

# INTEGRACIÓN ACV+C2C PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS SOSTENIBLES

**Alcalá-González, N.; Peralta-Alvarez, M.E. \*; Soltero-Sánchez, V.M.**

*TEP022: Diseño Industrial e Ingeniería del Proyecto y la Innovación.  
Departamento de Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad  
de Sevilla.*

\*E-mail: mperalta1@us.es

## RESUMEN

El diseño de productos sostenibles es una realidad. Las empresas orientan sus estrategias de producción teniendo en cuenta el cuidado de la sociedad y el medioambiente. Para conseguirlo, en la fase de diseño se emplean metodologías específicas para el control de impactos en el ciclo de vida del producto. Uno de los inconvenientes principales de algunas técnicas empleadas es su carácter cualitativo asociado a un proceso de toma de decisiones en ocasiones arbitrario o con datos no verificables; lo que hace que actualmente sea necesaria la utilización de varias herramientas complementarias para alcanzar los resultados esperados. Entre las más empleadas se encuentran Análisis de Ciclo de Vida y las técnicas Cradle to Cradle; con orientaciones y procedimientos diferentes, los resultados obtenidos deben ser posteriormente integrados para alcanzar soluciones de diseño viables técnica y económicamente. La unificación en un único procedimiento permitirá reducir la complejidad del proceso de diseño. En este contexto, esta investigación desarrolla un marco de trabajo para el diseño sostenible de productos industriales que integra ACV (en su aplicación ambiental, económica y social) y las técnicas C2C; permite simplificar las fases de diseño, facilita la interpretación de los resultados y aporta un carácter cuantitativo al marco C2C.

## PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad, Ecodiseño, Análisis de impacto ambiental y social, Análisis de Ciclo de Vida, C2C.

## ABSTRACT

The design of sustainable products is a reality. Companies guide their production strategies considering the care of society and the environment. To achieve this, in the design phase, specific methodologies are used to control impacts in the product life cycle. One of the main drawbacks of some techniques used is their qualitative nature associated with a decision-making process; this is sometimes arbitrary or with unverifiable data. For this, it is necessary to use several complementary tools to achieve the expected results. Among the most used are Life Cycle Analysis and Cradle to Cradle techniques; with different orientations and procedures, the results obtained must be subsequently integrated to achieve technically and economically viable design solutions. The unification in a single procedure will reduce the complexity of the design process. This research develops a framework for the sustainable design of industrial products that integrates LCA (in its environmental, economic and social application) and C2C techniques; It simplifies the design phases, facilitates the interpretation of the results and adds a quantitative character to the C2C framework.

## KEYWORDS

Sustainability, Ecodesign, Environmental and social impact assessment, Life Cycle Assessment, C2C.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Las estrategias empresariales de cualquier sector de actividad reflejan el interés actual de gestionar la cartera de productos desde el punto de vista del desarrollo sostenible. Las fases de diseño temprano son críticas para poder abordar el ciclo de vida del producto de forma óptima. Una solución sostenible global exige variedad de requerimientos. Primeramente, criterios ambientales que respeten los ciclos naturales de la biosfera y permitan llevar un control exhaustivo del impacto ambiental. En segundo lugar, es necesario tener en cuenta la repercusión social y económica del producto considerando su impacto sobre la salud, el bienestar, la calidad de vida e incluso sobre la cultura y otros ámbitos antropológicos. Por último, se pueden considerar criterios con un alcance mayor que permitan revertir el daño causado a través de la regeneración de contextos y ecosistemas deteriorados durante el último siglo a causa de la actividad industrial. Esta variedad de requerimientos ha determinado un cambio de modelo en la gestión de los proyectos de diseño industrial, así como en las metodologías y herramientas disponibles; para cada una de las etapas del ciclo de vida del producto, existen guías, modelos de análisis, directrices de diseño y soluciones enfocadas a la mejora del desempeño económico, ambiental y social (3E); si son analizados sus alcances, pueden clasificarse dentro de dos enfoques principales que coexisten en la actualidad [1, 2]: estrategias de eco-eficiencia y estrategias de eco-efectividad. Las soluciones ecoeficientes [3] permiten minimizar el impacto ambiental negativo a través de la mejora de la eficiencia de resultados (enfoque top-down). En general, se establecen dos fases: (1) reducción de impactos midpoint (efectos negativos sobre los mecanismos ambientales intermedios, como global warming, acidification o la eco-toxicity); y (2) reducción de los endpoints (daños sobre los elementos de la ecoesfera: ser humano, ecosistema y recursos). Este modelo es el más utilizado en la actualidad. Por otro lado, las soluciones eco-efectivas se plantean desde objetivos de eliminación del daño, cierre de ciclos y desmaterialización [3–6]. La eco-efectividad es un enfoque proactivo que propone la identificación de los procesos causantes de impactos negativos, para sustituirlos por nuevas soluciones; es decir, identifica las causas del problema (enfoque bottom-up) para erradicarlo de forma completa. Utiliza estrategias apoyadas en la eco-innovación. Las herramientas con este enfoque son más reducidas. En general, son guías de diseño conceptual y propuestas de estrategias; si alguna herramienta de evaluación es incluida, normalmente son cualitativas o semicuantitativas. Entre los marcos de trabajo destacados se encuentran Industrial Ecology [6], Cradle to Cradle (C2C) [4], Cleaner Production [7] o Biomimicry [8]. Aunque un planteamiento eco-efectivo debe ser prioritario, actualmente la materialización y explotación de estas soluciones

implica dificultades desde el punto de vista de la viabilidad técnica y económica. En muchas ocasiones, no es posible la sustitución de la solución convencional por una eco-efectiva. En otras ocasiones, la solución eco-efectiva es desconocida o simplemente es una idea conceptual o viable a largo plazo [9]. Por último, el carácter cualitativo de los métodos y herramientas eco-efectivas hace que el proceso de toma de decisiones sea arbitrario o se realice con datos no verificables [10]. Esta situación ha derivado en un esfuerzo por la integración de los dos enfoques para alcanzar soluciones de diseño equilibradas; algunos ejemplos: para manufacturing process [11], e-commerce: [9] or buildings and construction [12–15]. Pero hasta la actualidad, no se ha conseguido un método integrado para diseño de productos; por lo general, en los procesos de diseño se utilizan “cajas de herramientas” o combinación de varias técnicas complementarias para reducir el error de los resultados obtenidos. La unificación en un procedimiento permitirá reducir la complejidad del proceso de diseño.

En este contexto, esta investigación desarrolla un marco de trabajo para el diseño de productos industriales con un alcance de sostenibilidad global desde el punto de vista de la ecoeficiencia y eco-efectividad; se propone una metodología que integra LCA y las técnicas C2C. Permite simplificar las fases de diseño, facilita la interpretación de los resultados y aporta un carácter cuantitativo a C2C.

## **METODOLOGÍA**

Entre las dos metodologías más empleadas para el diseño y análisis de impacto se encuentran: Análisis de Ciclo de Vida (ACV) – en sus alcances ambiental, social y económico- y las técnicas Cradle to Cradle (C2C). Con orientaciones y procedimientos diferentes, los resultados obtenidos deben ser posteriormente integrados para alcanzar soluciones de diseño viables técnica y económicamente. La unificación en un único procedimiento permitirá reducir la complejidad del proceso de diseño. La Figura 1 recoge una síntesis de las mismas.

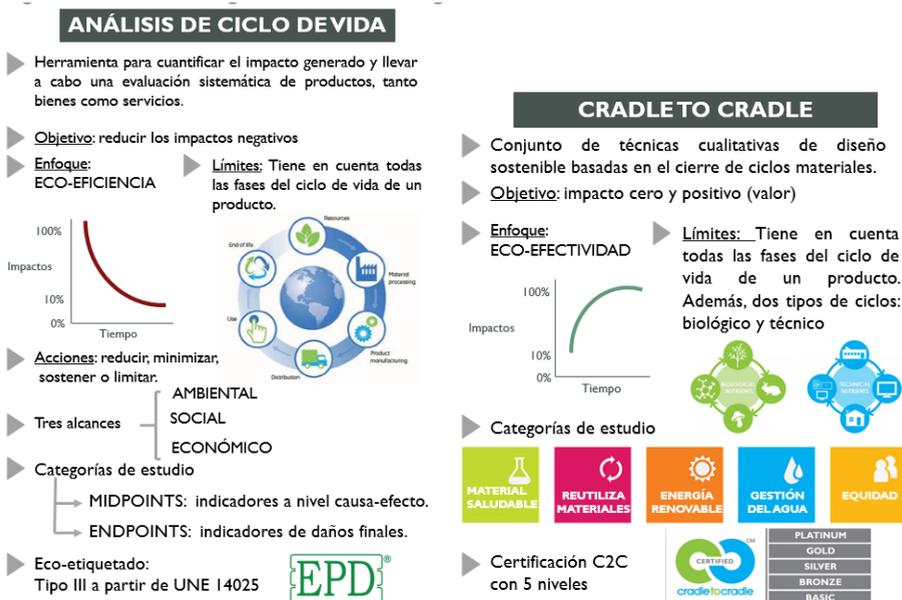


Figura 1. Análisis y comparación de metodologías integradas.

Para llevar a cabo la integración, se plantearon las siguientes etapas:

1. Análisis y comparación de los métodos LCA y C2C.
2. Desarrollo del nuevo proceso de evaluación integrado orientado al daño.
3. Diseño del flujo de información y del sistema de clasificación de datos para la evaluación, mostrado en la Figura 2.

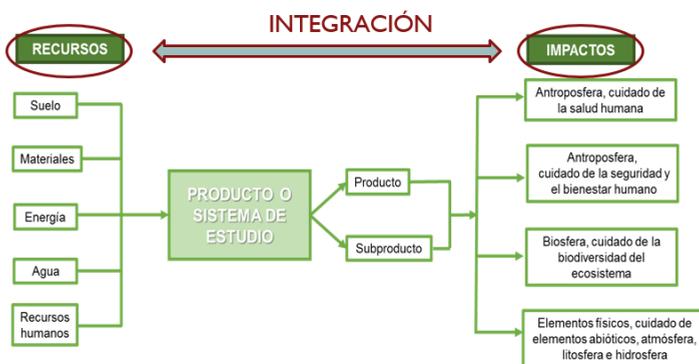
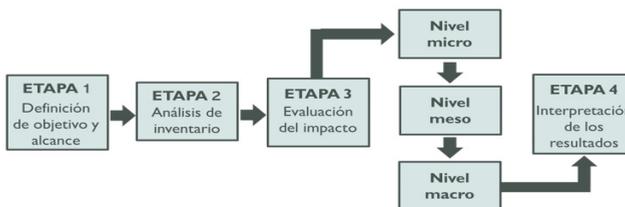


Figura 2. Flujo de información y datos de la integración ACV+C2C.

4. Definición del procedimiento a seguir para aplicar la metodología de diseño y evaluación integrado LCA+C2C, definido en la Figura 3 [2].



**Figura 3.** Etapas de aplicación de análisis integrado ACV+C2C.

## RESULTADOS

Este apartado sintetiza los resultados de la metodología integrada ACV+C2C.

### Nuevas categorías de análisis de impacto ACV+C2C

Se crean cuatro categorías de evaluación que agrupan indicadores de tipo midpoint:

1. Antroposfera, cuidado de la salud humana (A-SH)
2. Antroposfera, cuidado de la seguridad y el bienestar humano (A-SBH)
3. Biosfera, cuidado de la biodiversidad del ecosistema (B-BE)
4. Elementos físicos, cuidado de elementos abióticos, atmósfera, litosfera e hidrosfera (EF-EA)

### Relaciones ACV+C2C

Las categorías de impacto definidas relacionan los dos métodos con un sistema de ponderación (ejemplo en Figura 4).

CATEGORÍAS DE ACV		C2C			
		Energía Renovable	Emisión de gases efecto invernadero	Uso de energía renovable	Compensación con proyectos externos
ACV	Cambio climático		D		
	Agotamiento del ozono				
	Acidificación				
	Eutrofización				
	Toxicidad				
	Formación de partículas			I	
	Formación de ozono fotoquímico				
	Radiación ionizante				
	Uso de la tierra				
	Consumo de agua				
Agotamiento de los recursos					
Demanda de energía acumulada			D	I	

D: Indica una relación directa entre ambas evaluaciones.  
I: Indica una relación indirecta entre ambas evaluaciones.

**Figura 4.** Relaciones ACV – C2C.

## Identificación de recursos por cada nueva categoría ACV+C2C

Las decisiones en cuanto a los recursos a emplear condicionan los impactos que se producirán a lo largo del ciclo de vida del producto. Por ello, la metodología permite conocer la forma en que los recursos (ENTRADAS) influyen sobre las categorías de impacto (SALIDAS) es de gran utilidad para el proceso de toma de decisiones en las etapas más tempranas del diseño.

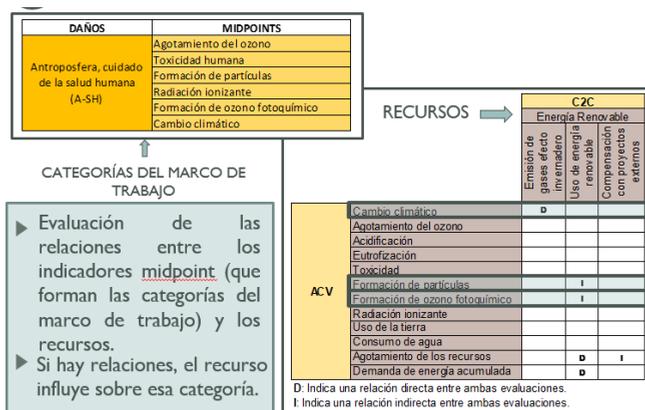


Figura 5. Relación recurso – categoría.

## Cuantificación de las relaciones

Por último, las relaciones entre las entradas y salidas del sistema se pueden cuantificar gracias al nuevo sistema de ponderación definido con indicadores de impacto endpoint; permitirá calcular el porcentaje de intervención de cada recurso.

		C2C					
		Energía Renovable			SUMATORIO DE RELACIONES	PORCENTAJE DE INTERVENCIÓN (%)	
		Emisión de gases efecto invernadero	Uso de energía renovable	Compensación con proyectos externos			
ACV	Cambio climático	1			1	50	
	Formación de partículas		0,5		0,5	25	
	Formación de ozono fotoquímico		0,5		0,5	25	
					<b>2</b>	<b>100</b>	

1: Indica una relación directa entre ambas evaluaciones.  
0,5: Indica una relación indirecta entre ambas evaluaciones.

Figura 6. Establecimiento de las relaciones por categoría.

## Síntesis de los tipos de resultados a obtener con la metodología

Como resultado del proceso de integración, se obtiene un conjunto de categorías de impacto que aportarán información sobre:

- a. Resultados de análisis ambiental, social y económico.
- b. Valoración de la ecoeficiencia (impacto generado).
- c. Valoración de la eco-efectividad (valor creado).
- d. Relación entre las entradas del sistema (suelo, materiales, energía, agua y recursos humanos) y las salidas (impactos generados a la atmósfera, a la litosfera y a la hidrosfera).
- e. Estrategias de gestión de ciclo de vida y cierre de ciclos materiales según los parámetros de: ciclicidad, recuperación energética y pérdida de valor cíclico.

## CONCLUSIONES

La integración de Análisis de Ciclo de Vida y las técnicas de C2C en un único procedimiento permite reducir la complejidad del proceso de diseño, simplificar las fases de evaluación y facilitar la interpretación de los resultados; además, aporta un carácter cuantitativo al marco C2C (actualmente semi-cuantitativo y cualitativo para las categorías de impacto que incluye).

Por último, una evaluación de impacto integrada entre ACV (incluyendo los tres alcances ambiental, social y económico) con las técnicas de C2C, ayuda a encontrar un equilibrio entre estrategias eco-efectivas y ecoeficientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Thompson, J. (2015). "Cradle to Cradle" Is Revolutionizing Human Design. *Perspectives on The Environment*, p. 1.
- [2] Peralta-Álvarez, M.E. (2016). Modelado, simulación y optimización de la sostenibilidad de procesos de fabricación para su integración multiescala y multinivel. Aplicación a células de mecanizado. S.I. UCA.
- [3] Avlonas, N. y Nassos, G.P. (2013). *Practical Sustainability Strategies*. NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] McDonough, W. y Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York.
- [5] McDonough, W. y Braungart, M. (2013). *The Upcycle: Beyond Sustainability-Designing for Abundance*. San Juan, Puerto Rico: North Point Pr.

- [6] Graedel, T.E. y Allenby, B.R. (2003). *Industrial Ecology*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- [7] Baas, L. (2008). *Cleaner Production and Industrial Ecology: A Dire Need for 21st Century Manufacturing*. Springer London, pp. 139-156.
- [8] Benyus, J.M. (2009). *Biomimicry*. New York: William Morrow & Co.
- [9] Abukhader, S.M. (2008). Eco-efficiency in the era of electronic commerce – should ‘Eco-Effectiveness’ approach be adopted? *Journal of Cleaner Production*, 16(7), pp. 801-808.
- [10] Wang, G. y Côté, R. (2011). Integrating eco-efficiency and eco-effectiveness into the design of sustainable industrial systems in China. *International Journal of SD & WE*, 18(1), pp. 65-77.
- [11] Simon, L., Moraes, C.A.M., Modolo, R.C.E., Vargas, M., Calheiro, D. y Brehm, F.A. (2017). Recycling of contaminated metallic chip based on eco-efficiency and eco-effectiveness approaches. *Journal of Cleaner Production*, 153, pp. 417-424.
- [12] Dinis-Silvestre, J. y De Brito, J. (2011). Environmental, energetic and economic life-cycle assessment from “C2C” (3E-C2C) of buildings assemblies. En *World Sustainable Building Conference*.
- [13] Dinis-Silvestre, J. y De Brito, J. y Duarte Pinherio, M. (2013). LCA ‘From Cradle-to-Cradle’ of Energy-Related Building Assemblies: Promoting Eco-Efficient Materials. Conference: Portugal SB13- Contribution of Sustainable Building for EU 20-20-20 Targets.
- [14] Ankrah, N., Manu, E. y Booth, C. (2015). Beyond sustainable buildings: eco-efficiency to eco-effectiveness through C2C design.
- [15] Lanfang, L., Issam, S., Chong, W.K. y Christopher, H. (2015). Integrating G2G, C2C and resource flow analysis into LCA framework: A case of construction steel’s resource loop. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, pp. 143-152.