

¿LA ECONOMÍA CIRCULAR SIEMPRE ES LA OPCIÓN MÁS SOSTENIBLE?

Por
Clarisa ALEJANDRINO
Ayelén VILLADA
Celina CONTRERAS
Iván CRAGNOLINO

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción, el consumo y la generación de residuos son la causa de la mayoría de los desafíos urgentes de la sociedad actual, tales como la inequidad social, los impactos en la salud humana, el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento de los recursos, por nombrar algunos. El DS como solución a estos problemas se propuso por primera vez en el Informe Brundtland, donde se lo definió como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias” (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987). A partir de esta definición, el DS ha guiado el camino a seguir a nivel mundial y ha dado lugar a diversas iniciativas. Las más reconocidas son las propuestas por Naciones Unidas, como el Acuerdo de París (UN, 2015a) que establece medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), o la Agenda 2030 con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que promueven acciones para un desarrollo sostenible y eficiente (UN, 2015b). Debido a esto en las últimas décadas los desarrollos e investigaciones se han centrado en modificar estos patrones, en búsqueda de otros más sostenibles. La Economía Circular (EC) tiene por objetivo mantener el valor de productos, materiales y recursos en el sistema durante el mayor tiempo posible, y reducir al mínimo la generación de impactos ambientales negativos. A diferencia del tradicional enfoque económico lineal, de extraer, fabricar, consumir y descartar, el enfoque circular se centra en un sistema de producción y consumo de ciclo cerrado. Por esta razón se le denomina “economía”, con el objeto de hacer referencia a todas las cadenas de valor que conforman la misma y no con el objeto de resaltar la dimensión económica. Como resultado, este enfoque permite reducir los residuos, que es uno de los pilares más conocidos de la EC pero también desvincular el crecimiento económico del uso de recursos (European Commission, 2020a).

A pesar de que la EC ha cobrado fuerza y reconocimiento en la última década, numerosos autores coinciden en que no es un concepto nuevo. La definición más reconocida mundialmente de EC fue elaborada por Ellen MacArthur Foundation (2012). *“La EC es una economía industrial que es restauradora o regenerativa por intención y diseño, y tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales en su máxima utilidad y valor en todo momento. El concepto distingue entre ciclos técnicos y biológicos. Una economía circular es un ciclo de desarrollo positivo continuo que preserva y mejora el capital natural, optimiza el rendimiento de los recursos y minimiza los riesgos del sistema mediante la gestión de existencias finitas y flujos renovables. Funciona eficazmente en todas las escalas”*. La representación gráfica de esta definición se presenta en la **Figura 1**.

PRINCIPIO

1

Preservar y mejorar el capital natural, controlando los stocks y equilibrando los flujos de recursos renovables
Palancas: Regenerar, desmaterializar, compartir

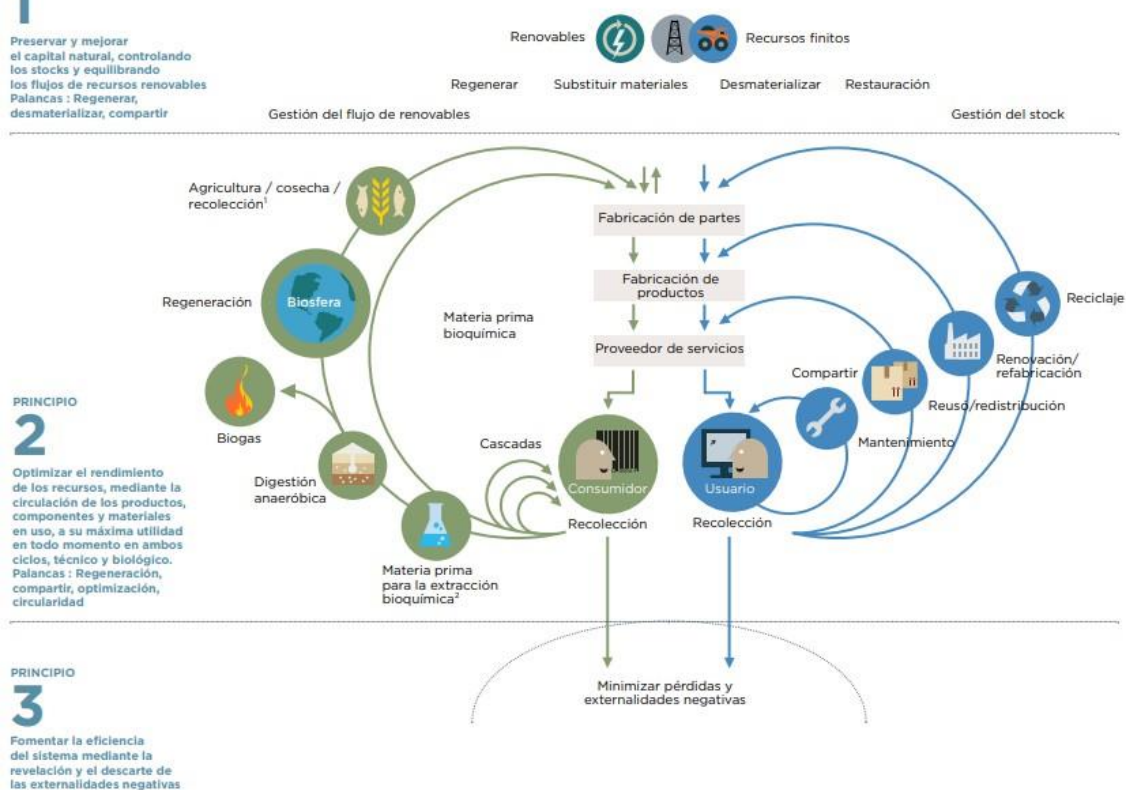


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. Definición gráfica de EC.

Fuente: Ellen MacArthur Foundation (2012)

Más recientemente, y luego de un análisis de cientos de referencias científicas, Kirchherr et al. (2017) propusieron una nueva definición integral de EC. “EC es un sistema económico que reemplaza el concepto de “fin de vida” por reducir, reutilizar, reciclar y recuperar materiales en los procesos de producción / distribución y consumo. Opera a nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques eco-industriales) y nivel macro (ciudad, región, nación y más allá), con el objetivo de lograr el desarrollo sostenible, creando así simultáneamente calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras. Está habilitado por modelos comerciales novedosos y consumidores responsables”.

La primera definición se centra en los flujos circulares de materiales y recursos que componen la EC, aunque la definición gráfica también incluye otros conceptos como la desmaterialización, la sustitución de materiales o la gestión de stocks. La segunda, presenta una visión de la EC más holística e interrelacionada con el desarrollo sostenible, además de abordar con mayor profundidad los niveles en los cuales la EC puede ser aplicada. Sin embargo, no profundiza en cómo se va a lograr “reemplazar el concepto de fin de vida”, a excepción de la mención de algunos flujos circulares: reducir, reutilizar, reciclar y recuperar materiales. En conclusión, ambas definiciones se complementan, y en conjunto permiten comprender de manera integral el concepto de EC.

Tal como define Kirchherr et al. (2017), la EC puede operar en tres niveles. A nivel micro se aplica en productos, organizaciones y consumidores; a nivel meso en comunidades acotadas como parques industriales; y a nivel macro en ciudades, regiones y países. Por supuesto las estrategias con diferentes en cada caso, así como los resultados. Importantes estudios han relevado los efectos en organizaciones internacionales que han implementado EC (WBCSD and BCG, 2018) (Ihobe, 2018).

Como resultado se identificaron importantes beneficios, como avances en la innovación para la eficiencia y la competitividad (97 %), incremento de los beneficios económicos (51%) y se concluyó que todos los beneficios identificados contribuyeron, como objetivo final, a lograr competitividad y sostenibilidad de la organización.

A pesar de todos los antecedentes sobre EC en muchos casos se hace un uso superficial, nada sistémico y con importantes errores conceptuales. Organizaciones de todo tipo afirman ser “circulares” o “hacer economía circular” si reciclan alguno de sus residuos. Si bien el reciclaje es muy importante en la EC no es la única posibilidad, de hecho, la EC es un concepto amplio y que incluye un importante abanico de estrategias. A modo de ejemplo, la **Tabla 1** presenta las estrategias de EC que una organización industrial puede implementar.

Tabla 1 Listado de estrategias de EC para organizaciones industriales.

Fuente: Alejandrino (2023)

Categoría	Estrategia	Descripción	
Modelo de negocio	Personalización/bajo demanda	Producción solo cuando la demanda del consumidor ha sido cuantificada y confirmada. El producto o servicio es especialmente diseñado para satisfacer las necesidades del cliente.	
	Consumo colaborativo	Acceso compartido al producto y uso de plataformas de intercambio.	
	Sistemas producto-servicio	Combinación de productos y servicios y pago por rendimiento.	
	Desmaterialización/virtualización	Reemplazo de infraestructura física y activos con servicios digitales / virtuales	
Producto	Diseño	Diseño para desensamblaje	Diseño de producto para un fácil desmontaje durante reparación, reacondicionamiento o reciclaje.
		Diseño modular	Productos compuestos por módulos funcionales para facilitar la actualización.
		Diseño para durabilidad	Diseño para una vida útil prolongada y para contrarrestar la obsolescencia prematura
		Diseño para flexibilidad	Productos que se adaptan rápidamente para garantizar la utilidad y satisfacción de los usuarios.
		Eco-diseño	Diseño para reducir los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto.
		Diseño para reducción	Diseño para reducción de consumo de materiales.
		Diseño para reparación	Diseño de producto para ser reparado después del final de su vida útil.
		Diseño para reciclaje	Diseño de producto, componente o material para ser reciclado después del final de su vida útil.
	Abastecimiento de materiales	Materiales de bajo impacto	Empleo de criterios ambientales para la selección de materiales mediante herramientas objetivas como LCA, huella ambiental o huella hídrica.
		Materiales abundantes/renovables	Empleo de materiales abundantes / renovables, para hacer que el proceso de producción sea más resistente a las fluctuaciones de precios y la escasez de recursos
		Materiales reciclados	Empleo de materiales reciclados para reducir la demanda de capital natural y minimizar el desperdicio.
		Materiales biológicos	Materiales generados a partir de recursos biológicos y renovables.
		Materiales no peligrosos	Eliminación de uso de sustancias nocivas. Solicitud a los proveedores la divulgación de las sustancias presentes en los suministros.
	Venta y logística	Embalaje eficiente	Uso de envases que emplean menos materiales, prefiriendo los reciclables y de bajo impacto ambiental.
		Etiquetado de productos	Información completa, adecuada y comprensible sobre la durabilidad, reparabilidad y mantenimiento de los productos para que los usuarios puedan tomar decisiones informada

	Información digital	Uso de tecnologías digitales para información de productos.
Consumo/Usos	Eficiencia de energía y materiales	Reducción de consumo de materiales y de energía durante el uso del producto.
	Reuso	Nueva utilización de producto, componente o material sin necesidad de reprocesamiento o tratamiento, ya sea por el usuario original o un usuario diferente
	Actualización	Extensión de la vida útil del producto mediante la mejora o sustitución de componentes o piezas físicas o virtuales sin tener que reponer todo el producto.
	Mantenimiento	Intervención del producto para extender su ciclo de vida y rendimiento.
	Reparación	Retorno de producto, componente o material defectuoso o roto a un estado utilizable
Logística inversa	Fomento del retorno	Método de recompensa por devolución de productos, como devolución de depósito o mecanismos de recompra.
	Infraestructura	Infraestructura necesaria para la recogida y el transporte rentables y eficientes del producto al final de su vida.
	Recolección separada	Diferentes flujos de residuos recogidos por separado para evitar la contaminación y reducir los procesos posteriores.
Valorización de fin de vida	Reacondicionamiento	Mejora estética de un producto, componente o material, que puede implicar hacer que parezca nuevo, con mejoras de funcionalidad o no.
	Remanufactura	Retorno de un producto usado a su rendimiento original, como mínimo, con una garantía equivalente o mejor que la del producto recién fabricado
	Reciclaje	Procesamiento de un producto, componente o material desechado o usado para su uso en un producto, componente o material futuro
	Recuperación energética	Generación de energía a partir de los residuos mediante diferentes procesos, como coincineración o generación de biogás.
	Compostaje	Recuperación de nutrientes biológicos para devolverlos al suelo para el capital natural reconstruido.
Proceso de fabricación	Eficiencia energética	Reducción del consumo de energía y preferencia de las energías renovables en la fabricación sin afectar los productos.
	Eficiencia de materiales	Reducción del consumo de material en la fabricación sin afectar los productos
	Seguimiento de materiales	Mejora en la trazabilidad y transparencia del flujo de materiales y la información.
	Recuperación de recursos	Recuperación de materiales y agua dentro de la organización.
	Simbiosis industrial	Intercambio de recursos, servicios y subproductos entre empresas.

Un error muy frecuente es la creencia de que EC, el desarrollo sostenible (DS) y la sostenibilidad o sustentabilidad son sinónimos. En efecto son conceptos estrechamente relacionados pero diferentes. La EC se ha afianzado como posible camino para lograr el DS pero por si misma no nos permitiría alcanzar la sostenibilidad. Si nos basamos exclusivamente en la EC, podemos sobrevalorar estrategias que mantienen los recursos pero que, de todos modos, tienen impactos negativos. Ejemplos de esta sobrevaloración son el caso de reciclar materiales mediante procesos de altos impactos y/o costos, y el de extender la vida útil de productos con gran consumo de energía (Peña et al., 2021).

La importancia del proyecto desarrollado se debe a que las empresas desempeñan un papel fundamental en el DS, tienen una participación importante en las cadenas de valor y generan importantes impactos ambientales. La Unión Europea, líder en la transición de la EC, valora la importancia de la circularidad de las empresas para generar ahorros materiales sustanciales a lo largo de las cadenas de valor y los procesos de producción, generar valor adicional y desbloquear

oportunidades económicas y lograr la neutralidad climática (European Commission, 2020b, 2019). A nivel regional, la importancia de metodologías y técnicas que brinden apoyo a las empresas es todavía mayor ya que existen muy pocos antecedentes. Ante esta problemática, se propuso la evaluación combinada de los impactos en la circularidad y en la sostenibilidad cuando se intenta implementar estrategias de EC en organizaciones o empresas (Alejandrino et al., 2022). Además, se pretende presentar conclusiones con base empírica sobre la interacción entre la EC y la sostenibilidad y sobre cómo implementar estos conceptos en la actividad diaria de las organizaciones de una cadena de valor. Es necesario resaltar que la investigación se enmarcó en la línea de investigación “Responsabilidad social, desarrollo sostenible y economía circular”, definida por Res. 83/23 del Consejo Directivo y se relaciona directamente con el contenido del espacio curricular “Medio Ambiente y Logística Inversa” de la Licenciatura en Logística.

1. OBJETIVOS

- Proponer estrategias de EC aplicables a un caso de estudio de una empresa.
- Evaluar el efecto de las estrategias sobre la circularidad de la empresa.
- Evaluar el impacto ambiental, económico y social que las estrategias tienen en el caso de estudio.
- Extraer conclusiones y recomendaciones para la incorporación de la EC en la actividad diaria de las empresas.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada se presenta en la Figura 2. La misma fue aplicada a un caso de estudio de una organización industrial dedicada a la fabricación de elementos premoldeados de hormigón para la industria de la construcción.

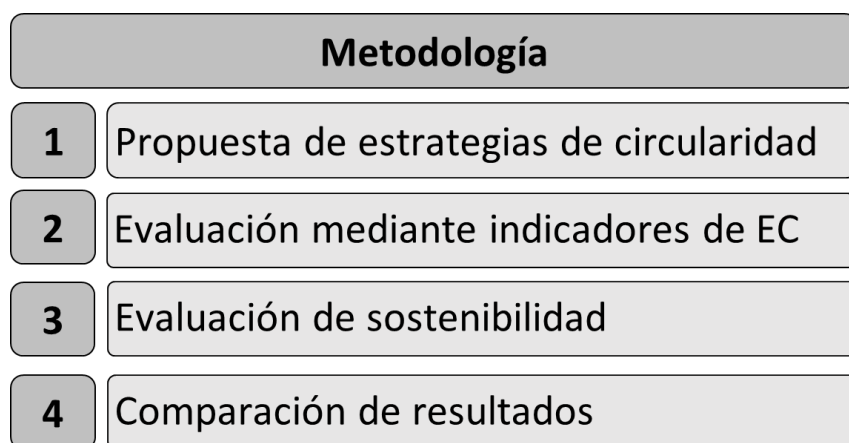


Figura 2 Metodología empleada.
Fuente: Elaboración propia

Propuesta de estrategias de circularidad

Las estrategias de circularidad aplicables al caso de estudio se obtuvieron en base a un estudio de antecedentes previamente realizado. Específicamente se partió de un listado de treinta y ocho estrategias a partir del cual se realizó la selección, las cuales se mostraron en la Tabla 1.

Evaluación mediante indicadores de EC

En esta primera evaluación se utilizaron nueve indicadores de circularidad (Tabla 2) que fueron seleccionados debido a su amplia utilización científica y a un análisis de su relación con el caso de estudio (Vinante et al., 2021).

Tabla 2 Indicadores seleccionados para análisis de circularidad
Fuente: Elaboración propia

Categoría	Indicadores
Indicadores de circularidad (9)	Consumo de materiales [tn]
	Consumo de materiales reciclados [tn]
	Consumo de agua [m³]
	Consumo de electricidad [kWh]
	Consumo de energía renovable [%]
	Residuos sólidos generados [tn]
	Residuos sólidos reciclados [%]
	Efluentes generados [m³]
	Consumo de combustible [m³].

Evaluación de sostenibilidad

Como marco para esta segunda evaluación se utilizó la técnica de análisis de sostenibilidad de ciclo de vida para organizaciones (ASCV-O) (Alejandrino, 2023). Esta técnica aplica la evaluación de sostenibilidad de ciclo de vida a organizaciones completas en lugar de productos, con el objetivo de ampliar el enfoque y lograr un análisis integral. El ASCV-O permite cuantificar los impactos ambientales, económicos y sociales a la vez fundamentada en indicadores objetivos y de gran consenso internacional. Para seleccionar los indicadores se realizó un análisis de materialidad donde se consideró la importancia para la organización y para los escenarios en estudio y la factibilidad de acceder a los datos necesarios. Como resultado se obtuvieron los siguientes indicadores (Tabla 3).

Tabla 3 Indicadores seleccionados para análisis de sostenibilidad
Fuente: *Elaboración propia*

Categoría	Indicadores
Indicadores Ambientales (6)	Agotamiento abiótico (ADP) [kg Sb eq] Calentamiento global (GWP) [kg CO₂ eq] Agotamiento de la capa de ozono (ODP) [kg CFC-11 eq] Oxidación fotoquímica (POCP) [kg C₂H₄ eq] Acidificación (AP) [kg SO₂ eq] Eutrofización (EP) [kg PO₄³⁻ eq].
Indicadores Económicos (2)	Costo total anual (CTA) [ARS] Periodo de recuperación (PR) [años]
Indicadores Sociales (3)	Trabajadores con acceso a capacitación laboral (ACL) [%] Participación en iniciativas de la comunidad (PIC) [adimensional] Compras locales (CL) [%]

Comparación de resultados

Para comparar los resultados de estas evaluaciones y extraer conclusiones se utilizó la teoría matemática POSET (Annoni and Brüggemann, 2009) que permite la comparación de estrategias sin caer en la compensación de indicadores ni en la incorporación de elecciones subjetivas; y así obtener resultados orientados a la toma de decisiones (Alaimo et al., 2020). Para aplicar la teoría se empleó el software MAXIMALES, desarrollado en conjunto con otros investigadores (Ibáñez-Forés et al., 2023). Este programa permite la integración de indicadores tanto cuantitativos como cualitativos,. Esta herramienta también permite la incorporación de restricciones y/o preferencias para mejorar la priorización obtenida, así como para incorporar criterios estadísticos en los resultados.

Además se calculó el rango promedio de cada escenario según la **Ecuación 1** (adaptada de Badinger and Reuter (2015)).

$$\bar{r}_i = \sum_{j=1}^N [r_j * p_i(r_j)] \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

r es cada valor de cada rango j que puede obtener el elemento i dentro del POSET
 $p_i(r)$ es la probabilidad que tiene ese elemento para ese valor de rango.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las estrategias de la **Tabla 1** se seleccionaron las aplicables al caso de estudio y se propusieron ocho escenarios alternativos que se presentan en la **Tabla 4** y se describen a continuación.

Tabla 4 Listado de estrategias de EC para organizaciones industriales.

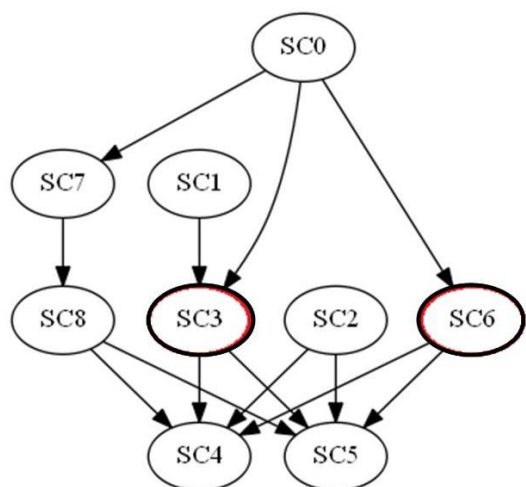
Fuente: Alejandrino (2023)

Escenario	
SC0	Escenario base
SC1	Uso de materiales reciclados
SC2	Reciclaje de residuos
SC3	Recirculación de materiales
SC4	Recirculación de efluentes
SC5	Automatización del curado
SC6	Eficiencia energética
SC7	Proveedores más cercanos
SC8	Movilidad de trabajadores

- **SC0 Escenario base.** Situación actual de la organización en estudio.
- **SC1 Uso de materiales reciclados.** Reemplazo de parte de los agregados finos utilizados en los productos por plástico reciclado (Mercante et al., 2018), logrando una reducción del consumo de cemento y agua (Ojeda et al., 2020) y reemplazo del 20% del agregado grueso por agregado reciclado (González-Fonteboa and Martínez-Abella, 2005).
- **SC2 Reciclaje de residuos.** Reciclaje de los residuos asimilables a construcción y demolición en una planta de reciclaje externa (Mercante, 2014; Mercante et al., 2012).
- **SC3 Recirculación de materiales.** Reciclaje en la misma planta de los residuos de construcción y demolición generados mediante trituración para su uso como áridos secundarios.
- **SC4 Recirculación de efluentes.** Recuperación del 50% de los efluentes generados por la planta (Sandrolini and Franzoni, 2001).
- **SC5 Automatización del curado.** Aplicación de un Sistema de control automático de humedad y temperatura y activación de válvulas y rociadores. Como resultado se logró reducir un 50% del agua y un 30% del combustible consumido (Yang et al., 2018).
- **SC6 Eficiencia energética.** Reducción del 25% del consume energético mediante mejoras en la iluminación y climatización (Doty, 2016; Thumann et al., 2003) y reemplazo del 90% de la energía de red por energía generada median paneles fotovoltaicos.
- **SC7 Proveedores más cercanos.** Reducción de consumos e impactos del transporte de materias primas al cambiar de proveedores.
- **SC8 Movilidad de trabajadores.** Implementación de movilidad sostenible (Vanoutrive et al., 2012), para reducir un 30% los consumos e impactos del traslado de trabajadores (Ciclogreen, 2021).

Una vez aplicadas las evaluaciones de circularidad y sostenibilidad a estos escenarios se obtuvieron dos matrices de resultados. Para facilitar la comparación de resultados se presentaron los mismos una vez aplicada la teoría POSET y se obtuvieron los diagramas de priorización de la **Figura 3**.

EVALUACIÓN DE CIRCULARIDAD



EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD

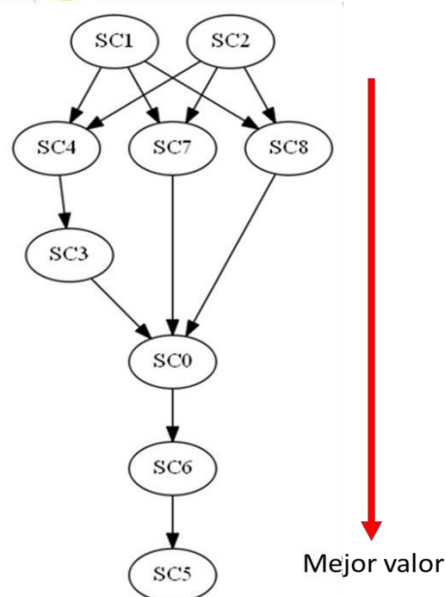


Figura 3 Priorización de escenarios.

Fuente: Elaboración propia

En estos diagramas es posible observar que el SC5 (Automatización del curado) es el mejor escenario, seguido del SC6 (Eficiencia energética) para el análisis de sostenibilidad mientras que empata como mejor escenario junto con SC4 (Recirculación de efluentes) para el análisis de circularidad. Sin embargo, este último no aparece como una buena opción para el análisis mediante indicadores de sostenibilidad. En general se aprecian bastantes diferencias en los diagramas obtenidos. En la evaluación de sostenibilidad se aprecia un diagrama más vertical, lo que implica que existen más diferencias y es más fácil priorizar los escenarios que en el análisis de circularidad. En este caso es un diagrama bastante horizontal con muchas incomparabilidades. Esto quiere decir que en muchos casos no es posible saber, desde el punto de vista de la circularidad, qué escenario es mejor; por ejemplo, en el caso de SC8, SC3, SC2 y SC6. Esto se da porque algún escenario es mejor en un indicador, pero peor en otro entonces no se puede determinar matemáticamente una relación entre ellos.

Considerando tanto los indicadores de circularidad como los de sostenibilidad solo la estrategia de automatización del curado (SC5) se mantuvo como una de las mejoras. Se concluye que esta debería ser la estrategia a implementar prioritariamente. Los resultados obtenidos no quieren decir que las demás sean negativas, sino que no implican tantos beneficios como esta.

Para eficientizar la toma de decisiones y mejorar la comprensión se calculó estadísticamente el rango promedio de cada escenario en cada análisis según la **Ecuación 1**. A partir del rango promedio se obtuvo un orden estadístico (**Tabla 5**) considerando todas las posibilidades de ubicación de cada escenario en los diagramas de la **Figura 3**.

Tabla 5 Orden estadístico y rango promedio de cada escenario (entre paréntesis).

Fuente: Elaboración propia

Análisis de sostenibilidad	Análisis de circularidad
SC5 (1)	SC4 (1,5)
SC6 (2)	SC5 (1,5)
SC3 (3,7)	SC8 (4,3)
SC7 (4,5)	SC3 (4,3)
SC8 (4,5)	SC2 (4,9)
SC4 (5,3)	SC6 (5)
SC1 (7,5)	SC1 (6,3)
SC2 (7,5)	SC7 (6,4)

Se aprecia una gran diferencia en la ubicación relativa de los escenarios por lo que se concluye que las estrategias o mejoras de circularidad no siempre llevan a una mejora de la sostenibilidad. Se concluye que de las estrategias seleccionadas para el caso de estudio las dos que llevaron a una mayor mejora de la circularidad de la organización fueron la recirculación de efluentes (SC4) y la automatización del curado (SC5), en cambio las que generaron mejoras mayores para la sostenibilidad (ambiental, económica y social) fueron la automatización del curado (SC5) seguida de la eficiencia energética (SC6). Tal como sucedió con estas estrategias, se vieron diferencias en la ubicación relativa de casi todas las estrategias a excepción de la estrategia de uso de materiales reciclados (SC1) que se ubicó penúltima en ambos casos.

4. CONCLUSIONES

Se logró aplicar la metodología al caso de estudio y se evaluaron mediante indicadores de circularidad y de sostenibilidad las estrategias propuestas. Se identificaron las mejores estrategias en cada caso y se analizaron las diferencias identificadas en la priorización obtenida.

Se concluye que fue posible corroborar que las estrategias de circularidad o pensadas desde el punto de vista de favorecer la economía circular no necesariamente implican una mejora en la sostenibilidad. Se recomienda siempre medir los impactos ambientales, económicos y sociales que las mejoras o estrategias tienen sobre los sistemas y organizaciones bajo una perspectiva de ciclo de vida. Solo con un análisis integral y objetivo de este tipo es posible tomar decisiones informadas orientadas a alcanzar el desarrollo sostenible.

Referencias

- Alaimo, L.S., Arcagni, A., Fattore, M., Maggino, F., 2020. Synthesis of multi-indicator system over time: a poset-based approach. *Soc. Indic. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02398-5>
- Alejandrino, C., Mercante, I.T., Bovea, M.D., 2022. Combining O-LCA and O-LCC to support circular economy strategies in organizations: Methodology and case study. *J. Clean. Prod.* 336, 130365. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.130365>
- Alejandrino, C. 2023. Propuesta metodológica para la selección de estrategias de economía circular en organizaciones industriales según criterios de sostenibilidad y circularidad. Tesis de Doctorado en Ingeniería. En Prensa.
- Annoni, P., Brüggemann, R., 2009. Exploring partial order of european countries. *Soc. Indic. Res.* 92, 471–487. <https://doi.org/10.1007/s11205-008-9298-4>
- Ciclogreen, 2021. Sustainable mobility for companies [WWW Document]. URL <https://www.ciclogreen.com/> (accessed 1.19.21).
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo., 1987. Informe Brundtland: Nuestro futuro común.
- Doty, S., 2016. Commercial energy auditing reference handbook, Third. ed. Fairmont Press.
- Ellen MacArthur Foundation, 2012. Towards a circular economy - economic and business rationale for an accelerated transition. *Greener Manag. Int.* <https://doi.org/2012-04-03>
- European Commission, 2020a. COM (2020) 98 final - A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe.
- European Commission, 2020b. COM (2020) 102 final - A new industrial strategy for Europe.
- European Commission, 2019. COM (2019) 640 final - The european green deal.
- González-Fonteboa, B., Martínez-Abella, F., 2005. Hormigones con áridos reciclados: estudio de propiedades de los áridos y de las mezclas. *Mater. Construcc.* 55, 53–66.
- Ibáñez-Forés, V., Alejandrino, C., Bovea, M.D., Mercante, I., 2023. Prioritising organisational circular economy strategies by applying the partial order set theory: tool and case study. *J. Clean. Prod.* 406, 136727. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136727>
- Ihobe, 2018. Economía circular en la industria del País Vasco - Diagnóstico. Bilbao.
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resour. Conserv. Recycl.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Mercante, I., 2014. Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos de construcción y demolición. PhD tesis. Universidad Nacional de Cuyo. <https://doi.org/ISBN 978-987-27642-3-4>.
- Mercante, I., Alejandrino, C., Ojeda, J.P., Chini, J., Maroto, C., Fajardo, N., 2018. Mortar and concrete composites with recycled plastic: a review. *Sci. Technol. Mater.* 30, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.stmat.2018.11.003>
- Mercante, I.T., Bovea, M.D., Ibáñez-Forés, V., Arena, A.P., 2012. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. *Int. J. Life Cycle Assess.* 17, 232–241. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0350-2>
- Ojeda, J.P., Mercante, I.T., Horacio Fajardo, N., 2020. Ensayos mecánicos sobre morteros con agregados de plástico reciclado dosificados según modelo de conductividad térmica. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 36, 465–474. <https://doi.org/10.20937/rica.53452>
- Peña, C., Civit, B., Gallego-Schmid, A., Druckman, A., Pires, A.C., Weidema, B., Mieras, E., Wang, F., Fava, J., Canals, L.M. i, Cordella, M., Arbuckle, P., Valdivia, S., Fallaha, S., Motta, W., 2021. Using

- life cycle assessment to achieve a circular economy. *Int. J. Life Cycle Assess.* 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01856-z>
- Sandrolini, F., Franzoni, E., 2001. Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants. *Cem. Concr. Res.* 31, 485–489. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00468-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00468-3)
- Thumann, A., Niehus, T., Younger, W.J., 2003. *Handbook of energy audits*. Fairmont Press.
- UN, 2015a. The Paris agreement [WWW Document]. URL <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (accessed 4.8.21).
- UN, 2015b. Sustainable development goals [WWW Document]. URL <https://sdgs.un.org/> (accessed 4.8.21).
- Vanoutrive, T., Van De Vijver, E., Van Malderen, L., Jourquin, B., Thomas, I., Verhetsel, A., Witlox, F., 2012. What determines carpooling to workplaces in Belgium: location, organisation, or promotion? *J. Transp. Geogr.* 22, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.11.006>
- Vinante, C., Sacco, P., Orzes, G., Borgianni, Y., 2021. Circular economy metrics: literature review and company-level classification framework. *J. Clean. Prod.* 288, 125090. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125090>
- WBCSD, BCG, 2018. *The new big circle*. Geneva.
- Yang, J., Fan, J., Kong, B., Cai, C.S., Chen, K., 2018. Theory and application of new automated concrete curing system. *J. Build. Eng.* 17, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.02.009>