

COMUNICACIÓN CORTA

**ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO DE  
ENERGÍA TÉRMICA DENTRO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

**ANALYSIS OF THERMAL ENERGY STORAGE WITHIN CIRCULAR ECONOMY**

*Luisa F. Cabeza<sup>1\*</sup>, A. Inés Fernández<sup>2</sup>, Dieter Boer<sup>3</sup>, Carles Mateu<sup>1</sup>,  
Mercè Segarra<sup>2</sup> y Manel Vallès<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Grupo GREIA, Centro de Investigación INSPIRES, Universitat de Lleida, Pere de Cabrera s/n, 25001-Lleida, España.

<sup>2</sup> Centro DIOPMA, Departamento de Ciencia de Materiales y Química Física, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès, 1, 08028-Barcelona, España.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universitat Rovira i Virgili, Av. Paisos Catalans, 26, 43007-Tarragona, España.

Recibido: Septiembre 4, 2019; Revisado: Octubre 2, 2019; Aceptado: Noviembre 13, 2019

**RESUMEN**

Este trabajo presenta una nueva metodología desarrollada para evaluar y mejorar la sostenibilidad de sistemas energéticos que integren almacenamiento de energía térmica (TES, del inglés *Thermal Energy Storage*) dentro del ámbito de la economía circular. Esta metodología está desarrollada conjuntamente por tres grupos de investigación de tres universidades españolas que tienen el objetivo de aplicarla a diferentes casos en los que se aplica el TES en diferentes aplicaciones industriales o de la edificación. Esta metodología pretende evitar el mayor inconveniente de otras metodologías más conocidas como el análisis de ciclo de vida (LCA, del inglés *Life Cycle Assessment*), que es la falta de los datos necesarios en la etapa de diseño de los procesos o productos. Del mismo modo, se busca el equilibrio en los objetivos de fiabilidad, calidad y costo.

**Palabras clave:** almacenamiento de energía térmica; economía circular; metodología.

**ABSTRACT**

This study presents a new methodology developed to evaluate and improve the sustainability of energy systems that include thermal energy storage (TES) in the concept of circular economy. This methodology is developed together by three research



Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Luisa F. Cabeza, Email: [lcabeza@diei.udl.cat](mailto:lcabeza@diei.udl.cat)



groups from three Spanish universities that have the objective of applying it to different cases where to include TES in different industrial and building applications. This methodology aims at avoiding the biggest drawback of other known methodologies, such as the life cycle analysis (LCA), the lack of data needed in the design step of processes or products. Similarly, the equilibrium between reliability, quality, and cost is expected.

**Keywords:** thermal energy storage; circular economy; methodology.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Agencia Internacional de la Energía establece que las tecnologías de almacenamiento de energía son un componente esencial en los sistemas energéticos eficientes (International Energy Agency, 2014). Entre las tecnologías de almacenamiento de energía, el almacenamiento de energía térmica (TES, del inglés Thermal Energy Storage) se ha estudiado mucho en los últimos años (Calderón y col., 2018), pero básicamente desde el punto de vista técnico.

En el caso de TES, el diseño medioambiental de esta tecnología supone considerar un diseño que reduzca el impacto ambiental y en la salud durante todo su ciclo de vida. Así pues, el objetivo de este trabajo es establecer una sistemática que permita evaluar y mejorar la sostenibilidad de las tecnologías usadas en TES para acercarlas más a la economía circular.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Análisis de ciclo de vida

La metodología aplicada en este primer acercamiento hacia la economía circular incluye el análisis de ciclo de vida (LCA, del inglés Life Cycle Analysis) que considera diferentes opciones para el reciclado, incluyendo el reciclado de los materiales usados como materias primas.

El LCA cuantifica el impacto medioambiental potencial de bienes y procesos durante su ciclo de vida (ISO, 2006). Un LCA incluye cuatro fases:

- 1) Definición del objetivo y alcance: se realiza la definición del sistema a estudiar, la unidad funcional y el alcance del estudio.
- 2) Inventario de ciclo de vida: se cuantifica todas las entradas y salidas de masa y energía del sistema, con la ecuación:

$$LCI_i^{TOT} = \sum_j LCI_{i,j} \forall i \quad (1)$$

- 3) Evaluación del impacto: convierte los datos del inventario en indicadores de impacto. Existen diversos métodos, en este trabajo se sigue el método ReCiPe (Goedkoop y col., 2009). Los impactos se calculan con:

$$IMP_e = \sum_i \theta_e LCI_i^{TOT} \forall e \quad (2)$$

A continuación, se agregan los resultados en categorías de daño: salud humana, ecosistema y recursos:

$$DAM_d = \sum_{e \in D_d} IMP_e \forall d \quad (3)$$

Y finalmente se normalizan y agregan los daños en un solo valor usando factores de normalización:

$$RCP = \sum_d \delta_d \xi_d DAM_d \quad (4)$$

4) Interpretación: se establecen recomendaciones de mejora.

## **2.2. Ejemplo**

En este trabajo la metodología se aplica al almacenamiento de energía térmica en edificios. Para ello, se usa la instalación experimental disponible en Puigverd de Lleida (España) donde existen diferentes cubículos que incluyen diferentes sistemas de construcción (de Gracia y col., 2010) (Figura 1). Se estudian cuatro cubículos, uno sin aislamiento, otro con aislamiento y dos más conteniendo materiales de cambio de fase (PCM, del inglés Phase Change Material) como tecnología TES. Los PCM usados son uno orgánico (parafina, PCM1) y otro inorgánico (sal hidratada, PCM2).



**Figura 1.** Instalación experimental.

La Figura 2 muestra el flujo de materiales considerado durante el proceso. Se inicia con la construcción de los cubículos con materias primas de fuentes primarias o materiales reciclados. Para aumentar la contribución a la economía circular, el uso de materiales reciclados debe ser lo mayor posible (R). Al final de la vida de los cubículos, parte de los materiales pueden reciclarse (r) o ir a vertedero (1-r). De nuevo, el valor de r debe ser lo mayor posible.

En este trabajo se consideran tres escenarios:

- Escenario 1: Todos los materiales usados son materias primas no recicladas (R=0) y todos los obtenidos al final de la vida se llevan a vertedero (r=0), economía lineal.
- Escenario 2: Todos los materiales usados son materias primas no recicladas (R=0) y los obtenidos al final de la vida se reciclan parcialmente (r) y el resto se lleva a vertedero (1-r).
- Escenario 3: Parte de los materiales usados al inicio son reciclados (R) y el resto son materias primas de fuentes primarias (1-R), y los obtenidos al final de la vida se reciclan parcialmente (r) y el resto se lleva a vertedero (1-r).

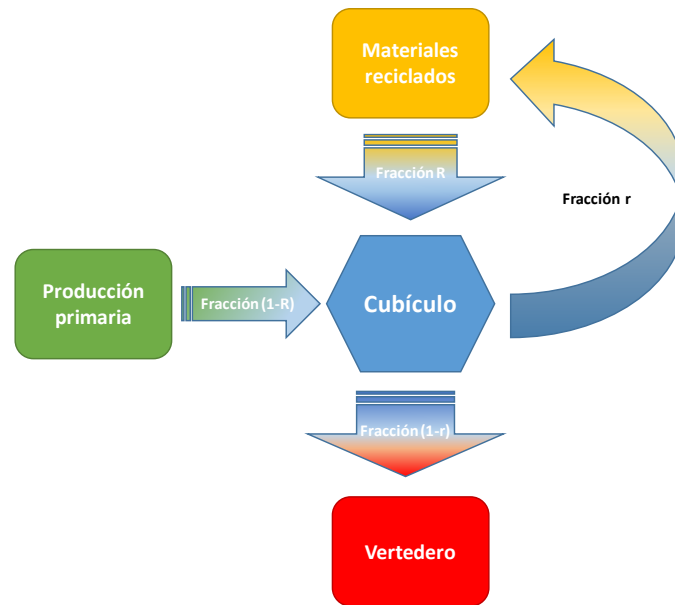


Figura 2. Flujo de los materiales considerado en el estudio.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

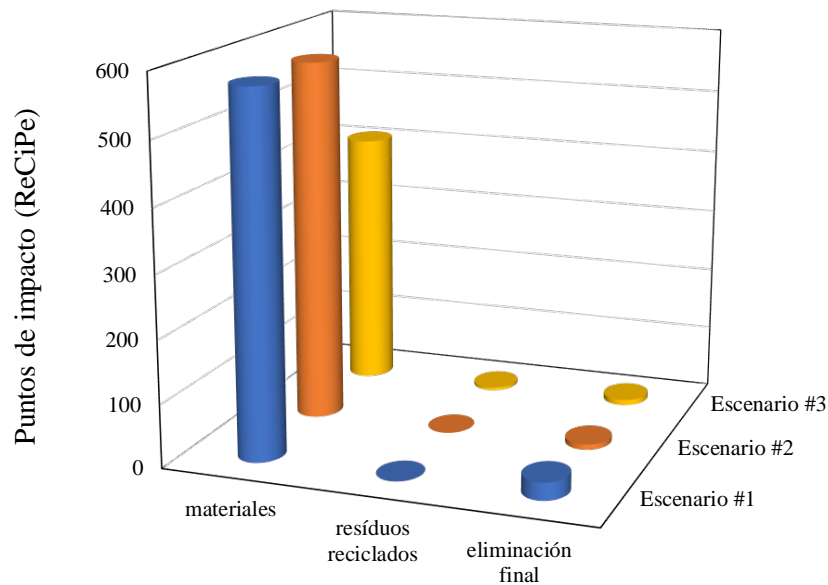
Se realiza el inventario de materiales y se calcula el impacto usando la base de datos Ecoinvent (versión 3.5) (ver Tabla 1).

Tabla 1. Inventario e impacto

Material	Inventario (kg)	Impacto por kg	
		Materias primas	Materiales reciclados
Ladrillo	5456	0,0328	0,0023
Yeso	518	0,0226	0,0022
Mortero	608	0,0267	0,2230
Hormigón estructural	1240	0,0083	0,0024
Estructura metálica	262	0,5147	0,0081
Hormigón suelo	1770	0,0105	0,0023
Asfalto	153	0,0608	0,0024
Espuma de poliuretano	72	0,6908	0,0452
Aluminio	61	1,9572	0,0055
Parafina (PCM1)	99	0,2498	---
Sal hidratada (PCM2)	99	0,0580	---

Los resultados muestran que el impacto mayor procede de las materias primas aluminio, poliuretano, acero y parafina. También se corrobora que el uso de sal hidratada como PCM tiene menor impacto que el uso de parafina, debido al origen de la misma y a su proceso de obtención. Se puede observar que el impacto se reduce drásticamente cuando se usa el material de procedencia reciclado (no se dispone de datos para los PCM).

Cuando se comparan los resultados de los escenarios evaluados (Figura 3) se puede ver que se puede reducir hasta un 30% el impacto global del cubículo cuando se pasa del escenario 1 al escenario 3.



**Figura 3.** Comparación del impacto de los diferentes escenarios.

Los resultados también muestran que en todos los escenarios los mismos materiales tienen mayor impacto, siendo siempre el ladrillo, el acero, el aluminio y el poliuretano los materiales con mayor impacto. Cabe destacar que los PCM no son los materiales con mayor impacto, pero de nuevo, comparándolos entre ellos, la parafina tiene mayor impacto que las sales hidratadas.

#### 4. CONCLUSIONES

A pesar que se ha trabajado mucho el tema de la sostenibilidad de productos y tecnologías, el concepto de economía circular es muy reciente y, por tanto, su aplicación todavía está en sus inicios. Por esto hay una falta de metodologías para su implementación.

En este trabajo se presenta un ejemplo que demuestra la relevancia de los materiales usados en el sector de la edificación. Además, se demuestra que el uso de materiales reciclados y el reciclado de los materiales al final de la vida del edificio contribuye en gran medida en la reducción del impacto ambiental de un edificio. Este hecho debe considerarse desde el inicio del diseño del edificio, basándose en conceptos de la economía circular, ya que ésta afecta a todas las fases de la vida del producto, en este caso el edificio.

#### REFERENCIAS

- Calderón, A., Hernández-Valle, K., Barreneche, C., Galindo, E., Segarra, M., Fernández, A.I., Where is Thermal Energy Storage (TES) research going? – A bibliometric analysis, en: Proc. 14th Int. Conf. Energy Storage – EnerSTOCK2018, Adana, Turkey, 2018, pp. 891–898.
- de Gracia, A., Rincón, L., Castell, A., Jiménez, M., Boer, D., Medrano, M., Cabeza, L.F., Life Cycle Assessment of the inclusion of phase change materials (PCM) in experimental buildings., Energy Build, Vol. 42, 2010, pp. 1517–1523.

- Goedkoop, M., Heijungs, R., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R., ReCiPe 2008. A LCIA method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Characterisation., *A Life Cycle Impact ...* 2009, pp. 1-133. doi:<http://www.lcia-recipe.net>.
- International Energy Agency., *Technology roadmap: Energy storage.*, 2014, pp. 3-4.
- ISO., *The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044.*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006.