energía	X	X			X	X	X	X	X		X	X	X								X							X			X
Oxidación fotoquímica															X	X					X	X	X						X		
Potencial de calentamiento global	X	X		X			X	X		X	X	X	X							X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
Potencial de eutrofización				X						X	X		X							X	X	X		X					X		
Potencial de acidificación																					X		X					X			

Artículo	(Viale et al., 2015)	(Gao et al., 2017)	(Petit-Boix et al., 2018)	(Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018)	(JIANG et al., 2013)	(Devkota et al., 2013)	(Marinoski & Ghisi, 2019)	(Valdez et al., 2016)	(Toboso-Chavero et al., 2018)	(Devkota et al., 2015)	(Jeong et al., 2016)	(Ghimire et al., 2017)	(Ghimire & Johnston, 2017b)	(Shah et al., 2013)	(Vargas-Parra et al., 2018)	(Zanni et al., 2019)	(Lamnatou et al., 2016)	(Sojka et al., 2016)	(Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018)	(Ghimire & Johnston, 2017a)	(Angrill et al., 2012)	(García-Montoya et al., 2016)	(Angrill et al., 2017)	(Ghimire et al., 2014)	(Wang & Zimmerman, 2015)	(Zhou et al., 2014)	(Morales-Pinzón et al., 2015)	(Li et al., 2018)	(Gabarrell et al., 2014)	(Morales-Pinzón et al., 2012)
Cambio climático	X		X				X		X						X	X				X		X			X					
Toxicidad Humana	X		X							X	X		X			X	X				X	X	X	X				X		
Eutrofización Marina	X		X				X									X									X	X				
Agotamiento de fósiles			X				X			X	X		X											X	X					
Gases efecto invernadero		X				X				X	X	X		X			X									X				
Consumo de electricidad	X																													
Calidad del ecosistema	X																					X								
Radiación ionizante	X		X				X									X														
Agotamiento de la capa de ozono	X		X	X			X		X	X	X		X		X	X			X		X		X	X				X		
Ecotoxicidad acuática	X		X	X			X		X				X						X	X				X				X		
Acidificación acuática	X									X	X		X							X		X		X						
Extracción mineral	X															X														
Ecotoxicidad de agua dulce			X				X									X												X		
Eutrofización de agua dulce			X				X		X						X	X						X			X					

Artículo	(Vialle et al., 2015)	(Gao et al., 2017)	(Petit-Boix et al., 2018)	(Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018)	(JIANG et al., 2013)	(Devkota et al., 2013)	(Marinoski & Ghisi, 2019)	(Valdez et al., 2016)	(Toboso-Chavero et al., 2018)	(Devkota et al., 2015)	(Jeong et al., 2016)	(Ghimire et al., 2017)	(Ghimire & Johnston, 2017b)	(Shah et al., 2013)	(Vargas-Parra et al., 2018)	(Zanni et al., 2019)	(Lamnatou et al., 2016)	(Sojka et al., 2016)	(Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018)	(Ghimire & Johnston, 2017a)	(Angrill et al., 2012)	(García-Montoya et al., 2016)	(Angrill et al., 2017)	(Ghimire et al., 2014)	(Wang & Zimmerman, 2015)	(Zhou et al., 2014)	(Morales-Pinzón et al., 2015)	(Li et al., 2018)	(Gabarrell et al., 2014)	(Morales-Pinzón et al., 2012)
Agotamiento de metales			X			X				X		X												X						
Transformación de la tierra natural			X			X										X														
Formación de materia particulada			X												X	X														
Formación de oxidantes fotoquímicos			X																											
Acidificación terrestre			X			X		X							X	X						X								
Ecotoxicidad terrestre			X			X		X								X												X		
Agotamiento de agua			X													X				X										
Demanda de energía primaria			X																				X	X						
Efectos cancerígenos										X			X				X													
Efectos no cancerígenos										X			X				X													
Uso de agua Azul													X											X						
Uso de Agua Verde													X											X						

Artículo	(Vialle et al., 2015)	(Gao et al., 2017)	(Petit-Boix et al., 2018)	(Tavakol-Davani, Burian, Butler, et al., 2018)	(JIANG et al., 2013)	(Devkota et al., 2013)	(Marinoski & Ghisi, 2019)	(Valdez et al., 2016)	(Toboso-Chavero et al., 2018)	(Devkota et al., 2015)	(Jeong et al., 2016)	(Ghimire et al., 2017)	(Ghimire & Johnston, 2017b)	(Shah et al., 2013)	(Vargas-Parra et al., 2018)	(Zanni et al., 2019)	(Lamnatou et al., 2016)	(Sojka et al., 2016)	(Tavakol-Davani, Burian, & Apul, 2018)	(Ghimire & Johnston, 2017a)	(Angrill et al., 2012)	(García-Montoya et al., 2016)	(Angrill et al., 2017)	(Ghimire et al., 2014)	(Wang & Zimmerman, 2015)	(Zhou et al., 2014)	(Morales-Pinzón et al., 2015)	(Li et al., 2018)	(Gabarrell et al., 2014)	(Morales-Pinzón et al., 2012)
Ocupación de la tierra agrícola																X														
Ocupación de la tierra urbana																X														
Potencial de agotamiento abiótico																					X		X						X	
Agotamiento de recursos																						X								