



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

DOCTORADO EN INGENIERÍA

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN  
DE ESTRATEGIAS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN  
ORGANIZACIONES INDUSTRIALES SEGÚN CRITERIOS  
DE SOSTENIBILIDAD Y CIRCULARIDAD**

**CLARISA ALEJANDRINO**

**TESIS DOCTORAL**

Directora: Dra. Ing. Irma Mercante

Co-Directora: Dra. Ing. María Dolores Bovea

Mendoza. Octubre, 2022

Lo que no se puede medir no se puede controlar;  
lo que no se puede controlar no se puede gestionar;  
lo que no se puede gestionar no se puede mejorar.

## **Agradecimientos**

A la Dra. Irma Mercante y la Dra. María Dolores Bovea quienes con inmensa paciencia y rigurosidad han dirigido este proceso desde el comienzo y sin las cuales no habría llegado a este punto.

A Susana, Aldo y a todo el equipo del Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos (CEIRS), donde desarrollo mi labor diaria, por su apoyo y colaboración durante toda mi carrera.

Al jurado de esta tesis que con su dictamen y recomendaciones permitieron realizar importantes mejoras.

A CONICET por la beca doctoral que permitió llevar adelante esta investigación.

A la Universidad Nacional de Cuyo de la cual formo parte desde los 12 años y espero continuar, para devolver, aunque sea una parte de lo que he recibido.

A mi familia y amigos que siempre me han brindado su apoyo y cariño en este y en todos mis proyectos. En especial a Franco mi compañero y apoyo en las buenas y en las malas y a mis padres por su guía y comprensión en cada etapa de mi vida.

# Índice General

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Resumen .....               | vii  |
| Abstract.....               | ix   |
| Resumen gráfico .....       | xi   |
| Índice de Contenido .....   | xiii |
| Lista de Abreviaturas ..... | xvii |
| Contenido.....              | 1    |
| Referencias .....           | 125  |
| Anexos.....                 | 147  |





## Resumen

El camino hacia el desarrollo sostenible requiere la transición de una economía lineal a una economía circular (EC). Para que esta transición tenga éxito, es necesario que todo tipo de organizaciones participen activamente integrando estrategias de EC en sus actividades diarias. En este sentido, la identificación y selección de estas estrategias óptimas para cada organización industrial (OI) es un gran desafío.

El objetivo principal de esta tesis fue contribuir a la incorporación de la EC en OI mediante la identificación y selección de estrategias de EC, y la evaluación y priorización de las mismas a través de los aportes a la circularidad y de los impactos ambientales, económicos y sociales. Para cumplir el objetivo se utilizó un procedimiento deductivo. Este procedimiento consistió en la revisión sistemática y exhaustiva de antecedentes científicos publicados en revistas internacionales de alto impacto de las temáticas involucradas; seguida por la propuesta de las técnicas, procedimientos y herramientas que permitieron desarrollar la metodología de selección y priorización de estrategias de EC en OI; y finalmente, la aplicación de la metodología a un caso de estudio de una OI.

Como resultado se desarrolló una metodología de selección y priorización de estrategias de EC en OI. Esta metodología que incluye las siguientes etapas: (1) un diagnóstico inicial de la OI a través de indicadores de circularidad; (2) un procedimiento propuesto que permite proponer y analizar escenarios alternativos a partir de un listado de estrategias de EC; (3) el análisis del desempeño ambiental, económico y social de los escenarios mediante la técnica de análisis de sostenibilidad de ciclo de vida organizacional (ASCV-O) desarrollada en la presente tesis y (4) un procedimiento de priorización de los escenarios a partir de la teoría matemática de grupos parcialmente ordenados (POSET).

Como caso de estudio, se aplicó la metodología desarrollada a una organización industrial dedicada a la fabricación de productos premoldeados para la industria de la construcción. Se logró identificar estrategias, seleccionar las aplicables al caso, proponer y modelar escenarios alternativos y priorizarlos en función de su impacto sobre la sostenibilidad de la organización. Los resultados obtenidos son de gran utilidad para la organización involucrada ya que permiten a la misma tomar decisiones informadas a la hora de elegir qué escenario llevar a cabo y, por lo tanto, eficientizar el uso de sus recursos.

Las principales innovaciones de la presente tesis se pueden dividir en cuatro grandes aportes. En primer lugar, se desarrolló la técnica de ASCV-O. Para lograr esta técnica también se desarrolló la técnica de costeo de ciclo de vida organizacional (CCV-O) la cual se integró con el análisis organizacional de ciclo de vida (ambiental) (ACV-O) y el análisis social organizacional de ciclo de vida (ACV-SO). Además, se desarrolló un procedimiento de evaluación de calidad de datos de inventario, se definieron indicadores para evaluar la sostenibilidad de una organización bajo enfoque de ciclo de vida y se desarrolló un procedimiento para incorporar la incertidumbre en los resultados mediante Simulación de Montecarlo. En segundo lugar, se destacan los aportes relativos a la EC en OI, como son el conjunto de indicadores ad hoc y el listado de estrategias elaborados y el procedimiento de identificación y selección de estrategias para formulación de escenarios alternativos. En tercer lugar, es importante mencionar los aportes relativos a la toma de decisiones en ASCV-O con múltiples escenarios donde se propone por primera vez el uso de la teoría matemática POSET mediante el uso de una herramienta desarrollada en conjunto con

otros investigadores y el cálculo estadístico del rango promedio de cada escenario. Finalmente, se destacan los aportes locales desarrollados a partir del caso de estudio, donde se elaboraron numerosas fichas de datos que podrían ser de utilidad para el medio productivo local.

La importancia del tema en estudio se ve reflejada en la actualidad del mismo. La mayor parte de los antecedentes analizados y que han servido como base para los desarrollos de la presente tesis tienen una antigüedad menor a cinco años. Además, se han analizado antecedentes científicos, normativos y técnicos a nivel mundial lo que corrobora la vigencia e importancia del tema.

Como conclusión final se remarca que se logró desarrollar una metodología que cumple con los objetivos de investigación planteados y que constituye una herramienta de apoyo para lograr una transición eficaz y eficiente de las OI hacia una EC. La aplicación a gran escala de esta metodología en organizaciones industriales contribuiría en gran medida a lograr una economía circular y a alcanzar un desarrollo sostenible.

**Palabras clave**

Desarrollo sostenible, economía circular, industria, ASCV-O, POSET



## **Abstract**

The path to sustainable development requires the transition from a linear economy to a circular economy (CE). For a successful transition, all types of organizations need to actively participate by integrating CE into their daily activities. Today, the identification and selection of CE strategies for industrial organizations (IO) remains a challenge.

Main objective of this thesis is to assist to the incorporation of CE in IO through the identification and selection of CE strategies and the evaluation and prioritization of the contributions to circularity and the environmental, economic and social impacts that they produce. To reach the aim a deductive procedure was used. This procedure includes a systematic and exhaustive review of scientific background published in high-impact international journals on the topics involved. Then techniques, procedures, and tools that allowed the development of the methodology for selecting and prioritizing CE strategies in IO were proposed. Finally, the methodology was applied to a case study of an IO. As a result, a methodology to select and prioritize CE strategies in IO was developed. This methodology includes following stages: (1) an initial diagnosis of the IO through circularity indicators; (2) a procedure that allows the proposition and analysis of alternative scenarios based on a set of CE strategies; (3) the analysis of the environmental, economic and social performance of the scenarios through the organizational life cycle sustainability analysis technique (O-LCSA) developed in this thesis and (4) a procedure for prioritizing the scenarios based on the partially ordered set (POSET) mathematical theory.

As a case study, the developed methodology was applied to an industrial organization dedicated to the manufacture of precast products for the construction industry. It was possible to identify strategies, select those applicable to the case, propose and define alternative scenarios and prioritize them based on their impact on the sustainability of the organization. The results obtained were very useful for the organization involved since they allowed it to make informed decisions when choosing which scenario to carry out and, therefore, make an efficient use of its resources.

The main innovations of this thesis can be divided in four. First, the O-LCSA technique was developed. To achieve this technique, the organizational life cycle costing technique (O-LCC) was also developed and it was integrated to the (environmental) organizational life cycle assessment (O-LCA) and social organizational life cycle assessment (SO-LCA). Also, a procedure for evaluating the quality of inventory data, the definition of indicators to evaluate the sustainability of an organization under a life cycle approach and a procedure to incorporate uncertainty in the results through Monte Carlo Simulation were proposed. Secondly, the contributions of this research related to CE in IO are a set of ad hoc indicators, a list of strategies developed and a procedure for identifying and selecting strategies for formulating alternative scenarios stand out. Thirdly, it is important to mention the contributions related to decision making in O-LCSA with multiple scenarios where the use of the mathematical theory POSET was proposed through the use of a tool developed together with other researchers and the statistical calculation of the average range of each scenario. Finally, local contributions developed from the case study are highlighted, where numerous data sheets were developed that could be useful for the local productive system.

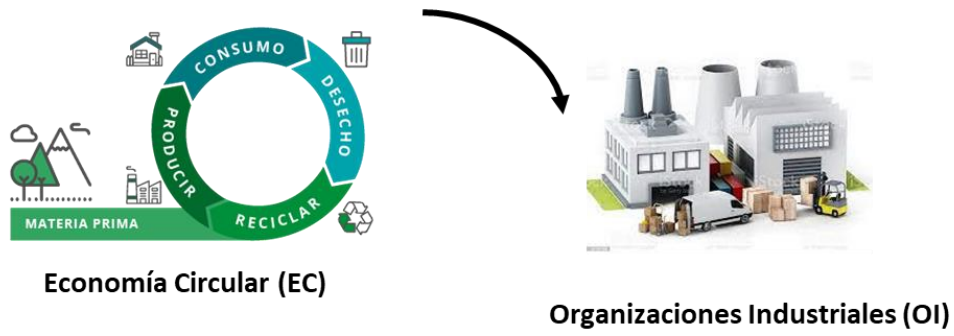
The importance of the field topic under study is reflected in its actuality. Most of the analyzed background, which have served as a basis for the development of this thesis, are less than five years old. In addition, scientific, regulatory and technical background from around the world has been considered, which corroborates the validity and importance of the topic.

As a final conclusion research objectives were filled through the developed methodology. This methodology constitutes a support tool to achieve an effective and efficient transition of IO towards a CE. Large-scale application of the proposed methodology to industry organizations would allow to achieve a circular economy and sustainable development.

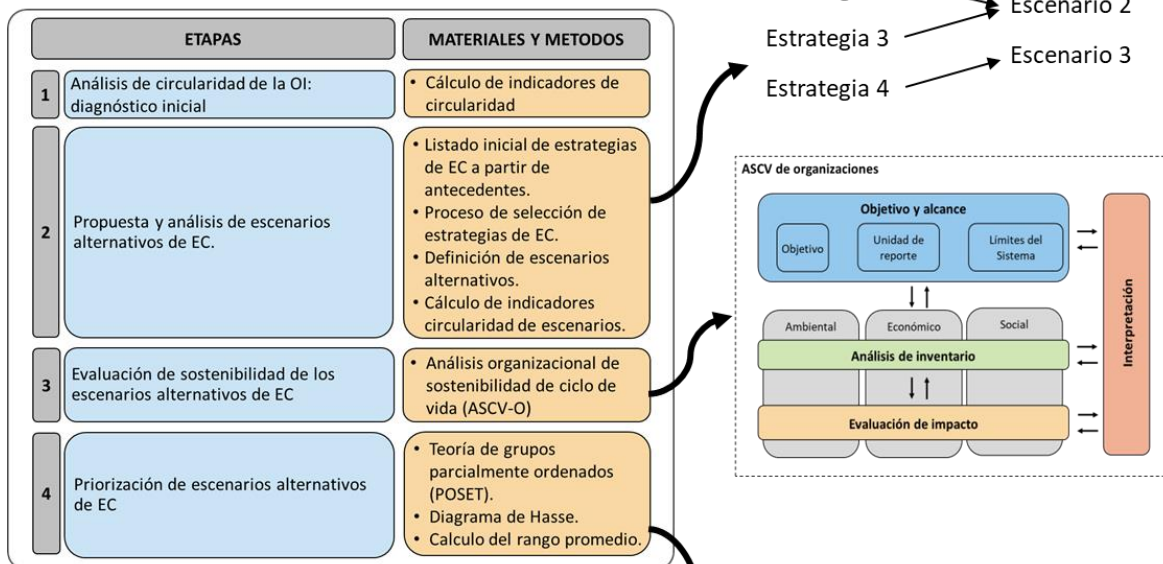
**Keywords**

Sustainable development, circular economy, industry, O-LCSA, POSET

## Resumen gráfico



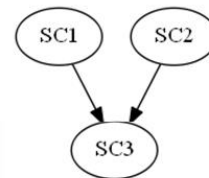
## Metodología de selección y priorización de estrategias de EC en OI



## Caso de estudio



Fabricación de productos premoldeados para construcción



| Escenario | Rango promedio |
|-----------|----------------|
| SC1       | 2,5            |
| SC2       | 2,5            |
| SC3       | 1              |



## Índice de Contenido

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....         | 1  |
| 1.1. Introducción.....  | 1  |
| 1.1.1. Sostenibilidad y Economía circular.....                            | 2  |
| 1.1.2. Definición y antecedentes de la EC.....                            | 2  |
| 1.1.3. Economía Circular en Organizaciones Industriales.....              | 3  |
| 1.2. Formulación del problema.....  | 4  |
| 1.3. Objetivos.....   | 7  |
| 1.4. Metodología de trabajo.....  | 7  |
| 1.5. Estructura de la investigación.....                                  | 10 |
| 1.6. Justificación de la investigación.....                               | 12 |
| <br>  |    |
| CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.....                                  | 13 |
| 2.1. Evaluación de circularidad.....                                      | 13 |
| 2.1.1. Herramientas de evaluación de circularidad.....                    | 13 |
| 2.1.2. Indicadores para evaluación de circularidad.....                   | 14 |
| 2.2. Estrategias de Economía Circular en Organizaciones Industriales..... | 18 |
| 2.3. Análisis de la sostenibilidad del ciclo de vida (ASCV).....          | 20 |
| 2.3.1. Evolución del concepto y marco normativo.....                      | 20 |
| 2.3.2. Casos de estudio de ASCV.....                                      | 22 |
| 2.3.1.1. Objetivo y alcance del ASCV.....                                 | 24 |
| 2.3.1.2. Inventario del ASCV.....   | 26 |
| 2.3.1.3. Métodos de evaluación de impacto e indicadores de ASCV.....      | 27 |
| 2.3.1.4. Interpretación del ASCV.....                                     | 31 |
| 2.3.1.5. Interacción de ASCV y EC.....                                    | 31 |
| 2.3.1.6. Conclusiones del análisis de casos de ASCV.....                  | 31 |
| 2.4. Análisis de ciclo de vida organizacional (ACV-O).....                | 32 |
| 2.4.1. Evolución del concepto y marco normativo.....                      | 32 |
| 2.4.2. Casos de estudio de ACV-O.....                                     | 32 |
| 2.4.2.6. Conclusiones del análisis de casos de estudio de ACV-O.....      | 37 |
| 2.5. Análisis de ciclo de vida social organizacional (ACV-SO).....        | 38 |
| 2.5.1. Evolución del concepto y marco normativo.....                      | 38 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.5.2 | Casos de estudio de ACV-SO.....  | 40 |
| 2.6   | Impacto social en OI.....  | 41 |
| 2.7   | Integración de resultados para toma de decisiones en sostenibilidad..... | 43 |
| 2.7.1 | Métodos de integración de resultados en ASCV.....                        | 43 |
| 2.7.2 | Teoría de grupos parcialmente ordenados (POSET) en sostenibilidad.....   | 45 |
| 2.7.3 | Conclusiones de la integración de resultados en sostenibilidad.....      | 48 |

CAPÍTULO 3 PROPUESTA DE ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DE CICLO DE VIDA PARA ORGANIZACIONES (ASCV-O) .....49

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.1.   | Introducción.....                                | 49 |
| 3.2.   | Definición de objetivo y alcance del ASCV-O..... | 50 |
| 3.3.   | Análisis de inventario del ASCV-O.....           | 51 |
| 3.3.1. | Construcción de inventarios.....                 | 51 |
| 3.3.2. | Análisis de calidad de datos.....                | 52 |
| 3.4.   | Evaluación del impacto del ASCV-O.....           | 56 |
| 3.4.1. | Indicadores ambientales.....                     | 56 |
| 3.4.2. | Indicadores económicos.....                      | 58 |
| 3.4.3. | Indicadores sociales.....                        | 59 |
| 3.5.   | Interpretación del ASCV-O.....                   | 73 |
| 3.6.   | Conclusiones del capítulo 3.....                 | 75 |

CAPÍTULO 4 PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EC PARA OI.....77

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.1. | Introducción.....   | 77 |
| 4.2. | Etapa 1 – Análisis de circularidad de la organización: diagnóstico inicial.....                   | 77 |
| 4.3. | Etapa 2 - Propuesta y análisis de los escenarios alternativos a partir de estrategias de EC ..... | 78 |
| 4.4. | Etapa 3 - Análisis de sostenibilidad de los escenarios.....                                       | 82 |
| 4.5. | Etapa 4 – Priorización de escenarios alternativos a partir de estrategias de EC.....              | 85 |
| 4.6. | Conclusiones del capítulo 4.....  | 89 |

|   |     |
|---|-----|
| CAPÍTULO 5 CASO DE ESTUDIO.....   | 91  |
| 5.1. Introducción.....  | 91  |
| 5.2. Descripción del caso.....  | 91  |
| 5.3. Aplicación de la metodología al caso de estudio.....   | 92  |
| 5.3.1. Etapa 1. Análisis de circularidad de la organización.....  | 92  |
| 5.3.2. Etapa 2. Propuesta y análisis de los escenarios alternativos.....  | 93  |
| 5.3.3. Etapa 3. Evaluación de sostenibilidad de los escenarios.....   | 97  |
| 5.3.3.1. Definición de objetivo y alcance del ASCV-O.....   | 97  |
| 5.3.3.2. Análisis de inventario del ASCV-O.....   | 100 |
| 5.3.3.3. Evaluación de impacto del ASCV-O.....  | 105 |
| 5.3.3.4. Interpretación del ASCV-O.....   | 108 |
| 5.3.4. Etapa 4. Priorización de escenarios alternativos.....  | 110 |
| 5.3.4.1. Priorización inicial.....  | 110 |
| 5.3.4.2. Incorporación de restricciones.....  | 110 |
| 5.3.4.3. Cálculo del rango promedio.....  | 112 |
| 5.3.5. Validación de los resultados.....  | 113 |
| 5.4. Conclusiones del capítulo.....   | 114 |
| <br>  |     |
| CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS.....  | 117 |
| 6.1. Introducción.....  | 117 |
| 6.2. Conclusiones relativas al procedimiento de identificación y selección de estrategias de EC en OI .....   | 117 |
| 6.3. Conclusiones relativas a la técnica para evaluar sostenibilidad en OI.....   | 120 |
| 6.4. Conclusiones relativas al procedimiento para integrar los impactos de sostenibilidad.....  | 120 |
| 6.5. Conclusión relativas a la metodología para la selección y priorización de estrategias de EC en OI con perspectiva de sostenibilidad del ciclo de vida..... | 121 |
| 6.6. Conclusiones relativas al caso de estudio.....   | 121 |
| 6.7. Relación de las conclusiones con la hipótesis.....   | 121 |
| 6.8. Principales aportes e importancia .....  | 121 |
| 6.9. Futuras investigaciones.....   | 121 |





## Lista de Abreviaturas

|          |   |
|----------|---|
| ACL      | Indicador de acceso a capacitación laboral  |
| ACV      | Análisis de ciclo de vida   |
| ACV-O    | Análisis de ciclo de vida de organizaciones   |
| ACV-S    | Análisis de ciclo de vida social  |
| ACV-SO   | Análisis de ciclo de vida social de organizaciones  |
| ADP      | Abiotic Depletion Potential (Indicador de agotamiento de recursos abióticos)  |
| AHP      | Analytic Hierarchy Process (Proceso analítico jerárquico)   |
| AP       | Acidification Potential (Indicador de acidificación)  |
| ASCV     | Análisis de sostenibilidad de ciclo de vida   |
| ASCV-O   | Análisis de sostenibilidad de ciclo de vida de organizaciones   |
| CCD      | Calificación de calidad de datos  |
| CCGD     | Calificación de calidad general de datos  |
| CCV      | Costos de ciclo de vida   |
| CCV-O    | Costos de ciclo de vida de organizaciones   |
| CED      | Cumulative Energy Demand (Demanda Acumulada de Energía)   |
| CL       | Compras locales   |
| CTA      | Costo total anual   |
| CV       | Coefficiente de variación   |
| DEA      | Data Envelopment Analysis (Análisis envolvente de datos)  |
| DEMATEL  | DEcision-MAKing Trial and Evaluation Laboratory (Laboratorio de Evaluación y Ensayo de Toma de Decisiones)  |
| EC       | Economía circular   |
| EDAS     | Distance from Average Solution (Solución por distancia del promedio)  |
| ELECTRE  | ELimination Et Choix Traduisant la REalité (Eliminación y selección a partir de traducción de la realidad)  |
| EP       | Eutrophication Potential (Indicador de eutrofización)   |
| FAETP    | Fresh water Aquatic Eco Toxicity Potential (Indicador de ecotoxicidad acuática del agua dulce)  |
| FELICITA | Fuzzy Evaluation for Life Cycle INtegrated sustainability Assessment (Evaluación difusa para el análisis integrado de sostenibilidad del ciclo de vida) |
| GDP      | Gross domestic product (Producto bruto interno)   |
| GWP      | Global Warming Potential (Indicador de cambio climático)  |
| HTP      | Human Toxicity Potential (Indicador de toxicidad humana)  |
| IRR      | Internal rate of return   |
| ITA      | Ingreso total anual   |
| MACBETH  | Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (Medición del atractivo mediante una técnica de evaluación basada en categorías)   |
| MADM     | Multi-Attribute Decision Making (Toma de decisiones de atributos múltiples)   |
| MAETP    | Marine Aquatic Eco Toxicity Potential (Indicador de ecotoxicidad marina)  |
| MAUT     | Multiple-Attribute Utility Theory (Teoría de la utilidad de atributos múltiples)  |
| MODM     | Multi-Objective Decision Making (Toma de decisiones de objetivos múltiples)   |
| NGCD     | Nivel general de calidad de datos   |
| NPV      | Net present value (Valor actual neto)   |
| ODP      | Ozone Depletion Potential (Indicador de agotamiento del ozono estratosférico)   |
| PIC      | Indicador de participación en iniciativas de la comunidad   |
| POCP     | Photochemical Ozone Creation Potential (Indicador de formación de foto oxidantes)   |

POSET Partially Ordered Set (Teoría de grupos parcialmente ordenados)

PP Indicador de periodo de recuperación

PROMETHEE Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations (Método de organización de priorización de preferencia para el enriquecimiento de las evaluaciones)

PSILCA Product Social Impact Life Cycle Assessment database (Base de datos de análisis de ciclo de vida del impacto social de productos)

RCD Residuos de construcción y demolición

ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible

SHD Social Hotspot Database (Base de datos de puntos críticos sociales)

TETP Terrestrial Eco Toxicity Potential (Indicador de ecotoxicidad terrestre)

TOPSIS Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (Técnica para ordenar preferencias por similitud a la solución ideal)

UO Indicador de utilidad operativa

VIKOR Solución de optimización y compromise multicriterio (en su lenguaje original)

# Capítulo 1 Formulación del problema, objetivos y metodología

## Resumen

En el presente capítulo se introducen los conceptos de sostenibilidad y EC, se formula el problema a resolver, se presentan los objetivos general y particulares, y la metodología empleada.

### 1.1. Introducción

Los sistemas de producción, consumo y 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 desarrollo sostenible (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). Aunque ambas han sido desarrolladas para guiar a los gobiernos, pueden traducirse en una oportunidad de crecimiento para toda la sociedad, incluyendo a las OI (European Commission, 2020a). Las OI consumen gran cantidad de recursos, generan gran cantidad de residuos y producen importantes impactos ambientales en todo el mundo. En este sentido, es esencial trabajar para una integración del DS en la actividad diaria de las OI con el fin de fomentar acciones que impliquen beneficios económicos, sociales y medioambientales para todos los actores involucrados (Bengtsson et al., 2018).

#### 1.1.1. Sostenibilidad y Economía circular

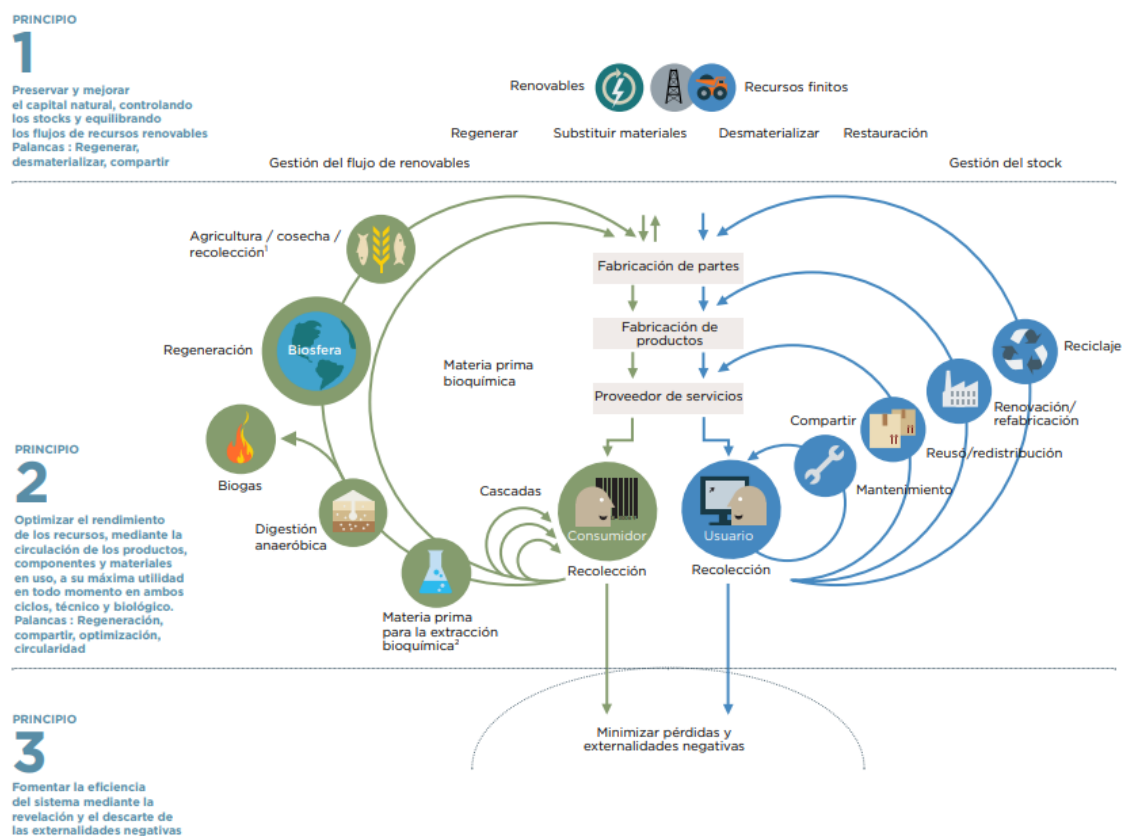
Un nuevo paradigma de producción y consumo, la EC, se ha afianzado como posible marco para acercar el DS a las OI (Pauliuk, 2018). La EC tiene por objetivo mantener el valor de productos, materiales y recursos en el sistema durante el mayor tiempo posible, y reducir al mínimo la generación de impactos ambientales negativos. A diferencia del tradicional enfoque económico lineal, de extraer, fabricar, consumir y descartar, el enfoque circular se centra en patrones de producción de ciclo cerrado con especial énfasis en los residuos (Ghisellini et al., 2016). Este enfoque permite, además, desvincular el crecimiento económico del uso de recursos (European Commission, 2020a).

Las OI son actores clave en este cambio de modelo, ya que conllevan una participación importante en las cadenas de valor y generan grandes impactos ambientales. La EC permitiría a las OI desarrollar modelos de producción más limpia, reducir desechos, aumentar la eficiencia en el uso de recursos (Geissdoerfer et al., 2017) y generar empleo (European Commission, 2020a) en busca de alcanzar el DS.

### 1.1.2. Definición y antecedentes de la EC

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 (Ghisellini et al., 2016). La primera definición se atribuye a Pearce y Turner (1989). Años antes, Stahel (1982) propuso un modelo de negocio circular al analizar la venta del derecho de utilización, en lugar de la venta de los bienes en sí mismos, permitiendo a las industrias obtener ganancias sin externalizar los costos y riesgos asociados con el desperdicio. Durante los años siguientes el concepto de EC quedó relegado, pero en la última década ha cobrado gran importancia a nivel mundial (Hornrich et al., 2018). En la actualidad la EC ha evolucionado hasta conformarse en un concepto complejo y sistémico. En esta evolución se han incorporado características e influencias de diversas corrientes tales como el ecodiseño, la economía azul, la economía de bucle y rendimiento, el diseño regenerativo, la ecología industrial, el capitalismo natural y el biomimetismo (BSI, 2017).

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 1.1**.



**Figura 1.1** Definición gráfica de EC.

Fuente: Extraído de Ellen MacArthur Foundation (2012)

Más recientemente, y luego de un análisis iterativo de codificación de las definiciones presentadas en 114 referencias bibliográficas, 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.

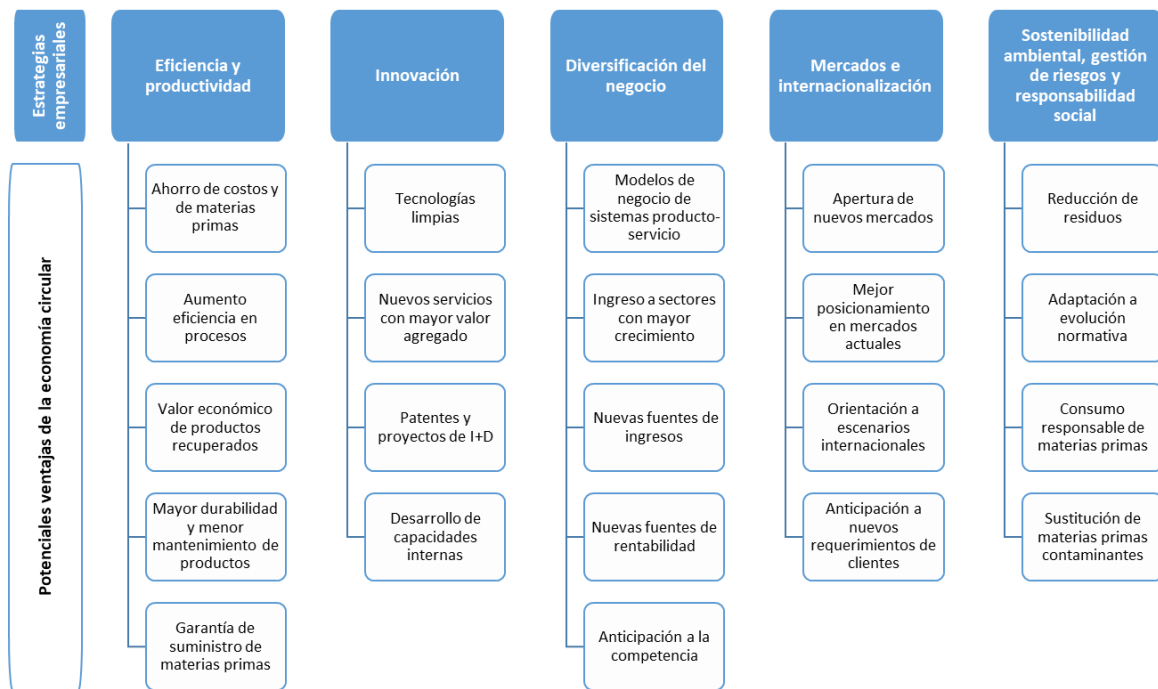
### **1.1.3. Economía Circular en Organizaciones Industriales**

Como se mencionó en el apartado 1.1.2, Kirchherr et al. (2017) establecieron que la EC puede operar en tres niveles. A nivel micro se aplica en productos, organizaciones y consumidores; a nivel meso en parques industriales; y a nivel macro en ciudades, regiones y países. La presente tesis se centra en el nivel micro, y especialmente en las OI. Particularmente se destaca la importancia de la implementación de acciones que promuevan la transición de las OI a una EC, tal como señalan Valls-Val et al. (2022).

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) y Boston Consulting Group (BCG) llevaron a cabo un estudio de EC en OI (WBCSD and BCG, 2018). Para ello relevaron 78 organizaciones de una gran variedad de industrias de todo el mundo. Entre los resultados hallados se destacan los siguientes:

- La implementación de la EC impulsó avances en la innovación para la eficiencia y la competitividad en un 97 % de las empresas encuestadas.
- El 96% de los encuestados creen que la EC es importante para el éxito futuro de su compañía.
- El 51% de las empresas encuestadas declararon que trabajar con una EC contribuyó a un incremento de los beneficios económicos.

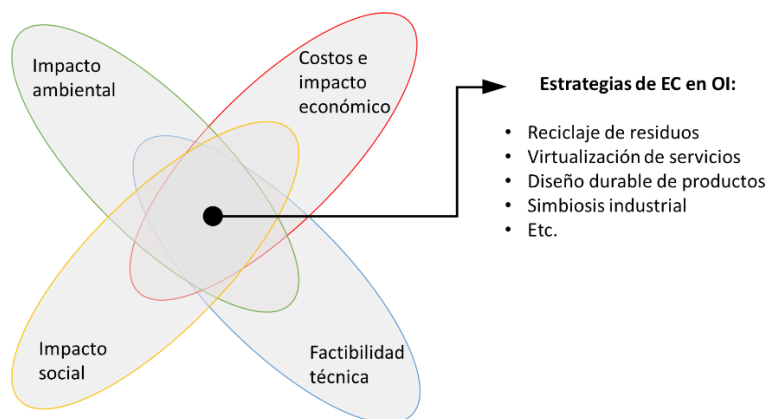
Otro estudio realizado a industrias del País Vasco permitió identificar los principales beneficios (**Figura 1.2**) que reportaron las OI que aplicaron estrategias de EC (Ihobe, 2018). Los encuestadores concluyeron que todos los beneficios incluidos en la **Figura 1.2** contribuyeron, como objetivo final, a lograr competitividad y sostenibilidad de la organización.



**Figura 1.2** Efectos positivos de EC a nivel empresarial.  
Fuente: Extraído de Ihobe (2018)

## 1.2. Formulación del problema e hipótesis

Las OI pueden integrar la EC en sus modelos de negocio, productos o procesos (Geissdoerfer et al., 2018). El principal desafío para las OI a la hora de incorporar conceptos de EC consiste en seleccionar posibles estrategias aplicables a cada caso y priorizarlas. Esto se debe a que existe una gran variedad de enfoques de EC (Oliveira et al., 2021), una amplia gama de tipos de organizaciones industriales (Kanda et al., 2021) y una clara falta de consenso sobre métodos e indicadores (Vinante et al., 2021). Además, al igual que en otros procesos de toma de decisiones, están implicadas diversas variables que afectan la sostenibilidad de las OI (**Figura 1.3**), por lo que resulta un problema de gran complejidad.



**Figura 1.3.** Variables de decisión en la selección de estrategias de EC en OI.  
Fuente: Adaptado de Iacovidou et al. (2017a)

Muchos profesionales, consultores, investigadores y gobiernos dedican esfuerzos para definir procedimientos y herramientas de selección de estrategias de EC óptimas en OI (Peña et al.,

2021). A partir de los antecedentes en la temática se han encontrado dos enfoques diferentes para la selección y priorización de estrategias de EC en OI. El primer enfoque considera los efectos de las estrategias sobre la circularidad de la organización y el segundo lo hace sobre la sostenibilidad de la misma (Alejandrino et al., 2022).

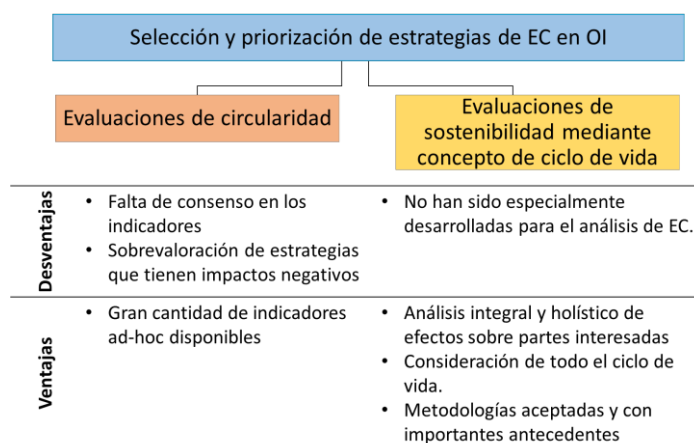
El primer enfoque implica el análisis de los efectos que las estrategias generan en la circularidad de la organización. Existen varias herramientas para medir la circularidad en OI (Valls-Val et al., 2022). Estas herramientas se basan en indicadores cualitativos (por ejemplo, importancia estratégica de la EC en la OI) y/o cuantitativos (por ejemplo, consumo de materiales vírgenes o generación de residuos) (Vinante et al., 2021). La principal ventaja de este enfoque es que existen numerosos indicadores ad-hoc disponibles que permiten analizar los efectos de diferentes estrategias de EC (Vinante et al., 2021). No obstante, se manifiestan desventajas por la falta de consenso en los indicadores y porque, en ocasiones, pueden 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).

El segundo enfoque plantea que la selección y priorización de estrategias de EC se realice en función de los efectos de las mismas sobre la sostenibilidad de la organización y sus grupos de interés (Ávila-Gutiérrez et al., 2019; Corona et al., 2019; Kravchenko et al., 2020). Conceptualmente la EC es más sostenible que una lineal, reduce los consumos de materiales y sus impactos asociados, mantiene el valor de los materiales dentro de la economía y es generadora de empleo (European Commission, 2020a). Por esta razón, evaluar el efecto último de la EC en la sostenibilidad de las OI parece una buena forma de identificar y priorizar estrategias de EC. Esta perspectiva mide los efectos ambientales, económicos y sociales (sean positivos o negativos) de las estrategias de EC sobre la OI y sus partes interesadas. La aplicación del concepto de ciclo de vida y sus técnicas asociadas (análisis de sostenibilidad de ciclo de vida, por ejemplo) brindan un marco metodológico ideal para llevar a cabo este enfoque.

La principal ventaja del segundo enfoque es que implica un análisis integral y holístico, considerando las diferentes dimensiones de sostenibilidad y, por lo tanto, de las partes interesadas que podrían ser afectadas. Por ejemplo, si una empresa utiliza una máquina para su proceso productivo y está evaluando una reparación de la misma para aumentar su vida útil o su reemplazo por una más moderna. Desde la EC se podría recomendar aumentar la vida útil, pero si la nueva máquina utiliza menos consumibles o tiene menor consumo energético se debería analizar en detalle ambas alternativas. Una segunda ventaja viene dada por la aplicación del concepto de ciclo de vida, que amplía el alcance del análisis al considerar dicho ciclo completo. Esto reduce el riesgo de pasar por alto compensaciones entre diferentes etapas. Un ejemplo de compensación es cambiar a un proveedor local con el objeto de reducir costos e impactos de transporte y fomentar el desarrollo local, pero sin considerar si este proveedor utiliza trabajo informal o procesos contaminantes. Una tercera ventaja es la aceptación y desarrollo de las técnicas basadas en la aplicación del concepto de ciclo de vida, que cuentan con normativas, guías de aplicación y numerosos casos de estudio a nivel mundial. La principal desventaja es que las herramientas disponibles para evaluar sostenibilidad no han sido especialmente desarrolladas para el análisis de EC, por lo que pueden requerir adaptaciones e incluso pueden no representar con exactitud las características de determinada estrategia. Otra desventaja es que comúnmente se requiere integrar los resultados de las tres dimensiones de

sostenibilidad previo a la toma de decisiones. Un ejemplo sencillo es la comparación entre dos estrategias de EC donde la primera reduce las emisiones de GEI, reduce el empleo de mano de obra local y aumenta el costo para la empresa mientras que la segunda estrategia aumenta las emisiones de GEI, reduce el consumo de agua y el costo y no tiene efectos sociales. La priorización de una de estas estrategias sobre la otra no se puede definir tan claramente, sino que se requiere un procesamiento y análisis en detalle de los efectos de las mismas y la utilización de alguna técnica de integración orientada a la toma de decisiones.

Las características de los dos posibles enfoques para la selección y priorización de estrategias de EC en OI se resumen en la **Figura 1.4**.



**Figura 1.4.** Enfoques para identificación y priorización de estrategias de EC en OI.

*Fuente: Elaboración propia*

Como se aprecia en los párrafos precedentes, ambos enfoques tienen ventajas y desventajas, por lo que la integración de estas opciones podría potenciar los puntos fuertes de ambas y resolver las principales debilidades. En consecuencia, surge la hipótesis a comprobar: "es posible desarrollar una metodología que permita una evaluación integrada de circularidad y sostenibilidad para seleccionar y priorizar estrategias de economía circular en organizaciones industriales".

### 1.3. Objetivos

#### Objetivo general

Contribuir a la incorporación de la EC en OI mediante la identificación y selección de estrategias de circularidad, y la evaluación y priorización de las mismas a través de los aportes a la circularidad y de los impactos ambientales, económicos y sociales.

#### Objetivos particulares

**Objetivo 1:** Elaborar un procedimiento de identificación y selección de estrategias de EC en OI que permita proponer escenarios alternativos de mejoras.

**Objetivo 2:** Desarrollar una técnica para evaluar los impactos ambientales, sociales y económicos aplicable a los escenarios alternativos de EC en todo el ciclo de vida de la OI.



**Objetivo 3:** Proponer un procedimiento para integrar los impactos de sostenibilidad que permita priorizar los escenarios alternativos de EC propuestos.

**Objetivo 4:** Desarrollar una metodología para la selección y priorización de estrategias de EC en OI con perspectiva de sostenibilidad del ciclo de vida.

**Objetivo 5:** Aplicar la metodología desarrollada a un caso de estudio de una OI.

#### 1.4. Metodología de trabajo

Para cumplir los objetivos general y particulares planteados en el ítem 1.3 se ha seguido una metodología deductiva, cuyas actividades se describen a continuación.

##### Actividad 1: Análisis de antecedentes

- Análisis de antecedentes de evaluaciones del nivel de circularidad de OI

Se analizaron antecedentes de evaluaciones de circularidad e indicadores para obtener el diagnóstico inicial de la circularidad de una OI y/o para la comparación de los efectos que producen las estrategias de EC sobre dicha circularidad. Se realizó el análisis de dos revisiones bibliográficas actualizadas publicadas en revistas internacionales indexadas de alto impacto, una sobre herramientas de evaluación de circularidad (Valls-Val et al., 2022) y otra específica acerca de indicadores (Vinante et al., 2021). La primera revisión incluye el análisis de diez herramientas propiamente diseñadas para medir el nivel de circularidad de organizaciones. La segunda analiza indicadores de EC en OI a partir de una revisión de 107 referencias.

- Análisis de antecedentes de estrategias de EC en OI

Mediante una revisión bibliográfica sistemática se confeccionó un listado preliminar de estrategias de EC que una OI puede incorporar en sus actividades diarias. Se llevó a cabo una búsqueda de antecedentes utilizando “*circular economy*”, “*strategies*” y “*organization*” como cadena de búsqueda para título, palabras clave o resumen de artículos de investigaciones en Scopus (Actualizada a agosto 2022). Esta búsqueda resultó en 115 referencias encontradas. Una selección inicial a partir de los títulos y del contenido de los resúmenes redujo la muestra a 28 artículos. Un segundo proceso de selección a partir de la lectura completa redujo la muestra a 18. Se seleccionaron aquellas publicaciones que presentaron estrategias de EC aplicables a OI. Finalmente, se realizó un estudio exploratorio para extraer las estrategias de EC utilizadas en estos antecedentes.

- Análisis de antecedentes de sostenibilidad de ciclo de vida de organizaciones

Se identificaron tres técnicas que conforman los antecedentes del análisis de sostenibilidad de ciclo de vida para organizaciones (ASCV-O). El análisis de sostenibilidad de ciclo de vida (ASCV), el análisis ambiental de ciclo de vida de organizaciones (ACV-O) y el análisis social de ciclo de vida de organizaciones (ACV-SO). Debido a esto se realizaron tres revisiones diferentes. Los criterios de selección de antecedentes y los objetivos de cada revisión se detallan a continuación.

El objetivo de la revisión de ASCV fue analizar la aplicación de esta técnica en casos de estudio, ya que la misma cuenta con numerosas aplicaciones prácticas en la literatura. Para ello se estudiaron los objetivos y alcances seleccionados, las fuentes de datos empleadas y los indicadores de impacto elegidos por los autores. Además, se analizaron las herramientas

y métodos de integración de resultados empleadas. Se realizó una búsqueda de antecedentes utilizando “life cycle sustainability assessment/analysis” o “LCSA” como cadena de búsqueda para título, palabras clave o resumen del artículo en Scopus y GoogleScholar (actualizada a agosto 2022). Además, la lista obtenida se completó con artículos referenciados en revisiones bibliográficas ya publicadas (Costa et al., 2019; Fauzi et al., 2019; Pieroni et al., 2019; Silva et al., 2019; Thies et al., 2019; Wulf et al., 2019). Se encontraron 346 artículos. Una selección inicial del contenido de los resúmenes permitió el rechazo de publicaciones sin estudios de caso, lo que redujo la muestra a 165 artículos. Después de una segunda evaluación del texto completo, solo se incluyeron artículos con estudios de caso de las tres dimensiones de la sostenibilidad y con la estructura básica de ACV (ISO, 2006a, 2006b). Se seleccionó una muestra final de 109 artículos y se realizó un análisis descriptivo y de contenido. El análisis descriptivo se centró en el año de publicación, objeto de estudio y sector analizado. El análisis de contenido incluyó el objetivo y alcance del análisis, los tipos de datos empleados para constituir el inventario, los indicadores empleados para la evaluación de impacto, los métodos de agregación de resultados utilizados y el análisis de incertidumbre.

Dada la reciente creación del ACV-O, el objetivo de la revisión fue analizar la técnica ACV-O, identificar cuáles son las principales diferencias entre ACV-O y ACV y los principales desafíos de la puesta en práctica de ACV-O. Para lograrlo se realizó una búsqueda de antecedentes utilizando “O-LCA”, “*organizational life cycle assessment*” y “*organizational life cycle assessment*” como cadena de búsqueda para título, palabras clave o resumen del artículo en Scopus y GoogleScholar (actualizada a agosto de 2022). Además, la lista obtenida se completó con artículos referenciados en los trabajos ya seleccionados. Se encontraron 26 referencias. Una selección inicial a partir del contenido de los resúmenes y la lectura completa redujo la muestra a 21 casos de estudio. Se realizó un análisis descriptivo y de contenido. El análisis descriptivo se centró en el año de publicación, objeto de estudio y sector analizado. El análisis de contenido incluyó el objetivo y alcance del análisis, la clasificación de datos y enfoque de recolección de los mismos para constituir el inventario, los indicadores y métodos empleados para la evaluación del impacto y si se incorporaron análisis de sensibilidad e incertidumbre.

El ACV-SO es la técnica más reciente y aún se encuentra actualmente en desarrollo, por lo cual se analizaron los dos antecedentes metodológicos existentes (Martínez-Blanco et al., 2015; UNEP, 2020). A agosto de 2022 solo se identificó un caso de estudio el cual fue analizado junto con los antecedentes mencionados anteriormente. El análisis se centró en las posibilidades que ACV-SO brinda para solucionar los problemas de ACV-S y en las diferencias y similitudes entre ambas técnicas.

- Análisis de antecedentes de impacto social en OI

Se realizó un análisis de referencias normativas de evaluación y gestión de impactos sociales específicas para organizaciones (BLab, 2021; GIIN, 2021; GRI, 2018; ISO, 2010; OCDE, 2018; UN, 2013; UNEP/SETAC, 2013; UNEP, 2020). Estas referencias fueron seleccionadas por su orientación a la evaluación y gestión de cuestiones sociales en organizaciones. Se realizó un análisis exhaustivo de estos antecedentes con el objeto de identificar categorías de impacto e indicadores en vistas de proponer indicadores específicos para organizaciones dentro del análisis de sostenibilidad de ciclo de vida de organizaciones.

- Análisis de antecedentes de técnicas de integración de resultados

Se realizaron dos revisiones de antecedentes. En la primera revisión se analizaron las técnicas y herramientas usadas para integrar resultados de ASCV a partir de los antecedentes hallados en la actividad 2.1 (Análisis de antecedentes de ASCV).

En la segunda revisión se analizaron antecedentes de casos de estudio relacionados con sostenibilidad donde se evaluaron sistemas con indicadores múltiples mediante un nuevo método que aplica la teoría matemática de grupos parcialmente ordenados (POSET). La búsqueda de antecedentes se realizó mediante la búsqueda de "*partial ordering*" o "*partial order*" o "POSET" o "POSETic" en el título, las palabras clave o el resumen de los artículos publicados en ScienceDirect, Scopus y GoogleScholar. Se seleccionaron únicamente los artículos que incluían estudios de casos originales sobre sostenibilidad. El objetivo fue identificar los datos necesarios para su aplicación, los posibles resultados y funcionalidades.

**Actividad 2** Propuesta de metodología de selección y priorización de estrategias de EC para OI.

A partir de los resultados de los análisis de antecedentes realizados previamente en la presente actividad se realizaron las siguientes propuestas.

Se propuso un diagnóstico de circularidad de la OI mediante el cálculo de indicadores de EC. También se desarrolló un listado inicial de estrategias de EC para OI, se propuso un proceso de selección de las estrategias, se propusieron los lineamientos para definir los escenarios alternativos y las fichas de datos a recabar. Finalmente, se propuso el cálculo los indicadores de circularidad para verificar que cada escenario alternativo produce mejoras en los mismos.

Se propuso un marco metodológico de análisis de sostenibilidad de ciclo de vida para organizaciones (ASCV-O). Se propusieron indicadores para evaluar los aspectos ambientales, económicos y sociales. También se propuso un análisis de calidad de datos para los datos de inventario y el cálculo estadístico de la incertidumbre de los resultados. Este marco metodológico se utiliza en la presente tesis para evaluar desde el punto de vista de la sostenibilidad los efectos de diferentes estrategias de EC sobre una OI.

Se seleccionó la teoría de grupos parcialmente ordenados (POSET) para llevar a cabo la integración de los resultados del análisis de sostenibilidad de los escenarios alternativos. Se seleccionó la herramienta informática a utilizar y se propuso el cálculo del orden final mediante una ecuación de rango promedio que considera el cálculo probabilístico de la ubicación de cada escenario dentro del conjunto.

**Actividad 3:** Aplicación de la metodología propuesta a un caso de estudio de una OI.

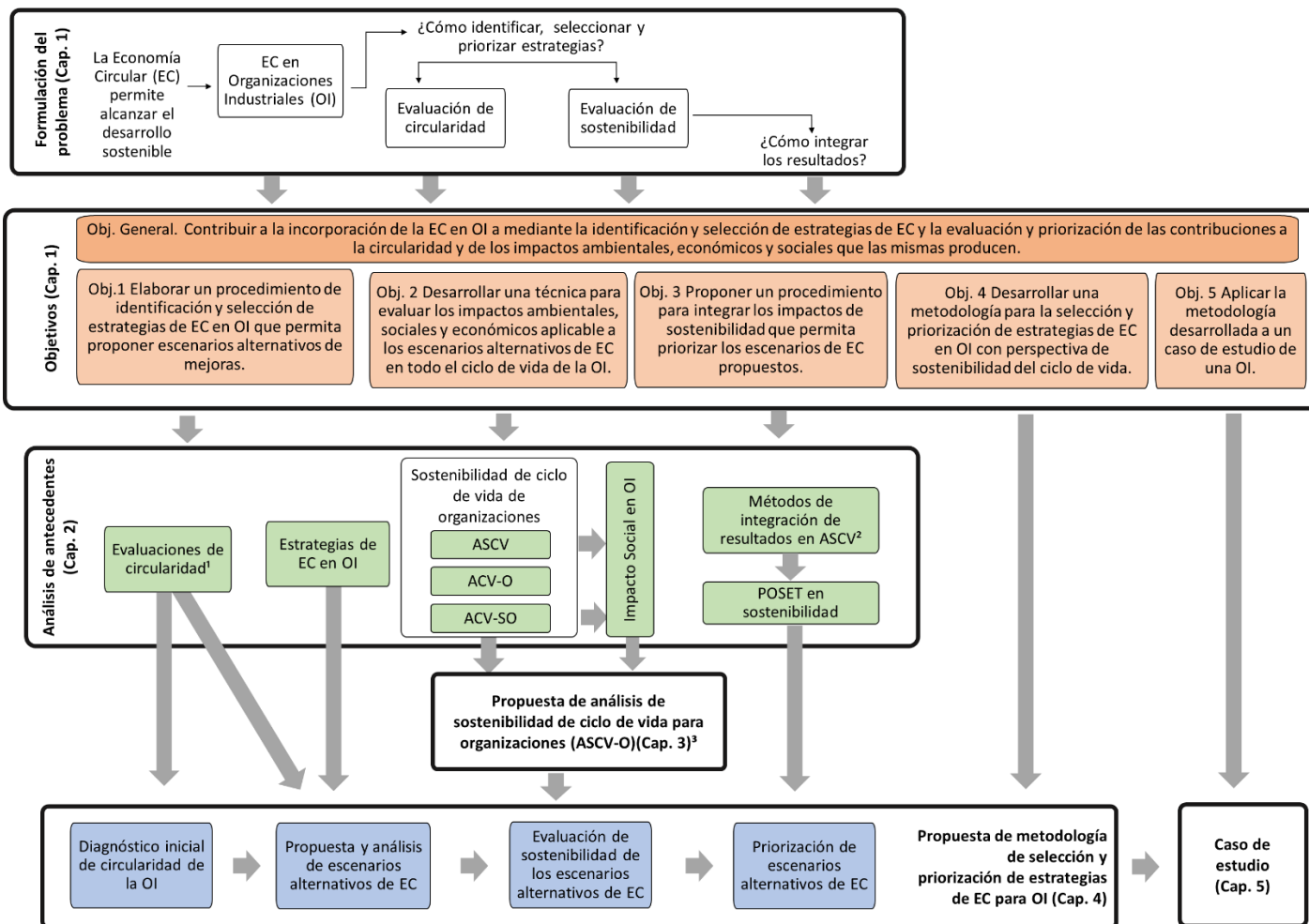
Para ilustrar la aplicación de la metodología propuesta se desarrolló un caso de estudio. Se seleccionó una empresa mediana local que demostró interés en actividades de investigación, desarrollo e innovación. Con esta empresa se han desarrollado otros proyectos de investigación relacionados con la presente tesis e incluso se ha firmado un convenio de colaboración específico.

Se realizaron visitas, mediciones entrevistas y consultas por correo y por teléfono para obtener los datos necesarios para aplicar la metodología. También se contactó a proveedores

para obtener datos de los insumos y materiales utilizados por la misma. Así mismo se comunicaron los resultados obtenidos para obtener una devolución.

### **1.5. Estructura de la tesis**

La estructura de la presente tesis se resume en la **Figura 1.5**. En la misma se vincula el problema detectado, los objetivos planteados, la metodología de trabajo aplicada y los resultados obtenidos. También se indican los capítulos donde se presentan los resultados. En esta figura se aprecia la justificación de los análisis de antecedentes realizados y la relación de los mismos con los objetivos y la metodología propuesta.



**Figura 1.5.** Estructura de la tesis.  
Fuente: Elaboración propia

<sup>1</sup> Análisis de revisiones bibliográficas de otros autores

<sup>2</sup> Parte de la revisión de ASCV

<sup>3</sup> Por su extensión y complejidad se presenta en un capítulo aparte, aunque es utilizada en la propuesta de metodología presentada en el Cap. 4

## 1.6. Justificación de la investigación

La presente investigación se justificó desde tres perspectivas diferentes: los puntos innovadores de la metodología propuesta, los potenciales beneficiarios de la misma, y finalmente, la importancia del sector al cual se enfoca el desarrollo. A continuación, se desarrollan cada una de estas perspectivas.

La metodología desarrollada en la presente tesis es innovadora ya que integra evaluación de circularidad y evaluación de sostenibilidad que hasta ahora se evaluaban por separado, además presenta el primer desarrollo y el primer caso de estudio de ASCV-O y, finalmente, integra los resultados de los impactos ambientales, sociales y económicos con orientación a la toma de decisiones.

Respecto a los potenciales beneficiarios de la metodología propuesta, los mismos se pueden dividir en beneficiarios directos e indirectos. De manera directa se beneficiarán las organizaciones que la utilicen ya que podrán identificar y priorizar iniciativas de EC en base a múltiples criterios siguiendo un método científico. Las partes interesadas de estas organizaciones (como trabajadores, actores de la cadena de valor o clientes) también se ven beneficiadas directamente ya que sus necesidades y expectativas son consideradas en el proceso. De manera indirecta toda la sociedad se ve beneficiada, ya que la aplicación de la metodología ayuda a las organizaciones a contribuir al DS.

Finalmente, se destaca que la metodología se orienta a la elección de estrategias de EC en OI que desempeñan un papel fundamental en el DS, ya que representan 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 OI 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 OI es todavía mayor ya que existen muy pocos antecedentes. El caso de aplicación seleccionado corresponde a una OI de tamaño medio (PyME) de la provincia de Mendoza dedicada a producir productos de construcción prefabricados. Esta empresa tiene pocos antecedentes relacionados con la EC, pero sus socios gerentes han demostrado gran interés en actividades de investigación, desarrollo e innovación.

## Capítulo 2 Análisis de antecedentes

En el presente capítulo se incluyen los análisis de antecedentes realizados en la presente tesis. Los criterios de búsqueda y análisis utilizados se encuentran en el capítulo 1.

### 2.1. Evaluaciones de circularidad

Para el presente análisis se estudiaron las herramientas e indicadores para evaluar la circularidad a nivel de organización.

#### 2.1.1. Herramientas de evaluación de circularidad

En este apartado se consideran y analizan las herramientas sobre EC identificadas por Valls-Val et al. (2022). Se identificaron y analizaron en detalle ocho herramientas capaces de medir el nivel de circularidad de las organizaciones: CircularTRANS (Mondragón University, 2020), Circulytics (Ellen MacArthur Foundation, 2020), CM-FLAT (Sacco et al., 2021), Circular Transition Indicators-CTI (WBCSD, 2020), herramienta de circularidad de Inedit (Inedit Innova, 2020), ready2LOOP de MATChE (Technical University of Denmark, 2021), Material Circularity Indicator-MCI (Ellen MacArthur Foundation, 2017) y el cuestionario diagnóstico de EC de TECNUN (Universidad de Navarra, 2017). A las herramientas mencionadas se les agregó la herramienta desarrollada por el Consejo Empresario Argentino para el Desarrollo Sostenible (CEADS) (<http://www.ceads.org.ar/herramienta-de-autoevaluacion-de-economia-circular/>) que es la única de Argentina. La herramienta más antigua corresponde al año 2015 y la mayor parte de ellas se han desarrollado a partir del 2020, por lo que son aún muy recientes y pocas organizaciones las utilizan en la práctica.

En la **Tabla 2.1** se resumen las principales características de las metodologías identificadas. Se observó que todas han sido desarrolladas por universidades y privados, ninguna es propiedad de entidades de gobierno. Se detectó que la mayor parte tienen una plataforma on-line con acceso gratuito, pero muchas de ellas requieren registro previo a acceder a la herramienta. Respecto a la evaluación cuantitativa del desempeño circular de la organización sólo Circulytics, CTI y MCI lo permiten, mientras que las demás herramientas corresponden a evaluaciones y cuestionarios cualitativos.

**Tabla 2.1** Características de metodologías de evaluación de circularidad en OI.

*Fuente: Adaptado y ampliado de Valls-Val et al. (2022)*

| Metodología/herramienta | Propiedad <sup>1</sup> | Interfaz <sup>2</sup> | Disponibilidad <sup>3</sup> | Tipo <sup>4</sup> |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------|
| CircularTRANS           | U                      | O                     | GR                          | CL                |
| Circulytics             | P                      | O                     | GR                          | CL, CT            |
| CM-FLAT                 | U                      | ED <sup>5</sup>       | ED <sup>5</sup>             | CL                |
| CTI                     | P                      | O                     | GR, P                       | CT                |
| Inedit                  | P                      | O                     | G                           | CL                |
| ready2LOOP              | U                      | O                     | GR                          | CL                |
| MCI                     | P                      | E                     | G                           | CT                |
| TECNUN                  | U                      | O                     | G                           | CL                |
| CEADS                   | P                      | E                     | G                           | CL                |

<sup>1</sup>Propiedad: P (empresa privada u ONG), U (Universidad)

<sup>2</sup>Interfaz: O (online), E (excel).

<sup>3</sup>Disponibilidad: G (gratuita), GR (gratuita con registro previo), P (pago)

<sup>4</sup>Tipo: CL (cualitativa), CT (cuantitativa)

<sup>5</sup>ED (en desarrollo, por lo que algunas características aún no han sido definidas).

Respecto a las herramientas cuantitativas se observó que cada una de ellas incluye diferentes áreas y aspectos, y no todas incluyen un indicador de EC global o total. Además, se hallaron diferencias en la información disponible sobre cada método de cálculo, y para aquellas donde estaban disponibles los datos se observó que la forma en que se calculan los indicadores es diferente. En este sentido, se concluyó que CTI es la más transparente seguida por MCI, y que Circulytics no brinda ninguna información sobre cómo se obtienen los diferentes indicadores.

A partir de la repercusión de estas metodologías se concluyó que las dos más usadas con Circulytics y CTI, ambas cuantitativas. La primera, mide los aspectos que permiten la transformación de toda la empresa hacia una EC, tales como la importancia estratégica de la EC y la capacidad de innovar en EC y los resultados que produce la EC en la organización sobre flujos de agua, energía y materiales de los procesos de producción, diseño de productos y servicios, la adquisición y el desmantelamiento de activos de propiedad, planta y equipos de la misma. Para lograr esto, la metodología incluye un conjunto único de indicadores para cada tipo de organizaciones según si producen productos, servicios, proveen energía o son instituciones financieras. El resultado final se obtiene a través de una suma ponderada de los resultados de los diferentes indicadores según un esquema ad hoc que permite comparar organizaciones del mismo sector. La segunda, se basa en una evaluación de los flujos de materiales dentro de los límites de la empresa, en combinación con indicadores adicionales sobre la eficiencia y eficacia de los recursos, y sobre el valor agregado generado por el negocio circular desarrollado. Esta herramienta utiliza una serie de indicadores estandarizados, por lo que, es menos flexible que la anterior y no incluye proceso de agregación de resultados, lo que hace que se oriente a la toma de decisiones internas de la organización.

El análisis de las metodologías presentado permitió concluir que, si bien ha habido un aumento apreciable en el interés sobre las metodologías y herramientas de evaluación de circularidad en organizaciones por parte de investigadores, profesionales y formuladores de políticas, existe una falta de estandarización, unicidad y uniformidad. Como consecuencia, son pocas las organizaciones que efectivamente utilizan las metodologías y herramientas de circularidad en sus actividades diarias (Lindgreen et al., 2020).

### **2.1.2. Indicadores para evaluación de circularidad**

Los indicadores para evaluar circularidad en OI fueron estudiados específicamente en este apartado porque pueden ser utilizados por separado, sin necesidad de aplicar una metodología completa de evaluación de circularidad. Además, la selección de los mismos constituye uno de los principales desafíos al evaluar la circularidad dentro de organizaciones (Moraga et al., 2019).

La revisión de antecedentes llevó al análisis de dos publicaciones de interés: los indicadores identificados por Valls-Val et al. (2022) y Vinante et al. (2022)

Valls-Val et al. (2022) estudiaron los indicadores cuantitativos de tres metodologías de evaluación de circularidad de organizaciones (**Tabla 2.2**). Como resultado, hallaron que las tres metodologías utilizan diferentes indicadores y para los indicadores comunes se utilizan fórmulas y escalas también diferentes.

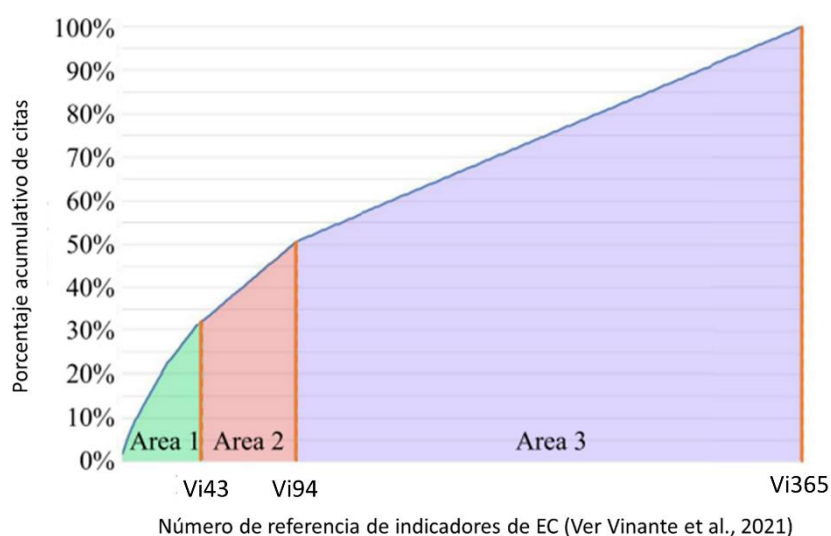


**Tabla 2.2** Indicadores cuantitativos de circularidad en OI.

Fuente: Adaptado de Valls-Val et al. (2022)

| Indicadores                            | CTI  | Circulytics | MCI  |
|--|------|-------------|------|
| Indicador general                      |      | Ci1         | MCI1 |
| Activos de planta, propiedad y equipos |      | Ci2         |      |
| Ingresos circulares                    | CTI1 |             |      |
| Productividad circular del material    | CTI2 | Ci3         |      |
| Recirculación de agua in situ          | CTI3 |             |      |
| Entradas críticas                      | CTI4 |             |      |
| Circularidad de agua                   | CTI5 | Ci4         |      |
| Energía renovable                      | CTI6 | Ci5         |      |
| Servicios                              |      | Ci6         |      |
| Índice de circularidad                 | CTI7 | Ci7         | MCI2 |
| Salidas circulares                     | CTI8 |             |      |
| Entradas circulares                    | CTI9 |             |      |

Vinante et al. (2021) realizaron una revisión sistemática de 130 documentos pertenecientes a la literatura científica y profesional e identificaron 365 indicadores solo para nivel micro (productos y organizaciones). Un análisis a partir del diagrama de Pareto permitió clasificar los indicadores en tres grupos según la cantidad de veces que han sido utilizados (**Figura 2.1**).



**Figura 2.1** Distribución acumulada de indicadores de EC según número de veces utilizadas

Fuente: Extraído de Vinante et al. (2021)

En el primer grupo se incluyeron 43 indicadores (el 12% del total) que han sido utilizadas en el 32% de referencias. En la **Tabla 2.3** se listan esos indicadores en orden descendente según la cantidad de veces que han sido empleados.

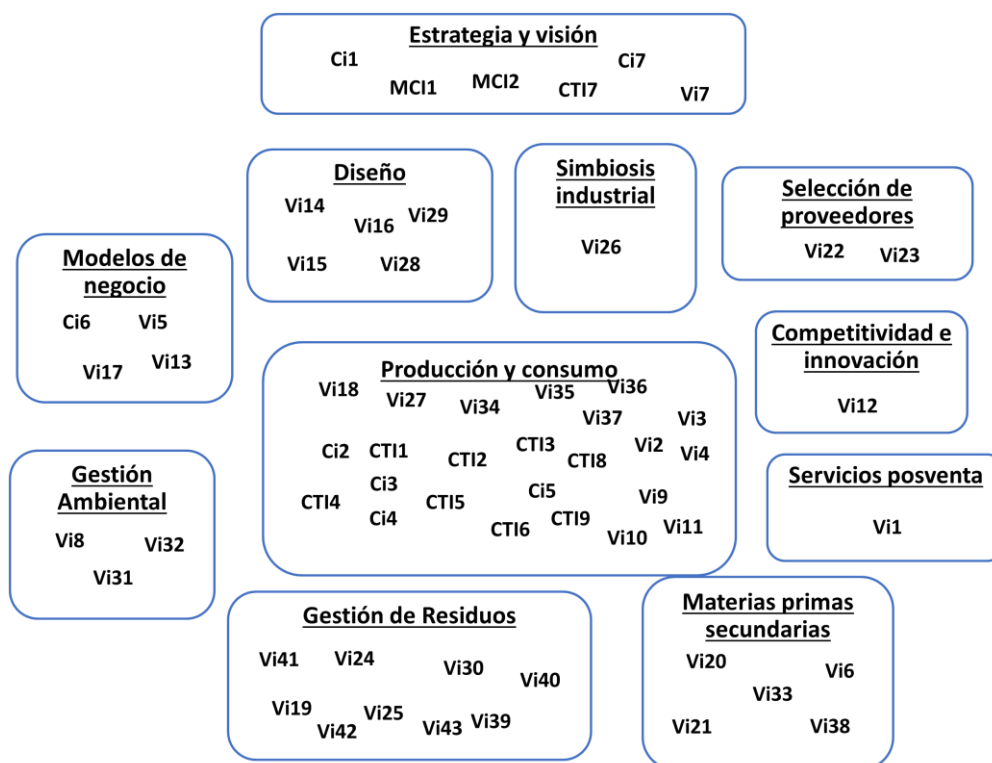
**Tabla 2.3** Indicadores de EC más utilizados.*Fuente: Adaptado de Vinante et al. (2021)*

| <b>Indicador</b>  |
|---|
| Vi1 Grado en que la empresa/unidad de negocio estableció sistemas de devolución de productos después de su uso (logística Inversa)  |
| Vi2 Consumo total de materiales   |
| Vi3 Huella de carbono (Emisiones de CO2)  |
| Vi4 Reducción de consumo de materiales  |
| Vi5 Grado en que la empresa ha implementado/incursionado en el uso de modelos de negocio de leasing o alquiler  |
| Vi6 Contenido de material y componentes reciclados en productos   |
| Vi7 Grado en que la economía circular se incorpora a las estrategias corporativas   |
| Vi8 Certificación de sistemas de gestión ambiental  |
| Vi9 Productividad energética (Ingresos/consumo de energía)  |
| Vi10 Grado en que la energía eléctrica consumida es renovable   |
| Vi11 Consumo total de energía eléctrica   |
| Vi12 Grado en que la empresa se ha comprometido con las iniciativas de Economía Circular y ha asignado recursos   |
| Vi13 Grado en que la empresa adopta iniciativas de extensión de la vida útil del producto (reparación, reutilización, garantía, etc.)   |
| Vi14 Grado en que la empresa participa activamente en el diseño de productos reciclables y reutilizables  |
| Vi15 Grado en que los productos están diseñados para reducir el consumo de material/energía   |
| Vi16 Grado en que los productos están diseñados para la minimización de residuos  |
| Vi17 Longevidad (vida útil en meses considerando la suma de uso, reutilización y reciclaje)   |
| Vi18 Consumo total de agua  |
| Vi19 Cantidad de residuos reciclados y reutilizados   |
| Vi20 Grado en que la empresa participa activamente en el uso de materiales recuperados  |
| Vi21 Porcentaje de materiales reciclados o reutilizados   |
| Vi22 Grado en que la selección de proveedores se basa en el desempeño de CE   |
| Vi23 Presencia de criterios ambientales de compra en la selección de proveedores  |
| Vi24 Emisiones de GEI   |
| Vi25 Cantidad total de residuos generados   |
| Vi26 Colaboración con socios externos   |
| Vi27 Ratio valor eco-costo (EVR). Costos de reducir el daño ambiental sobre el precio del producto  |
| Vi28 Grado en que se llevan a cabo iniciativas de “envases verdes”  |
| Vi29 Grado en que se implementa la innovación ambiental en el diseño de productos y servicios sostenibles, con el fin de extender su ciclo de vida y facilitar su recuperación en el futuro |
| Vi30 Grado en que se implementan los planes de reducción de residuos  |
| Vi31 Presencia de informes de actividad sobre gestión ambiental   |
| Vi32 Presencia de sistema de gestión ambiental  |
| Vi33 Grado en que la empresa participa activamente en la compra/uso de materiales que se regeneran o reciclan   |
| Vi34 Consumo de energía por valor unitario de salida  |
| Vi35 Grado en que la empresa trabaja en la reducción del consumo energético   |
| Vi36 Reducción del consumo de energía   |
| Vi37 Consumo específico de agua   |
| Vi38 Grado en que se adopta el uso en cascada de materiales y componentes   |
| Vi39 Porcentaje de residuos recogidos para su reutilización y reciclaje   |
| Vi40 Total de aguas residuales vertidas   |
| Vi41 Cantidad de residuos sólidos generados   |
| Vi42 Cantidad de residuos desviados del vertedero   |
| Vi43 Cantidad total de residuos sólidos industriales para disposición final   |

Respecto al tipo de indicadores (cualitativos, cuantitativos ordinales, cuantitativos continuos), Vinante et al. (2021) identificaron un predominio de métricas continuas. Estos resultados se condicen con el interés de otros autores en el uso de evaluaciones cuantitativas en el marco de la EC (Pauliuk, 2018). Además, el uso de datos continuos permite cuantificar objetivamente cambios en determinado indicador (Ahmad et al., 2019). A pesar de lo anterior, Valls-Val et al.

(2022) concluyeron que es preferible el uso combinado de indicadores cualitativos y cuantitativos para reflejar con mayor exactitud los diferentes aspectos que incluye la implementación de la EC a nivel organización.

Con el objeto de ordenar la gran cantidad de indicadores identificados se agruparon aquellos que evaluaban aspectos similares dentro de la EC (**Figura 2.2**). Las categorías surgieron a partir de la temática de los indicadores y resultaron concordantes con las categorías seleccionadas por otros autores para la evaluación de EC. Las categorías de producción y consumo, gestión de residuos, materias primas secundarias y competitividad e innovación son las utilizadas por la Unión Europea para monitorear el progreso en EC de los países y ciudades (EUROSTAT, 2021). Modelos de negocio circulares es la categoría desarrollada por la normativa de Reino Unido para guiar la acción de organizaciones en su camino a la EC (BSI, 2017). Las demás categorías fueron propuestas por Vinante et al. (2021) para evaluar cadenas de valor circulares. La mayor parte de los indicadores corresponden a la categoría producción y consumo y las siguientes categorías de importancia son gestión de residuos, materias primas secundarias, estrategia y visión y diseño. Las demás categorías, aunque incluyen pocos indicadores, son necesarias para representar todos los aspectos de la EC.



Vi son indicadores provenientes de Vinante et al., (2021) (Tabla 2.4)  
 CTI son indicadores de la metodología CTi (Tabla 2.3)  
 Ci son indicadores de la metodología Circulytics (Tabla 2.3)  
 CTI son indicadores de la metodología MCI (Tabla 2.3)

**Figura 2.2** Clasificación de indicadores de EC en categorías.  
 Fuente: Elaboración propia

El estudio de indicadores de EC, llevó a concluir que existe gran variabilidad y falta de consenso en los indicadores utilizados para evaluar circularidad de organizaciones. A pesar de esta variabilidad, fue posible identificar los que forman parte de cada metodología y los más usados en los antecedentes científicos. Así se obtuvo un conjunto de más de 60 indicadores cualitativos y cuantitativos utilizados para evaluar los diferentes aspectos de la EC en OI. Los mismos fueron

agrupados según sus características en once categorías (**Figura 2.2**). Este conjunto de indicadores puede ser empleado para conocer la situación actual de una OI en cuanto a su desempeño circular, es decir obtener un diagnóstico inicial de la OI, así como comparar los efectos sobre la circularidad de una OI de diferentes estrategias.

## 2.2. Estrategias de Economía Circular en Organizaciones Industriales

Los antecedentes identificados respecto a estrategias de EC en OI pueden clasificarse según antecedentes normativos y publicaciones científicas. A nivel de regulación o normativa solo se identificaron avances en Europa. El estándar BS 8001 (BSI, 2017) presenta un marco para guiar a las organizaciones en la transición a la EC y proporciona una lista de principios rectores genéricos. Este estándar alienta a las organizaciones a expandir y adaptar el listado a sus necesidades. El plan de acción de EC de la Unión Europea (European Commission, 2020) también ha desarrollado esta temática, listando posibles estrategias a ser implementadas por la industria. A nivel de investigaciones científicas se identificaron los antecedentes listados en la **Tabla 2.4**.

**Tabla 2.4** Antecedentes para estrategias de EC en OI.

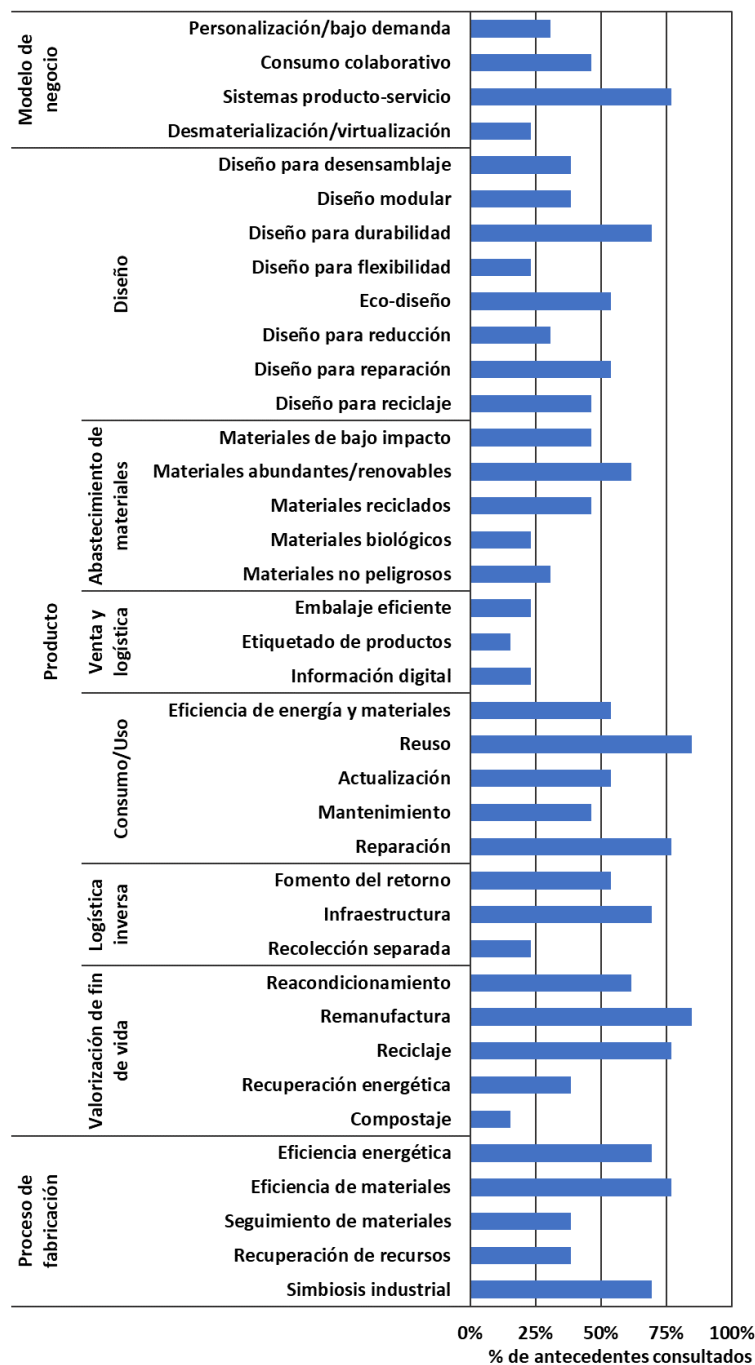
*Fuente: Elaboración propia*

| Referencia                            | Descripción   |
|---------------------------------------|---|
| (Kalmykova et al., 2018)              | Construcción de una base de datos de estrategias de EC a partir de una revisión de 100 casos de estudio   |
| (Lopes de Sousa Jabbour et al., 2019) | Identificación de estrategias de EC para toma de decisiones en gestión de operaciones y modelos de negocio de organizaciones a partir de revisión de 214 antecedentes |
| (Acerbi and Taisch, 2020)             | Identificación de estrategias de fabricación circular para el sector industrial a partir de la revisión de 214 antecedentes   |
| (Diaz et al., 2021)                   | Identificación de estrategias de retención de valor en la operación de organizaciones a partir de la revisión de 59 antecedentes                                      |
| (Elia et al., 2020)                   | Análisis empírico de 98 organizaciones para identificar la adopción de estrategias de EC en cadenas de valor industriales   |
| (Ertz et al., 2019)                   | Metodología y caso de estudio de clasificación de modelos de negocio circulares para organizaciones   |
| (Herczeg et al., 2018)                | Análisis de estrategias de redes de simbiosis industrial y colaboración en la cadena de suministro en organizaciones para lograr una EC                               |
| (Jørgensen and Remmen, 2018)          | Desarrollo de enfoque metodológico para implementar opciones de EC en organizaciones  |
| (Kowalski and Makara, 2021)           | Desarrollo de modelo de EC para organización industrial del sector agro-alimentario   |
| (Kristensen et al., 2021)             | Análisis de integración de estrategias de EC en sistemas de gestión ambiental en organizaciones   |
| (Svensson and Funck, 2019)            | Análisis empírico de implementación de estrategias de EC en organización industrial para el desarrollo de modelos de negocio circulares                               |
| (Sousa-Zomer et al., 2018)            | Identificación de estrategias de EC a partir de estrategias de producción más limpia en caso de estudio de organización industrial                                    |
| (Trigkas et al., 2020)                | Identificación de estrategias de EC a través del análisis de 200 organizaciones en Grecia   |
| (Chowdhury et al., 2022)              | Análisis de los efectos de factores organizacionales en la implementación de estrategias de EC en PyMES de Vietnam a partir de más de 200 encuestas.                  |
| (Geronazzo et al., 2021)              | Propuesta de marco de evaluación de transición circular de organizaciones.  |
| (Lahane and Kant, 2022)               | Metodología para analizar la mejora en los ODS a partir de la incorporación de prácticas de EC en cadenas de suministro   |
| (Nudurupati et al., 2022)             | Análisis de adopción de EC en doce casos de estudio de PyMES de India   |

Los antecedentes más antiguos corresponden a 2018, por lo que se concluye que el concepto de las estrategias de EC en OI es relativamente nuevo y se encuentra en desarrollo. De hecho, no todas las referencias utilizan la palabra “estrategia”. Algunas de estas referencias utilizan los términos “innovaciones”, “iniciativas” o “mejoras” de EC. En la presente tesis se utiliza el término estrategias de EC como sinónimo de los anteriores.

A partir de un análisis exploratorio de los antecedentes se identificaron las estrategias de EC que pueden ser aplicadas en cualquier organización sin importar su tamaño o actividad (**Figura 2.3**). Desde el punto de vista práctico, las organizaciones pueden abordar la EC de tres maneras: primero, mediante la innovación en su modelo empresarial; segundo, mediante la innovación en los productos; y, tercero, mediante la innovación en sus procesos de fabricación (Pauliuk, 2018). A su vez las innovaciones del producto se pueden clasificar según la etapa del ciclo de vida del mismo en la cual se producen. Esta clasificación se utilizó para ordenar las estrategias incluidas en la **Figura 2.3**, lo cual, permitió identificar 38 estrategias de EC para OI. La mayor parte de ellas se orientan en la aplicación de conceptos de EC en los productos de las organizaciones, aunque también se identificaron estrategias orientadas al modelo de negocio y a los procesos de las mismas. Las estrategias que han sido empleadas en más del 75% de los antecedentes son: modelos de negocio de sistemas producto-servicio, reutilización, remanufactura y reparación de productos y eficiencia de materiales en la fabricación. Las que han sido consideradas en más del 50% de los antecedentes son: diseño para durabilidad, ecodiseño, diseño para la reparación, uso de materiales abundantes o renovables, eficiencia energética y de materiales y actualizaciones en el uso de productos, fomento del retorno e infraestructura para la logística inversa, reacondicionamiento de productos, eficiencia energética en el proceso de fabricación y simbiosis industrial. Estas son las estrategias más comunes de EC. La estrategia de etiquetado de productos y compostaje fueron las menos utilizadas con dos antecedentes cada una.

Sin embargo, es de señalar que todas las estrategias de la **Figura 2.3** son importantes por dos razones. En primer lugar, porque los antecedentes utilizados para su confección son en su mayoría revisiones que ya incluyen el estudio de gran cantidad de referencias y son, por lo tanto, representativas del conocimiento actual del tema. En segundo lugar, debido a que la EC comprende conceptos diferentes entre ellos y, por lo tanto, las estrategias de EC para OI también son muy variadas y numerosas. Finalmente, se concluye que el listado obtenido en **Figura 2.3** puede ser empleado como una base para las organizaciones que deseen transitar hacia la EC, aunque no debe considerarse como exhaustivo. La EC se encuentra en pleno desarrollo y transformación, y dependiendo la actividad y contexto de cada organización se pueden incorporar nuevas estrategias.



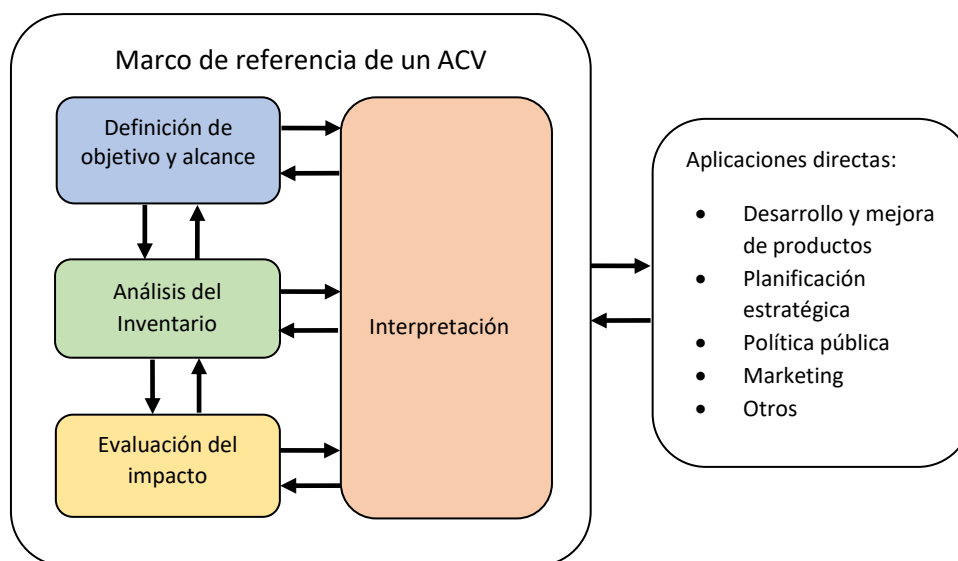
**Figura 2.3** Estrategias de EC para OI.  
Fuente: *Elaboración propia*

## 2.3. Análisis de la sostenibilidad del ciclo de vida (ASCV)

### 2.3.1. Evolución del concepto y marco normativo

El enfoque de ciclo de vida proporciona un marco integral y sistemático para evaluar los efectos ambientales de las estrategias de EC (Elia et al., 2017) y gestionar los procesos y aspectos más críticos (Peña et al., 2021).

Una de sus técnicas con mayores antecedentes, el análisis del ciclo de vida (ACV), se define como “un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y la disposición final” (ISO, 2006a, 2006b). Las etapas que conforman el ACV y la relación entre ellas se aprecia en la **Figura 2.4**.



**Figura 2.4** Etapas de ACV.

Fuente: Extraído de ISO (2006a)

El ACV se ha ampliado durante los últimos años hasta derivar en nuevas técnicas que permiten evaluar diferentes objetivos y otras dimensiones del desarrollo sostenible.

El análisis de sostenibilidad de ciclo de vida (ASCV) permite la evaluación de impactos ambientales, económicos y sociales positivos y negativos de un producto a lo largo de su ciclo de vida sobre las distintas etapas de la cadena de valor (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011). El marco metodológico para ASCV fue propuesto por Klöpffer and Renner (2008) **(Ecuación 2.1)**

$$(ASCV) = (ACV) + (CCV) + (ACV-S) \quad (2.1)$$

Este enfoque se basa en la integración de tres técnicas: evaluación del ciclo de vida ambiental (ACV) (ISO, 2006a, 2006b) para la perspectiva ambiental, coste de ciclo de vida (CCV) (Hunkeler et al., 2008; Swarr et al., 2011) para la perspectiva económica, y análisis de ciclo de vida social (ACV-S) (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2009; UNEP, 2020) para la perspectiva social.

El CCV es la evaluación de todos los costos asociados con el ciclo de vida de un producto que están directamente cubiertos por uno o más de los actores en el ciclo de vida del producto (Hunkeler et al., 2008). Existen tres tipos de evaluación económica bajo el concepto de ciclo de vida: CCV convencional, ambiental y social. La comunidad científica ha logrado alcanzar en un acuerdo general respecto a que el CCV ambiental es el más adecuado para ser empleado dentro

de ASCV (Guinée, 2016; Hunkeler et al., 2008). En la presente tesis se utilizan las siglas CCV en referencia al enfoque ambiental de CCV.

ACV-S se define como la evaluación de impactos sociales de productos a lo largo de su ciclo de vida y ofrece un marco de evaluación sistemático que combina datos cuantitativos y cualitativos. Proporciona información sobre aspectos sociales y socioeconómicos para la toma de decisiones, en la perspectiva de mejorar el desempeño social de una organización y, en última instancia, el bienestar de las partes interesadas (UNEP, 2020).

Los beneficios del enfoque de ciclo de vida aplicado a productos y servicios pueden extenderse para evaluar organizaciones (Finkbeiner and König, 2013; Wafa et al., 2022). La **Tabla 2.5** resume los antecedentes metodológicos que sientan las bases para evaluar organizaciones desde el punto de vista de sostenibilidad bajo perspectiva de ciclo de vida. En los próximos apartados se presenta el marco teórico de ASCV, ACV-O y ACV-SO (en color gris en **Tabla 2.5**). Las técnicas ACV, CCV y ACV-S no fueron analizadas por separado en la presente tesis por estar orientadas a la evaluación productos y servicios, y por estar incluidas en ASCV. Los campos restantes corresponden a CCV-O y ASCV-O (en color rojo en **Tabla 2.5**) que aún no han sido desarrollados y serán objeto de estudio en la presente tesis.

**Tabla 2.5** Derivaciones de ACV.

*Fuente: Elaboración propia*

| Objetivo de la evaluación | Dimensiones  |   |   |   |
|---------------------------|--|---|---|---|
|                           | Ambiental  | Económica   | Social  | Sostenibilidad  |
| Productos-servicios       | Análisis del ciclo de vida (ACV)                     | Coste de ciclo de vida (CCV)  | Análisis de ciclo de vida social (ACV-S)                      | Análisis de sostenibilidad de ciclo de vida (ASCV)  |
| Organizaciones            | Análisis del ciclo de vida de organizaciones (ACV-O) | + Coste de ciclo de vida de organizaciones (CCV-O)<br>Aún no desarrollado | + Análisis de ciclo de vida social de organizaciones (ACV-SO) | = Análisis de sostenibilidad de ciclo de vida de organizaciones (ASCV-O)<br>Aún no desarrollado |

La primera guía de referencia de ASCV publicada por UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2011) incluye instrucciones sobre cómo realizar estudios de sostenibilidad y presenta ejemplos de aplicación. Desde entonces, se ha publicado un número creciente de artículos sobre metodología y estudios de casos. Sin embargo algunos aspectos metodológicos como, el alcance, indicadores y métodos de evaluación de impactos del ASCV aún están en discusión (Guinée, 2016; Hannouf and Assefa, 2018; Zamagni et al., 2013).

### 2.3.2 Casos de estudio de ASCV

Durante los últimos años se han publicado revisiones centradas en explorar desarrollos recientes y aplicaciones de la técnica ASCV desde diferentes perspectivas (Costa et al., 2019; Fauzi et al., 2019; Pieroni et al., 2019; Silva et al., 2019; Thies et al., 2019; Wulf et al., 2019). El análisis de los resultados y limitaciones de estos estudios permitió concluir que es necesario realizar un análisis detallado y exhaustivo de cómo se ha aplicado la técnica ASCV en casos de estudio, identificar las mejores prácticas y desafíos, y desarrollar una base consistente para futuras aplicaciones.

Se realizó una revisión sistemática y exhaustiva de más de un centenar de casos de estudio de ASCV la cual fue publicada (Alejandrino et al., 2021) y posteriormente actualizada a 2022 para la presente tesis. Los casos de estudio consultados se presentan en **Tabla 2.6**. Se observó que la



mayor parte de los antecedentes analizaron sistemas y productos y unos pocos se centraron en procesos. No se identificó ningún antecedente que analizara organizaciones.

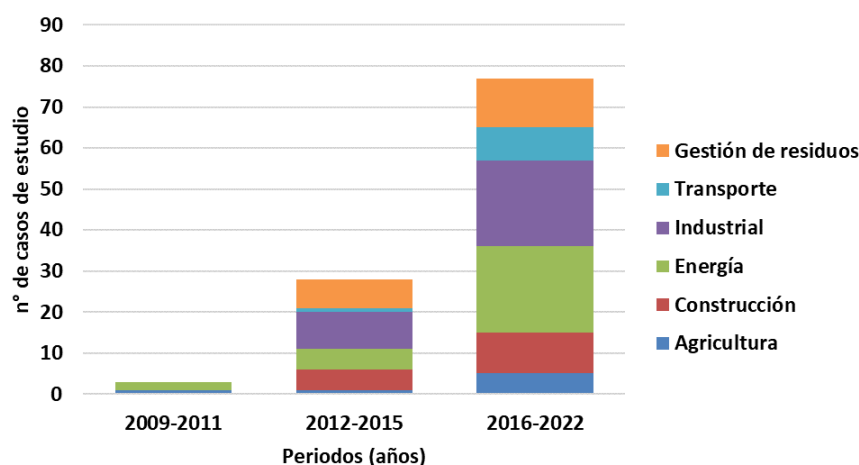
**Tabla 2.6** Referencias de casos de estudio de ASCV.

*Fuente: Elaboración propia*

| Objeto de estudio              |                                |                                 |                         |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Producto                       | Sistema                        |                                 | Proceso                 |
| (Ghadimi et al., 2012)         | (Roth et al., 2009)            | (Akber et al., 2017)            | (Keller et al., 2015)   |
| (Traverso et al., 2012a)       | (Moriizumi et al., 2010)       | (Hake et al., 2017)             | (Xu et al., 2017)       |
| (Traverso et al., 2012b)       | (Dorini et al., 2011)          | (Iacovidou et al., 2017b)       | (Marendra et al., 2019) |
| (Ostermeyer et al., 2013)      | (Manzardo et al., 2012)        | (Ren et al., 2017)              | (Blundo et al., 2019)   |
| (Valdivia et al., 2013)        | (Menikpura et al., 2012)       | (Barros et al., 2018)           |                         |
| (Akhtar et al., 2014)          | (Nzila et al., 2012)           | (Kouloumpis and Azapagic, 2018) |                         |
| (Cihat Onat et al., 2014)      | (Stamford and Azapagic, 2012)  | (Ren and Toniolo, 2018)         |                         |
| (Kucukvar et al., 2014)        | (Foolmaun and Ramjeawon, 2013) | (Wang et al., 2018)             |                         |
| (Martínez-Blanco et al., 2014) | (Myllyviita et al., 2013)      | (Wulf et al., 2018)             |                         |
| (Hossaini et al., 2014)        | (Rochat et al., 2013)          | (Zajáros et al., 2018)          |                         |
| (Peukert et al., 2015)         | (Vinyes et al., 2013)          | (Cihat Onat et al., 2016c)      |                         |
| (Dong and Ng, 2016)            | (Dhouib, 2014)                 | (De Luca et al., 2018)          |                         |
| (Feng and Mai, 2015)           | (Lu et al., 2014)              | (Moslehi and Reddy, 2019)       |                         |
| (Gencturk et al., 2016)        | (Stamford and Azapagic, 2014)  | (Opher, 2019)                   |                         |
| (Gumus et al., 2016)           | (Ma and Okudan, 2015)          | (Risse et al., 2019)            |                         |
| (Hapuwatte et al., 2016)       | (Ren et al., 2015)             | (Valente et al., 2019)          |                         |
| (Helbig et al., 2016)          | (Ren et al., 2016)             | (Yildiz-Geyhan et al., 2019)    |                         |
| (Huang and Mauerhofer, 2016)   | (Yu and Halog, 2015)           | (Zhou et al., 2019)             |                         |
| (Kempen et al., 2017)          | (Atilgan and Azapagic, 2016)   | (Corona and San Miguel, 2019)   |                         |
| (Touceda et al., 2018)         | (Azapagic et al., 2016)        | (Guo et al., 2019)              |                         |
| (Gemechu et al., 2017)         | (Aziz et al., 2016)            | (Nieder-heitmann et al., 2019)  |                         |
| (Hannouf and Assefa, 2017)     | (Galán-martín et al., 2016)    | (Vogt et al., 2019)             |                         |
| (Kim and Moon, 2017)           | (Kalbar et al., 2016)          | (Florindo et al., 2020)         |                         |
| (Li et al., 2017)              | (Pashaei Kamali et al., 2017)  | (Sadhukhan et al., 2021)        |                         |
| (Pask et al., 2017)            | (Luu and Halog, 2016)          | (Ben Hnich et al., 2021)        |                         |
| (Schmitt et al., 2017)         | (Moslehi and Arababadi, 2016)  | (Backes et al., 2021)           |                         |
| (Wang et al., 2017)            | (Pizzirani et al., 2018)       | (Popien et al., 2022)           |                         |
| (Wulf et al., 2018)            | (Sou et al., 2016)             |                                 |                         |
| (Balasbaneh et al., 2018)      | (Volkart et al., 2016)         |                                 |                         |
| (Chen and Holden, 2018)        | (Cihat Onat et al., 2016a)     |                                 |                         |
| (Ekener et al., 2018)          | (Cihat Onat et al., 2016b)     |                                 |                         |
| (Li et al., 2018)              |                                |                                 |                         |
| (Sánchez Berriel et al., 2018) |                                |                                 |                         |
| (Hall, 2019)                   |                                |                                 |                         |
| (Hoque et al., 2019)           |                                |                                 |                         |
| (Janjua et al., 2019)          |                                |                                 |                         |
| (Mahbub et al., 2019)          |                                |                                 |                         |
| (Zheng et al., 2019)           |                                |                                 |                         |
| (Liu and Qian, 2019)           |                                |                                 |                         |
| (Wang et al., 2019)            |                                |                                 |                         |
| (Figueiredo et al., 2021)      |                                |                                 |                         |
| (Masilela and Pradhan, 2021)   |                                |                                 |                         |
| (Al-Yafei et al., 2022)        |                                |                                 |                         |
| (Elagouz et al., 2022)         |                                |                                 |                         |

En la **Figura 2.5** se presentan los casos según el año y sector. Se observan tres períodos claramente definidos (2009-2011, 2012-2015 y 2016-2022). El primer período comienza después de la primer definición de ASCV (Klöppfer and Renner, 2008) y se caracteriza por poco antecedentes. El segundo período surge luego de la publicación de la primer guía de ASCV (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011) y tiene un aumento importante de casos y una diversificación de sectores. En el último período identificado el aumento de casos y sectores se

mantiene. De hecho, Guinée (2016) definió que ese año estaba teniendo lugar la “era de ASCV”. Se concluye que la cantidad y calidad de casos de estudio han mostrado un aumento significativo y la comunidad científica ya reconoce la importancia y utilidad del ASCV.



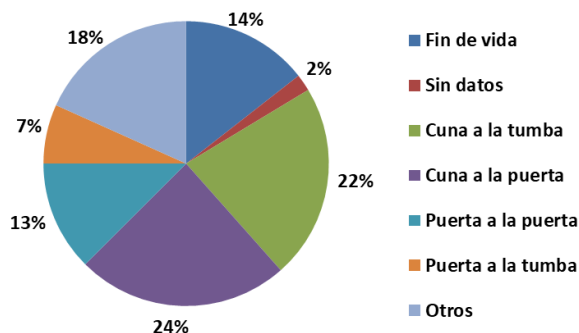
**Figura 2.5** Evolución temporal de casos de estudio ASCV.

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.1.1. Objetivo y alcance del ASCV

El principal objetivo de los estudios analizados fue la comparación de alternativas (81%), seguido por la obtención de una “foto instantánea” de la situación actual (13%) y finalmente, la identificación de puntos ambientalmente críticos (6%). Solo un artículo tuvo por objetivo comparar diferentes enfoques y alcances de ASCV para un mismo caso de estudio (Chen and Holden, 2018). Es importante destacar que el objetivo de ASCV debe ser común entre las tres dimensiones en consideración (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011).

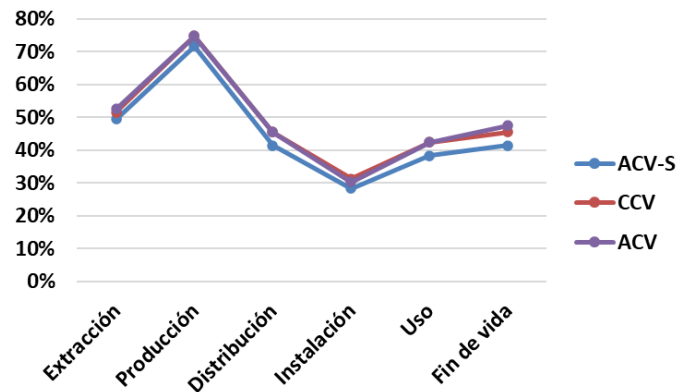
Los límites del sistema generalmente se clasifican de acuerdo con las etapas del ciclo de vida que se incluyen. Los sistemas "de la cuna a la tumba" incluyen todas las etapas del ciclo de vida, "de la cuna a la puerta" dejan fuera del alcance las etapas de uso y gestión del final de la vida útil y "de la puerta a la tumba" dejan fuera la extracción de materias primas y la producción de insumos. Otros enfoques son "puerta a puerta" que solo tiene en cuenta las actividades dentro de las puertas de las instalaciones y "fin de vida" solo considera actividades de gestión como disposición final, reciclaje, renovación o valorización energética, por nombrar algunas. En la **Figura 2.6** es posible identificar que "de la cuna a la puerta" y "de la cuna a la tumba" son los más aplicados, seguidos por "otros" y "fin de vida".



**Figura 2.6** Límites del sistema de casos de estudio ASCV.

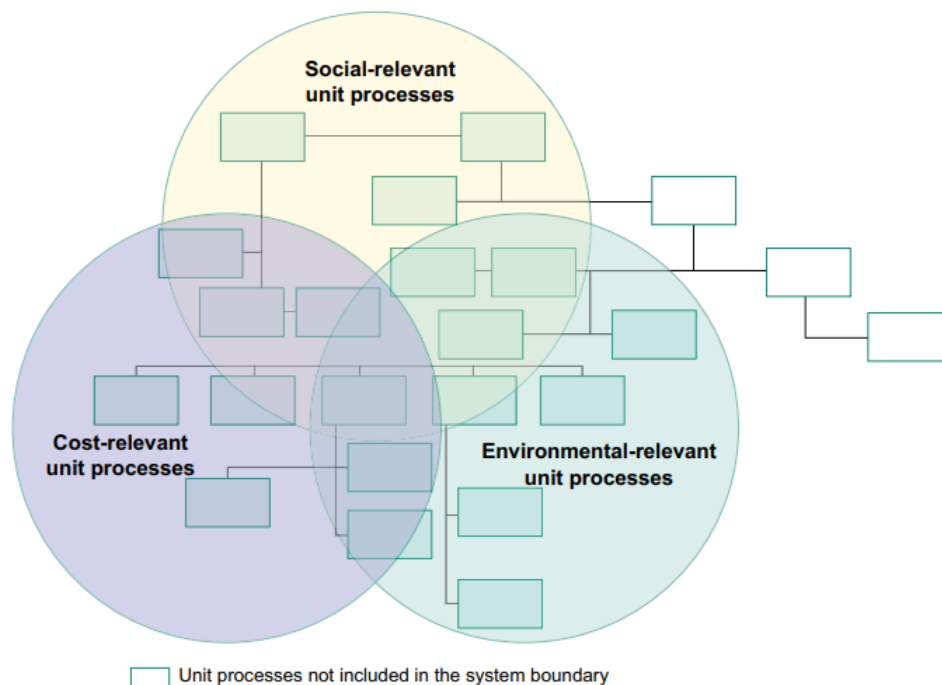
*Fuente: Elaboración propia*

La mayor parte de los casos de estudio utilizaron el mismo alcance para las tres dimensiones tal como se aprecia en la **Figura 2.7**. Sin embargo, ocho artículos expresan que utilizaron diferentes alcances entre los análisis ambientales, económicos y sociales. Martínez-Blanco et al. (2014) recomiendan utilizar límites consistentes (no necesariamente idénticos) entre las tres dimensiones, por lo que pueden existir diferencias justificadas.



**Figura 2.7** Etapas de ciclo de vida de casos de estudio ASCV en cada dimensión.  
Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, según UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2011) los límites deben incluir todos los procesos relevantes para al menos una de las tres dimensiones en análisis (**Figura 2.8**).



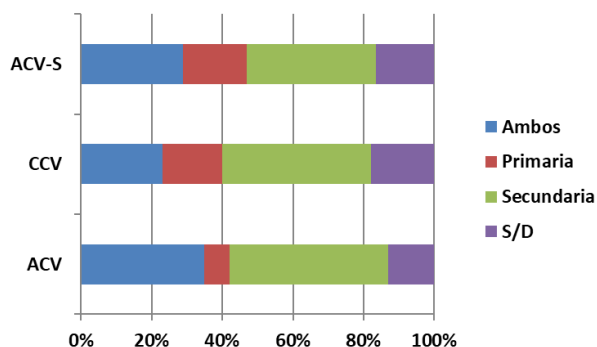
**Figura 2.8** Límites del sistema para ASCV.  
Fuente: Extraído de (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011)

En ASCV no solo deben identificarse las etapas del ciclo de vida dentro del alcance sino también las partes interesadas<sup>1</sup>. Algunas partes interesadas susceptibles a ser impactadas son: trabajadores, comunidad local, actores de la cadena de valor (proveedores y competidores), consumidores y sociedad (UNEP, 2020). En los casos de estudio se encontraron dificultades en la identificación de las partes interesadas consideradas para la evaluación económica y social. En algunos casos no se consideraron a todos los actores de la cadena de valor con lo cual se dejaron de lado ciertas etapas del ciclo de vida. Por ejemplo, si no se considera el impacto sobre el cliente, indirectamente se está excluyendo la etapa de uso del producto. Fauzi et al. (2019) también identificaron estas cuestiones. La selección de límites del sistema “de la cuna a la puerta” simplifica esta situación al eliminar las etapas de distribución, instalación, uso y de fin de vida. De hecho, estas etapas son las menos utilizadas tal como se aprecia en la **Figura 2.7**.

Alrededor del 30% de los casos de estudio no especificaron la unidad funcional considerada. Esto puede explicarse porque la unidad funcional es uno de los problemas más significativos, dado que la asignación de impactos sociales a una unidad funcional (por ejemplo: X cantidad de producto) suele ser problemática. El enfoque organizacional soluciona este problema ya que no requiere unidad funcional.

### 2.3.1.2. Inventario del ASCV

El inventario de un ASCV puede incluir datos cuantitativos, semicuantitativos y cualitativos (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011), por esta razón una buena práctica es desarrollar tres inventarios separados (uno para cada dimensión) pero consistentes (Thies et al., 2019). Se analizó la fuente de datos empleada en los inventarios de cada estudio (**Figura 2.9**). Se identificó que para los inventarios económico y social los estudios emplean mayor cantidad de datos primarios que para el inventario ambiental. Esto se explica porque las bases de datos de inventario comerciales sociales y económicas aún son inmaduras.



**Figura 2.9** Fuentes de datos de casos de estudio ASCV.  
Fuente: *Elaboración propia*

### 2.3.1.3. Métodos de evaluación de impacto e indicadores de ASCV

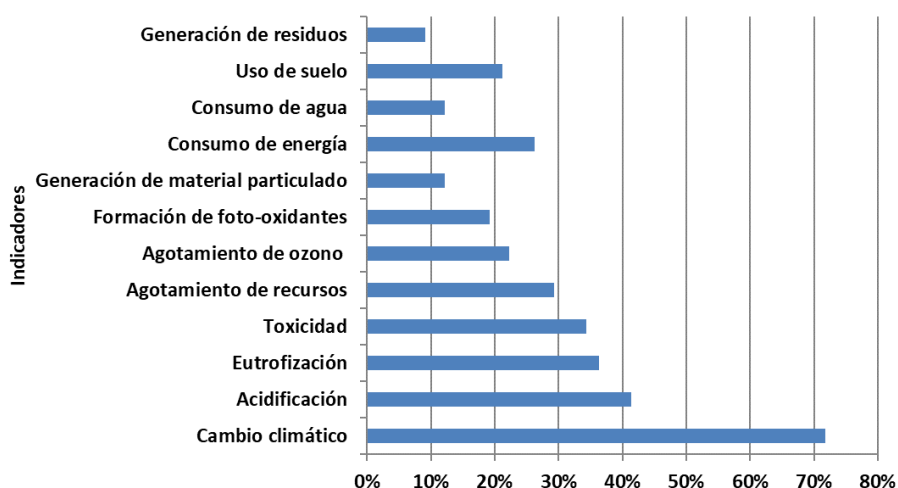
En ASCV conviven todos los indicadores y métodos de evaluación de impacto relevantes desde una perspectiva multidisciplinaria, multidimensional, intergeneracional y geográfica

<sup>1</sup> Aunque en CCV se utiliza la palabra “erogador de costos” y en ACV-S “parte interesada”, en la presente tesis se utiliza la última para incluir todos los actores de la cadena de valor que pueden verse afectados por impactos sociales o económicos.

(UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011). Los métodos e indicadores utilizados para cada dimensión en los casos de estudio se analizan a continuación.

### Evaluación de impactos ambientales

La evaluación de impactos ambientales presenta un gran abanico de posibilidades (JRC, 2011). La principal división depende de si se evalúan impactos en el punto medio de la cadena causa-efecto (métodos e indicadores *midpoint*) o al final de la misma (métodos e indicadores *endpoint*). La mayor parte de los casos estudios de ASCV evaluaron los impactos en el punto intermedio y utilizaron los modelos CML (Guinée et al., 2002) y ReCiPe-midpoint (Huijbregts et al., 2017). En la **Figura 2.10** se presentan los indicadores de punto medio identificados en los casos de estudio. Los indicadores más empleados fueron toxicidad, eutrofización, acidificación y calentamiento global. Los demás indicadores fueron hallados en menos del 30% de los casos. Esta variabilidad se explica porque normalmente los indicadores son escogidos en base al objetivo y alcance del estudio. En muchas ocasiones se utilizan las Reglas de Categoría de Producto (PCR, por sus siglas en inglés) para definir los indicadores y métodos de evaluación de impacto (Ibáñez-Forés et al., 2013). Las PCR definen los requisitos para elaborar las Declaraciones Ambientales de Producto (EPD por sus siglas en inglés) para una determinada categoría de producto (ISO, 2006c).

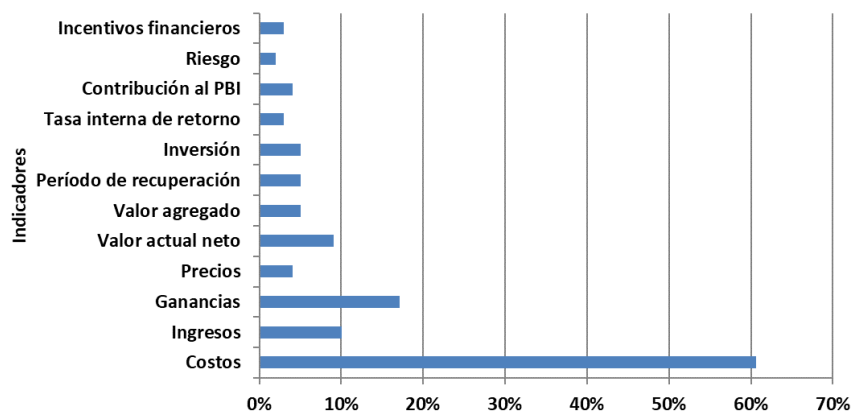


**Figura 2.10** Indicadores ambientales de casos de estudio ASCV.

Fuente: *Elaboración propia*

### Evaluación de impacto económico

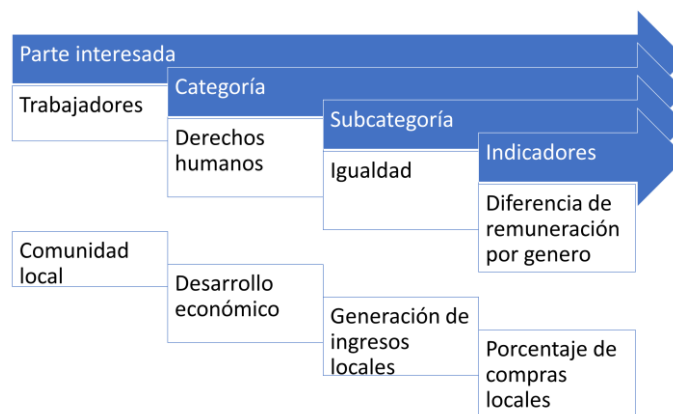
En CCV no existen métodos de evaluación de impactos reconocidos como en el caso de ACV, pero si existen distintos indicadores y distintas formas de calcularlos que pueden ser consideradas métodos en sí mismos. La **Figura 2.11** muestra los indicadores utilizados en los casos de estudio de ASCV revisados. El análisis de costos es el más común, dentro de este indicador se agrupan diferentes tipos de costos (fijos o variables, inversiones, de operación, etc.). También se identificaron otros indicadores: ingresos, ganancias, precio, valor actual neto (VAN), valor agregado, tiempo de recuperación, inversión, tasa interna de retorno (TIR), contribución al producto bruto interno (PBI), riesgo e incentivos financieros. En el 33% de los casos se analizó una combinación de costos y otro indicador. Una consideración importante es que no existe consenso sobre los criterios para definir la tasa de descuento por lo que la tasa elegida debe justificarse apropiadamente (Hunkeler et al., 2008).



**Figura 2.11** Indicadores económicos de casos de estudio ASCV.  
Fuente: Elaboración propia

### Evaluación de impacto social

La evaluación de impactos sociales se encuentra aún en una etapa inicial de su desarrollo (UNEP, 2020). La mayor parte de los antecedentes consideran en una compleja estructura de evaluación donde se pueden identificar hasta cuatro niveles (**Figura 2.12**). En esta figura se presentan dos ejemplos de indicadores obtenidos a partir de las fichas metodológicas de UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2013) para ilustrar la estructura de evaluación. No todas las referencias consultadas consideran los cuatro niveles, pero se observó que todos los antecedentes al menos identifican las partes interesadas afectadas y la subcategoría en estudio.



**Figura 2.12** Estructura de evaluación de aspectos sociales en ASCV.  
Fuente: Elaboración propia

En los casos de estudio se identificó que las partes interesadas mayormente consideradas fueron trabajadores, sociedad, comunidad local y consumidores. Respecto a las subcategorías de impacto consideradas se identificó una alta variabilidad (**Figura 2.13**) a pesar que existen un grupo de fichas metodológicas (UNEP/SETAC, 2013). Solo dos de las cuarenta y dos subcategorías de impacto encontradas (creación de empleo y salud y seguridad) fueron utilizadas en más del 20% de los estudios, ambas correspondientes a trabajadores. El resto se utilizó solo en una pequeña proporción.

La evaluación de cada una de las subcategorías identificadas puede ser realizada mediante dos enfoques: análisis de escalas de referencias (tipo I) o de la vía de los impactos (tipo II). Los

enfoques de tipo II se encuentran en etapa de investigación y solo se han desarrollado mecanismos de caracterización para algunos impactos (UNEP, 2020). En la presente revisión se hallaron solamente antecedentes con enfoque tipo I. La evaluación de este enfoque requiere identificar las partes interesadas a incluir en el estudio, las categorías de impacto a considerar y definir los indicadores con las escalas de referencia a utilizar. Para la evaluación conjunta de impactos negativos y positivos en el enfoque tipo I algunos indicadores tendrán una escala positiva y otros negativa (UNEP, 2020). De esta forma, se diferencian los comportamientos socialmente negativos, como la presencia de trabajo infantil o una alta tasa de accidentes laborales; de los comportamientos positivos, como la presencia de beneficios laborales para los trabajadores (horario flexible, por ejemplo) o la generación de productos orientados a sectores vulnerables de la sociedad.

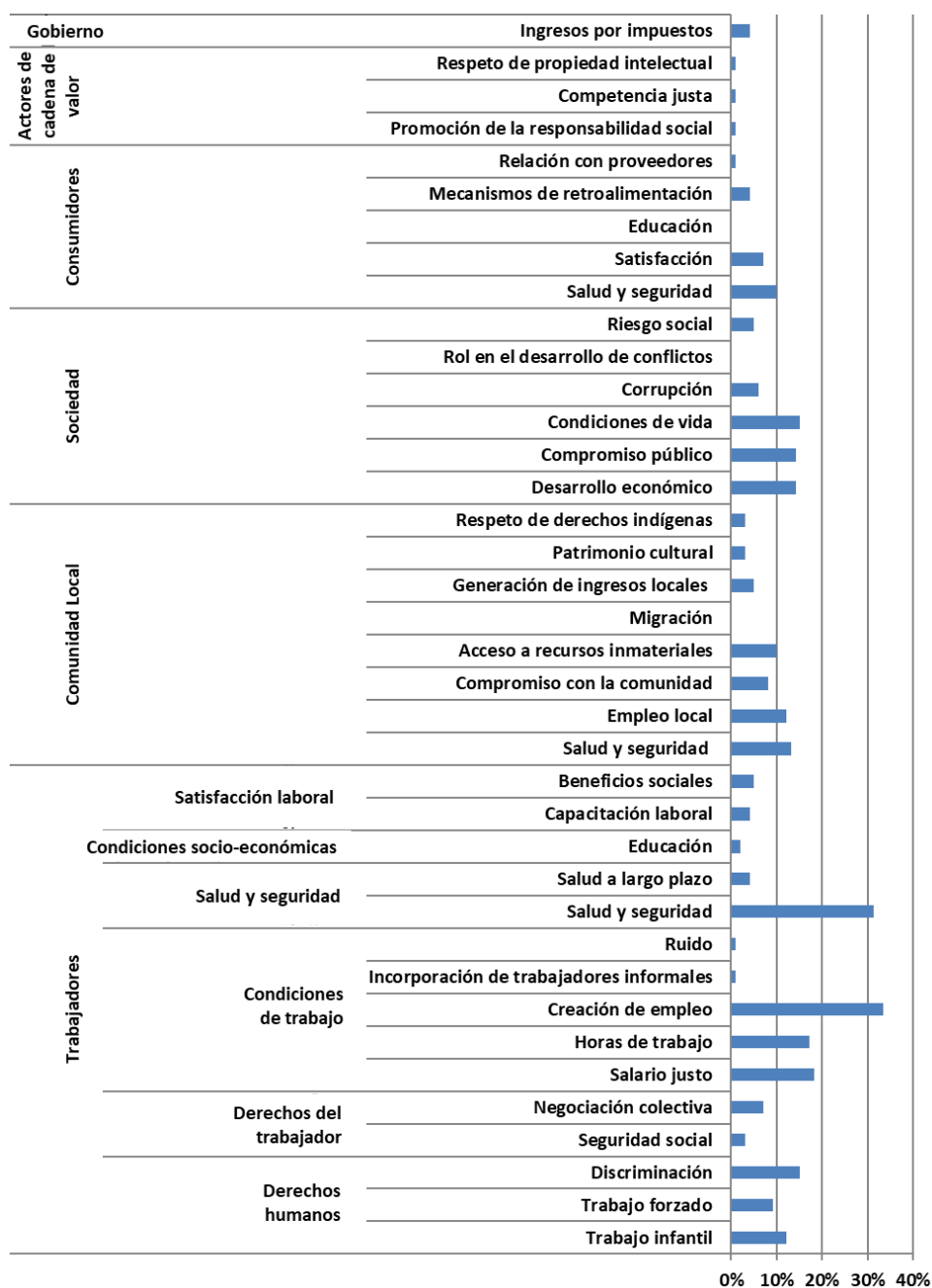


Figura 2.13 Subcategorías sociales de casos de estudio ASCV.

Fuente: Elaboración propia

Se concluye que la evaluación social dentro del ASCV es muy reciente y se encuentra en desarrollo. La estructura de evaluación puede tener varios niveles y se identificaron muchas diferencias en su definición en los antecedentes consultados. El enfoque actualmente usado se basa en indicadores con evaluación basada en una escala de referencia. Finalmente, se identificaron muchos indicadores diferentes por lo que es recomendable profundizar la investigación en estos indicadores. Se espera que el enfoque organizacional contribuya a lograr consenso sobre estos indicadores ya que Martínez-Blanco et al. (2015) identificaron que los indicadores sociales propuestos por UNEP/SETAC (2013, 2009) en realidad son más adecuados para organizaciones y países que para productos.

#### **2.3.1.4. Interpretación del ASCV**

En esta etapa es recomendable que se analicen los resultados en conjunto con el objetivo y alcance del ASCV y que se tome en cuenta la calidad de los datos incluidos (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011). Se identificó que los casos de estudio evaluaron en esta etapa tanto la calidad de los datos como las decisiones metodológicas. Los métodos más comúnmente empleados fueron el análisis de sensibilidad (30%), seguido de lógica difusa (14%), simulación Montecarlo (5%) y, finalmente, análisis de riesgo (1%).

Particularmente, De Barba et al. (2014) desarrollaron un método simplificado para evaluar la calidad de datos en ASCV a partir de Matrices de Pedigree (o genealogía) modificadas para cada inventario (ambiental, económico y social) y una tabla de valoración general de la calidad de datos, sin embargo, no propusieron acciones a partir de esta valoración. Por su parte, Thies et al. (2019) identificaron la necesidad de procedimientos sistemáticos para abordar la incertidumbre de los datos en ASCV. La incertidumbre expresa el problema general de que un valor observado nunca puede ser exactamente reproducido, pero cuando se ha realizado un número adecuado de observaciones, se pueden describir ciertos rasgos característicos de su distribución, como la media y la desviación estándar (Weidema et al. 2013). Además, es importante remarcar que la incorporación de la incertidumbre permite representar con mayor confiabilidad los fenómenos involucrados y permiten obtener resultados más significativos (De Barba et al., 2014).

Se concluyó que es necesario nuevas investigaciones en la evaluación de calidad de datos y la incorporación de la incertidumbre inherente a los inventarios en los resultados del ASCV.

#### **2.3.1.5. Interacción de ASCV y EC**

Se identificaron pocos antecedentes que abordaran conjuntamente el ASCV y la EC. Solo se identificó el uso limitado de indicadores de reutilización o reciclabilidad de EC dentro de un número muy reducido de estudios. Esto coincide con lo propuesto por Pieroni et al. (2019), quienes resaltaron la necesidad de más investigaciones en este campo para lograr la evaluación holística de sostenibilidad y EC, y el desarrollo de métodos y herramientas cuantitativos para apoyar la toma de decisiones conjunta.

#### **2.3.1.6. Conclusiones del análisis de casos de ASCV**

Las observaciones y discusiones precedentes permiten concluir que la comunidad científica está reconociendo la importancia y utilidad del ASCV. En relación a la definición del alcance de ASCV se necesitan más investigaciones para garantizar que se logre la coherencia necesaria entre las evaluaciones ambientales, económicas y sociales. Respecto a la construcción de los inventarios



se identificó que los datos secundarios para las dimensiones económica y social presentan grandes limitaciones. A partir de esto surgen dos conclusiones, en primer lugar que los datos primarios son fundamentales para llevar a cabo estudios de ASCV y en segundo lugar que el desarrollo de bases de datos secundarias para estas dos dimensiones sería de gran utilidad. Finalmente, se concluye que se debe profundizar la investigación de indicadores sociales ya que son los más nuevos y presentan menor consenso. Se espera que el desarrollo de un enfoque organizacional para ASCV presente aportes en este sentido, ya que gran parte de los indicadores sociales en uso son más adecuados para organizaciones que para productos.

## **2.4 Análisis de ciclo de vida organizacional (ACV-O)**

### **2.4.1 Evolución del concepto y marco normativo**

El ACV-O cumple con la estructura básica de ACV (**Figura 2.4**) aunque algunos de sus requerimientos han debido ser adaptados (Finkbeiner and König, 2013). La TS 14072 (ISO, 2014) presenta el primer antecedente normativo de ACV-O. Un año más tarde, se publicó una guía que explora las capacidades y aplicabilidad del ACV-O (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2015). En ese mismo año surgió una publicación dedicada específicamente al estudio de objetivo y alcance para ACV-O (Martínez-Blanco et al., 2015). La última publicación de importancia propone soluciones a algunos de los principales desafíos a partir de las experiencias de casos de estudio publicados (Martínez-Blanco et al., 2020).

### **2.4.2 Casos de estudio de ACV-O**

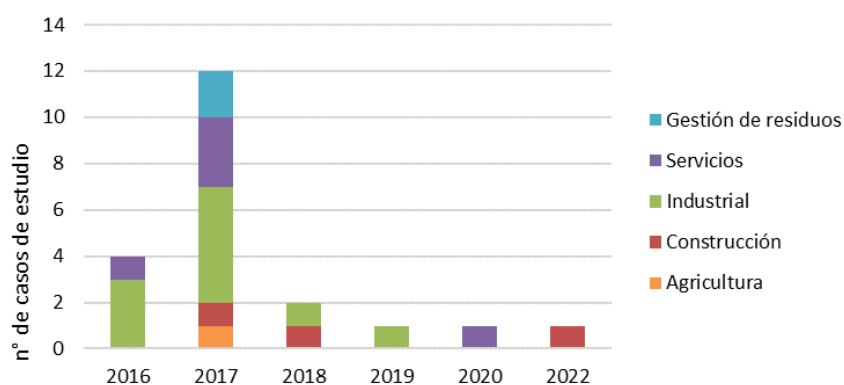
Para el análisis de antecedentes se consideraron los casos de estudio listados en **Tabla 2.7**. Doce de ellos fueron publicados en conjunto en un reporte de UN Environment, ya que fueron parte de la ronda de prueba de la metodología (UN Environment, 2017), los demás han sido publicados en artículos científicos. La **Figura 2.14** presenta los casos de estudio por año y por sector. Se aprecia un pico correspondiente al año 2017 donde se publicó la ronda de prueba. A partir de ese momento se han publicado pocos casos de estudio, lo cual quiere decir que ACV-O aún está en una etapa inicial de desarrollo. En cuanto a los sectores, existen mayores antecedentes de ACV-O orientados al sector industrial seguido por el sector servicios. El primero se caracteriza una amplia cartera de productos y el segundo por la falta de un producto físico al cual asignar cargas. En ambos casos el ACV-O es de gran utilidad.

En la cantidad y profundidad de antecedentes y casos de estudio se identificó la primera diferencia entre ACV-O y ACV de productos (C. Alejandrino et al., 2019a). El ACV-O tiene pocos antecedentes de casos de estudio (**Figura 2.14**). En cambio, el ACV de productos ya se ha afianzado como una técnica en el mundo no solo a nivel científico sino también a nivel empresarial.

**Tabla 2.7** Casos de estudio de ACV-O.

*Fuente: Elaboración propia*

| #  | Tipo de organización del ACV-O  | Referencia                        |
|----|---|-----------------------------------|
| 1  | Un sector de compañía italiana de venta de agua mineral embotellada (San Benedetto)                       | (Manzardo et al., 2016)           |
| 2  | Compañía de fabricación de hilados (Texco)  | (Resta et al., 2016)              |
| 3  | Compañía internacional hotelera (Accord)  | (Martínez-Blanco et al., 2016)    |
| 4  | Compañía multinacional de bienes de consumo (Unilever)  |                                   |
| 5  | Compañía de Turquía de fabricación de elementos de construcción con ventas a nivel mundial (AKG Gazbeton) |                                   |
| 6  | Compañía japonesa de fabricación de componentes eléctricos con ventas a nivel mundial (Azbil Corporation) |                                   |
| 7  | Un sector de compañía bancaria de México (Banco de México)  |                                   |
| 8  | División de fabricación de Mercedes-Benz (Daimler)  |                                   |
| 9  | División brasilera de compañía de revestimientos y pinturas (BASF)  |                                   |
| 10 | Una facultad y algunas instalaciones comunes de universidad de Indonesia (Universitas Pelita Harapan)     | (UN Environment, 2017)            |
| 11 | División suiza de ONG internacional de reciclaje (Foundation Emmaüs)                                      |                                   |
| 12 | Compañía de gestión de residuos canadiense (Junk That Funk)   |                                   |
| 13 | Compañía internacional de fabricación de equipos agrícolas (Maschio Gaspardo)                             |                                   |
| 14 | Municipalidad de Turquía (Tuzla Belediyesi)   |                                   |
| 15 | Compañía tailandesa de alimentos con ventas en numerosos países (Thanakorn Vegetable Oil Products)        |                                   |
| 16 | Un sector de compañía brasilera de fabricación de cosméticos (Natura)                                     |                                   |
| 17 | Un sector de universidad española (Universidad Politécnica de Valencia)                                   | (Lo-Iacono-Ferreira et al., 2017) |
| 18 | Compañía italiana de construcción de emprendimientos turísticos   | (Manzardo et al., 2018a)          |
| 19 | Compañía italiana de venta de agua mineral embotellada (San Benedetto)                                    | (Manzardo et al., 2018b)          |
| 20 | Compañía brasilera de fabricación de cosméticos (Natura)  | (Moreira de Camargo et al., 2019) |
| 21 | Compañía de Reino Unido de servicios para producción de energía renovable                                 | (Marx et al., 2020)               |
| 22 | Compañía italiana de fabricación de baldosas cerámicas para construcción                                  | (Cucchi et al., 2022)             |



**Figura 2.14** Evolución temporal de casos de estudio ACV-O por sector.

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.4.2.1 Objetivo del ACV-O

Se hallaron dos objetivos predominantes, la identificación de puntos críticos y el seguimiento del desempeño a lo largo del tiempo. Sin embargo, las guías y normativas de ACV-O expresan que esta técnica podría emplearse para una amplia gama de objetivos (ISO, 2014; UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2015).

La segunda diferencia importante que se identificó entre ACV-O y ACV de productos es que el ACV-O no puede ser utilizado para realizar comparaciones entre organizaciones orientadas a hacer públicos los resultados (ISO, 2014) mientras que el ACV sí se utiliza para este objetivo. Esto se debe a que dos organizaciones diferentes no pueden compararse directamente, aún si producen los mismos productos, dado que seguramente tienen grandes diferencias (cantidad de trabajadores, entorno, materias primas, por nombrar algunas).

#### 2.4.2.2 Alcance del ACV-O

En el alcance, el ACV-O requiere la definición de una unidad de reporte que se subdivide en tres elementos (Martínez-Blanco et al., 2015). El primer elemento es la organización de reporte, que es el objeto del análisis. El segundo elemento es el flujo de reporte, que consiste en la cuantificación del objeto de análisis durante el periodo de referencia. El tercer elemento es el enfoque de consolidación empleado cuando la organización de reporte cuenta con más de una instalación.

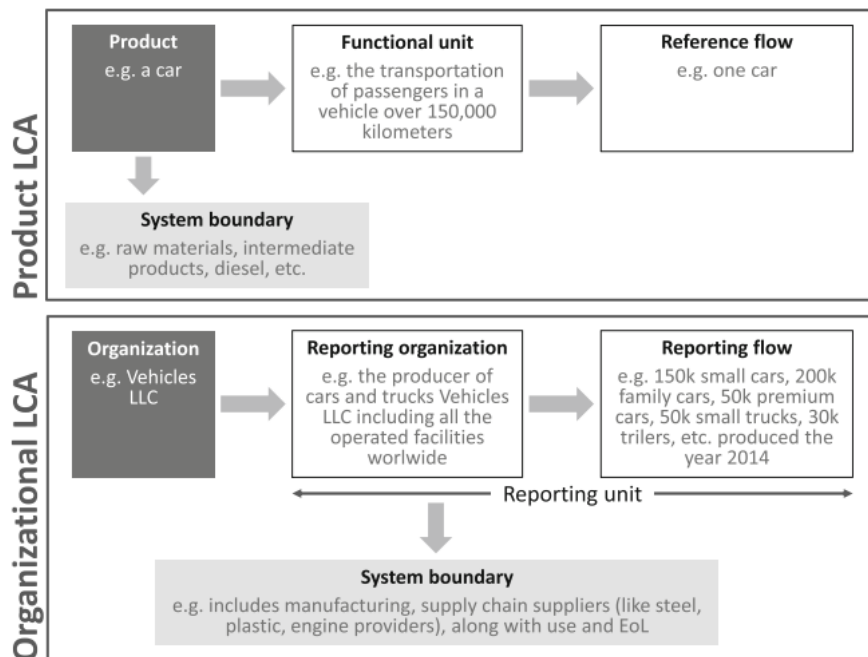
Respecto a la organización de reporte se identificaron más estudios sobre la organización completa que sobre una división. Esta última opción es posible siempre que represente una unidad de operación y sea justificada para evitar resultados no representativos (ISO, 2014). El enfoque de consolidación (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2015) más empleado fue el control total, seguido por el control operacional y finalmente el control financiero. Cuando la organización tiene un solo sitio o tiene control total sobre todos los sitios, no es necesaria consolidación alguna (ISO, 2014).

La mayor parte de los casos de estudio utilizaron flujos de reporte físicos como masa, cantidad de productos vendidos o volúmenes (e. g. Moreira de Camargo et al., 2019). Martínez-Blanco et al. (2015a) resalta la utilidad de flujos no físicos (como ventas o facturación), los cuales solo se utilizaron en el 19% de los casos de estudio. La preferencia por flujos físicos identificados puede ser causada porque estos facilitan la compatibilidad de ACV-O con ACV de productos. No se identificó ningún caso de flujo basado en cantidad de trabajadores, que también es mencionado por Martínez-Blanco et al. (2015a).

En referencia al periodo de reporte, la mayor parte de los antecedentes utilizaron un año calendario tal como recomienda Martínez-Blanco et al. (2015a). La definición del periodo de reporte es importante cuando el objetivo es el seguimiento del rendimiento y cuando se requiere contextualizar los resultados en casos de productos y procesos que cambian a lo largo del tiempo (Manzardo et al., 2016).

En relación con los límites del sistema, la mayor parte de los antecedentes consideraron de la cuna a la tumba y de la cuna a la puerta. El último el recomendado para proveedores de servicios, materias primas o productos intermedios (Martínez-Blanco et al., 2015) por las dificultades para obtener información sobre las etapas de consumo y disposición final (Resta et al., 2016).

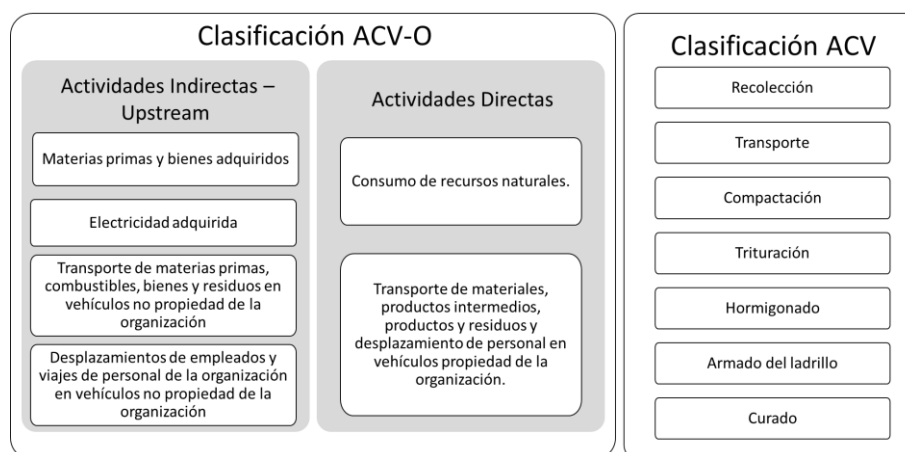
Tal como se ha presentado en los párrafos anteriores y como se aprecia en la **Figura 2.15**, el alcance es la etapa donde se identificó la tercera diferencia entre ACV-O y ACV de productos.



**Figura 2.15** Comparativa del alcance entre ACV y ACV-O.  
 Fuente: Extraído de (Martínez-Blanco et al., 2015)

### 2.4.2.3 Inventario del ACV-O

La clasificación de datos de inventario es un punto importante en ACV-O (Martínez-Blanco et al., 2020). En el ACV-O es necesaria la clasificación de datos o resultados según actividades (Martínez-Blanco et al., 2020), al igual que en otros enfoques organizacionales (WBCSD and WRI, 2004). En el ACV de productos, en cambio, los datos se clasifican según los procesos involucrados, por lo que esta es la cuarta diferencia identificada entre ACV-O y ACV. En la **Figura 2.16** se aprecia un ejemplo de las diferencias de clasificación de datos entre estas técnicas para un caso de estudio de una organización dedicada a premoldeado de elementos de hormigón.



**Figura 2.16** Ejemplo de clasificación de datos de inventario ACV-O y ACV.  
 Fuente: Adaptado de (Alejandrino et al., 2019b)

De los casos de estudio de ACV-O analizados, diecinueve clasificaron el inventario en actividades directas o indirectas y de ellos, solo nueve clasificaron el inventario para cada actividad incluida (Martínez-Blanco et al., 2020). A pesar de las recomendaciones para ACV-O de clasificar los datos en actividades directas o indirectas, cuatro casos clasificaron el inventario según los procesos de

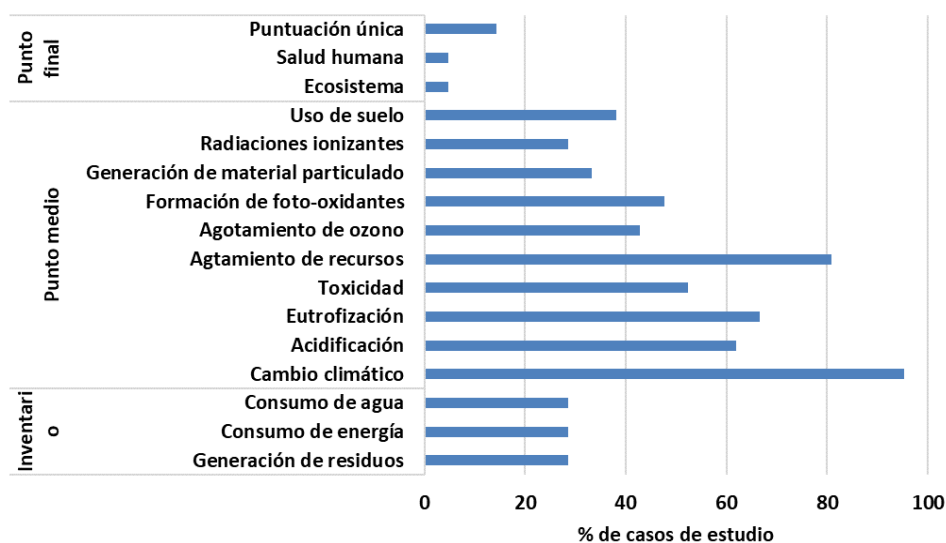
la organización, tal como se realiza en ACV. En solo dos casos de estudio no se identificó clasificación alguna y los resultados se presentaron en un único puntaje para toda la organización.

En referencia a la recolección de datos, el ACV-O propone diferentes enfoques (ISO, 2014). El enfoque “*top-down*” fue utilizado por nueve casos de estudio (e.g. Lo-lacono-Ferreira et al., 2017). El enfoque “*bottom-up*” fue utilizado sólo por dos casos, en Cucchi et al. (2022) y en Manzardo et al. (2016), donde se combinó con “*top-down*” para verificar la consistencia. El tercer enfoque “*hybrid*” es un intermedio entre los anteriores y fue el más utilizado, con diez casos de estudio.

No se localizó ninguna evaluación de calidad de datos de inventario, aunque algunos usuarios de ACV-O manifestaron la necesidad de desarrollar un esquema para este propósito (Forin et al., 2019).

#### 2.4.2.4 Evaluación de impacto de ACV-O

Las categorías de impacto utilizadas por los casos de estudio seleccionados se presentan en la **Figura 2.17**. Cambio climático fue la categoría más empleada, seguida de agotamiento de recursos, eutrofización, acidificación y toxicidad. La gran variabilidad de categorías de impacto se debe a que muchos autores las seleccionan en base a las características de la organización y al objetivo del estudio (e. g. Lo-lacono-Ferreira et al., 2017). En cuanto a los métodos empleados, ReCiPe Midpoint (Huijbregts et al., 2017) fue el más utilizado, con ocho casos de estudio.



**Figura 2.17** Categorías de evaluación de impacto de casos de estudio ACV-O.  
Fuente: Elaboración propia

La mayor parte de los casos de ACV-O se centró en los efectos punto medio de la organización, como se aprecia en la **Figura 2.17**. Dos estudios presentaron los impactos de punto final sin acompañarlos con los impactos de punto medio, lo cual no es recomendado por el aumento de la incertidumbre de los resultados (ISO, 2006a,b).

Se concluye que en la evaluación de impacto no se identificaron grandes diferencias entre ACV-O y ACV.

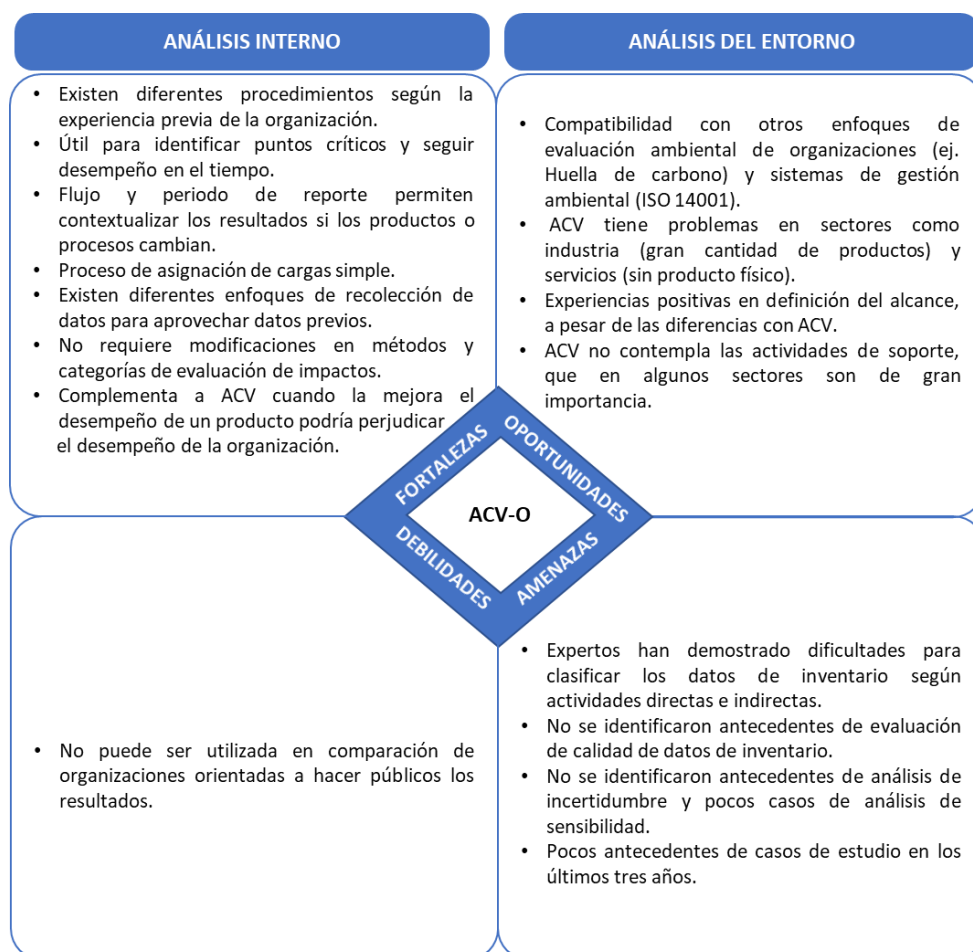
### 2.4.2.5 Interpretación del ACV-O

En la etapa de interpretación de resultados de ACV-O sólo cuatro publicaciones implementaron análisis de sensibilidad. Se estudiaron diversos supuestos sobre gestión de residuos, material, nivel de ocupación y vida útil de edificios (Martínez-Blanco et al., 2016a), sobre el uso de energía en la etapa de uso (Manzardo et al., 2018a), sobre inclusión de escenario alternativo de aumento en la capacidad de producción en la instalación (Manzardo et al., 2018b) y sobre ampliación de límites del sistema y sobre datos de inventario empleados (Marx et al., 2020). No se realizó análisis de incertidumbre en ningún caso.

### 2.4.2.6 Conclusiones del análisis de casos de estudio de ACV-O

El análisis de antecedentes permitió comprobar que el ACV-O es una adaptación de ACV para estudiar los efectos ambientales de una organización completa. Se aprecia un pico de casos de estudio de ACV-O en 2017 pero a partir de ese momento se han publicado pocos casos de estudio, lo cual confirma que ACV-O aún está en una etapa inicial de su desarrollo.

Con el fin de sintetizar los resultados se aplicó la herramienta de Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) (**Figura 2.18**). Esta herramienta surge del campo de la planificación estratégica de organizaciones, pero se ha extendido a otros procesos de análisis. Se basa en una matriz que compila las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, los cuales conforman el análisis interno y externo del objeto en estudio (Codina Jiménez, 2011).



**Figura 2.18** Matriz FODA del ACV-O  
Fuente: Elaboración propia

Se concluye que el ACV-O presenta interesantes características, pero se requieren mayores desarrollos para potenciar las fortalezas y oportunidades y minimizar las debilidades y amenazas encontradas.

## 2.5 Análisis de ciclo de vida social organizacional (ACV-SO)

### 2.5.1 Evolución del concepto y marco normativo

El marco conceptual de ACV-SO fue desarrollado por Martínez-Blanco et al. (2015) basado en ACV-S (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2009) y ACV-O (ISO, 2014; UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2015). A partir de la combinación de ambos esquemas metodológicos, los autores diagramaron los primeros requisitos y recomendaciones para esta nueva técnica. Recientemente, UNEP (2020) incorporó ACV-SO en la actualización de las “Directrices para la evaluación del ciclo de vida social de productos y organizaciones 2020”.

La definición preliminar de ACV-SO se genera a partir de la fusión de las definiciones de ACV-O y ACV-S “El ACV-SO es una compilación y evaluación de los aspectos sociales y socioeconómicos y de los impactos positivos y negativos de las actividades asociadas a una organización completa o una parte de la misma adoptando una perspectiva de ciclo de vida” (Martínez-Blanco et al., 2015). El ACV-SO difiere de ACV-S principalmente en la definición del objetivo y alcance y en el análisis del inventario (**Tabla 2.8**), al igual que ocurre en ACV-O y ACV. En las fases de evaluación de impacto e interpretación, no existen diferencias de importancia. Una ventaja del ACV-SO es que propone soluciones para algunos de los principales problemas que se enfrenta el ACV-S (**Tabla 2.9**).

Se concluye que uno de los mayores desafíos son los indicadores a utilizar y que se requieren mayores investigaciones y casos de estudio para fortalecer esta técnica y sistematizar su aplicación.

**Tabla 2.8** Diferencias de ACV-S y ACV-SO.

*Fuente: Adaptado de (UNEP, 2020).*

| Fase                   | ACV-S   | ACV-SO  |
|------------------------|---|---|
| Objetivo               | Evaluar impactos sociales de productos.   | Evaluar impactos sociales de organizaciones.<br>No está orientado a la comparación pública de organizaciones                            |
| Alcance                | Productos y servicios.<br>Definición de unidad funcional.<br>No se incluyen actividades de soporte.         | Organizaciones o parte de ellas.<br>Definición de unidad de reporte.<br>Incluye actividades de soporte.                                 |
| Análisis de inventario | Requiere datos específicos de producto.<br>Asignación de inventario a unidad funcional genera dificultades. | Requiere datos específicos de la organización.<br>No se requiere asignar datos ya que la unidad de reporte es la organización completa. |

**Tabla 2.9** Desafíos de ACV-S y soluciones que ofrece el ACV-SO.

*Fuente: Adaptado de (Martínez-Blanco et al., 2015).*

| Desafíos de ACV-S                                      | Descripción  | Soluciones de ACV-SO  |
|--|--|---|
| Asignación de indicadores o impactos a nivel producto. | La mayoría de los estudios de caso definen unidades funcionales, pero no vinculan los resultados con la unidad funcional o el producto específico.   | Asociar indicadores e impactos sociales a la unidad de reporte, ( <b>Figura 2.15</b> ) en lugar de un producto parece más lógico, práctico y factible.  |
| Recolección de datos                                   | Falta de bases de datos genéricas y las pocas existentes incluyen riesgos a nivel de país o sector. La recopilación de datos específicos del sitio se realiza principalmente a nivel de organización, pero no a nivel de producto. En consecuencia, hasta ahora, ningún caso de estudio aborda el ciclo de vida completo y utilizan una gran parte de datos genéricos. | Es más probable que los datos específicos estén disponibles a nivel de organización que a nivel de producto. Una evaluación a nivel de organización puede ser más completa para la gerencia que una a nivel de producto; por tanto, se pueden movilizar más recursos para la recopilación de datos. |
| Aplicación práctica                                    | La mayoría de los estudios de casos no definen claramente la aplicación prevista y no evalúan el desempeño social en un verdadero nivel de producto.   | ACV-SO se orienta específicamente a la evaluación del comportamiento y desempeño organizacional. La comparación pública de organizaciones no está prevista.   |

### 2.5.2 Casos de estudio de ACV-SO

Se identificó un antecedente que presenta las categorías más relevantes para la implementación de ACV-SO en un caso de estudio, pero no lleva a cabo el ACV-SO completo (D'Eusano et al., 2020). Más recientemente se identificó un caso de estudio que combina ACV-SO con tecnologías de la Industria 4.0 para evaluar un caso de estudio de una gran organización dedicada a la fabricación de cerámicas para la construcción (García-Muiña et al., 2021). En este caso el objetivo fue evaluar el desempeño social de la organización bajo un alcance de la cuna a la tumba. El inventario utilizado se basó en fuentes primarias para lo cual se utilizaron los datos que la compañía mide en tiempo real. Los indicadores utilizados fueron definidos a partir de los datos que fue posible obtener por este medio. La **Figura 2.19** permite analizar las categorías de impacto utilizadas en este estudio (en negrita y subrayado) respecto al total de categorías identificadas en la evaluación social dentro de ASCV (**Figura 2.13**). Se concluye que es de gran interés el antecedente desarrollado por estos autores dado que utiliza datos en tiempo real de la organización, sin embargo, presenta importantes limitaciones porque considera pocas categorías y porque requiere que la organización a analizar tenga infraestructura disponible para obtener las mediciones y datos necesarios. Esta limitación adquiere mayor importancia en PyMEs donde los recursos normalmente son escasos.





**Figura 2.19** Categorías de impacto social utilizadas en (García-Muiña et al., 2021).

*Fuente: Elaboración propia*

A la fecha, las organizaciones UNEP, SETAC y Social LC Alliance están trabajando en una ronda de testeo de las directrices a través de casos de estudio que incluyen el análisis de organizaciones.

## 2.6 Impacto social en OI

Los análisis de antecedentes identificaron que existe gran variabilidad de indicadores de impacto social de ASCV (**Figura 2.13**) y solo un antecedente de ACV-SO. En consecuencia, se decidió realizar un análisis de referencias normativas de evaluación y gestión de impactos sociales, específicas para organizaciones, para complementar los resultados previos. En la **Tabla 2.10** se presentan las siete referencias consultadas. Se realizó un análisis exhaustivo con el objeto de detectar categorías de impacto e indicadores para evaluar cuestiones sociales en organizaciones en vistas de proponer indicadores para ACV-SO.

**Tabla 2.10** Referencias de evaluación y gestión de cuestiones sociales en organizaciones.

*Fuente: Adaptado de (Alejandrino and Mercante, 2020)*

| Referencia                     | Producto | Organización | Indicadores | Descripción   |
|--------------------------------|----------|--------------|-------------|---|
| (UNEP/SETAC, 2013; UNEP, 2020) | x        | x            | x           | Guía de ACV-S y ACV-SO y hojas metodológicas de indicadores.  |
| (ISO, 2010)                    |          | x            |             | Norma para gestión de responsabilidad social empresarial.   |
| (UN, 2013)                     |          | x            |             | Política sobre la comunicación de progreso para organizaciones que suscriben al Pacto Mundial de las Naciones Unidas. |
| (GRI, 2018)                    |          | x            | x           | Estándar para reportes de sostenibilidad de organizaciones  |
| (OCDE, 2018)                   |          | x            |             | Guía de conducta socialmente responsable para empresas.   |
| (GIIN, 2021)                   |          | x            | x           | Conjunto de métricas para evaluación de inversiones según criterio de sostenibilidad.                                 |
| (BLab, 2021)                   |          | x            | x           | Herramienta de evaluación de triple impacto para organizaciones.  |

Se verificó que se utiliza la misma estructura que el análisis social dentro de ASCV (**Figura 2.12**), con las mismas partes interesadas y categorías. Para conformar el listado de subcategorías (**Tabla 2.11**) se partió de las señaladas en la revisión de casos de estudio de ASCV (**Figura 2.13**) y se agregaron las nuevas subcategorías incluidas en la actualización de la guía de UNEP (2020)<sup>2</sup> (en negrita en la **Tabla 2.11**). A partir de este listado se relevaron las subcategorías de los antecedentes de la **Tabla 2.10**.

<sup>2</sup> No se agregaron las categorías de pequeños propietarios incluidos los agricultores, distribución de la riqueza, trato ético de los animales, alivio de la pobreza, educación proporcionada en la comunidad local, problemas de salud para los niños como consumidores, inquietudes de los niños con respecto a las prácticas de marketing por no estar orientadas a la evaluación de organizaciones o por falta de indicadores para su valoración.

**Tabla 2.11** Categorías y subcategorías de análisis social de organizaciones.

Fuente: Elaboración propia

| Parte Interesada              | Categoría de impacto social | Subcategoría                        | (UNEP/SETAC, 2013; UNEP, 2020)              | (ISO, 2010)             | (UN, 2013) | (GRI, 2018) | (OCDE, 2018) | (GIIN, 2021) | (Blab, 2021) |   |   |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---|---|
| Trabajadores                  | Derechos Humanos            | Trabajo infantil                    | x   | x                       | x          | x           | x            | x            | x            |   |   |
|                               |                             | Trabajo Forzado                     | x   | x                       | x          | x           | x            | x            | x            |   |   |
|                               |                             | Igualdad (o Discriminación)         | x   | x                       | x          | x           | x            | x            | x            |   |   |
|                               | Derechos del trabajador     | <b>Integridad</b>                   | <b>Integridad</b>                           | x                       | x          |             |              | x            | x            |   |   |
|                               |                             |                                     | Libertad asociación y negociación colectiva | x                       | x          | x           | x            | x            | x            | x |   |
|                               |                             |                                     | Cobertura obra social                       | x                       | x          | x           | x            |              | x            | x |   |
|                               |                             | <b>Beneficios sociales</b>          | Aportes jubilatorios                        | x                       | x          | x           | x            |              |              | x |   |
|                               |                             |                                     | <b>Beneficios sociales</b>                  | x                       | x          | x           | x            |              | x            | x |   |
|                               |                             |                                     | Horas de trabajo                            | x                       | x          |             |              |              | x            |   |   |
|                               |                             | Salud y seguridad                   | Salario justo                               | x                       | x          | x           | x            | x            | x            | x |   |
|                               |                             |                                     | Seguridad y protección de trabajadores      | x                       | x          |             |              |              |              | x |   |
|                               |                             | Satisfacción Laboral                | <b>Relación laboral</b>                     | Salud a largo plazo     | x          | x           | x            | x            | x            | x | x |
|                               |                             |                                     |   | <b>Relación laboral</b> | x          | x           | x            | x            |              | x | x |
|                               |                             |                                     | Capacitación Laboral                        |                         | x          | x           | x            | x            | x            | x |   |
| Actores de la cadena de valor | Proveedores                 | Relación con proveedores            | x   | x                       |            |             | x            |              |              |   |   |
|                               |                             | Promoción de responsabilidad social | x   | x                       |            | x           | x            | x            | x            |   |   |
|                               | Competidores                | Competencia justa                   | x   | x                       |            | x           | x            |              | x            |   |   |
| Comunidad local               | Desarrollo social           | Respeto de propiedad intelectual    | x   |                         |            |             | x            |              |              |   |   |
|                               |                             | Compromiso con la comunidad         | x   | x                       |            | x           |              | x            | x            |   |   |
|                               |                             | Acceso a recursos inmateriales      | x   | x                       |            |             |              | x            | x            |   |   |
|                               |                             | Respeto de derechos indígenas       | x   | x                       | x          | x           | x            |              | x            |   |   |
|                               | Desarrollo económico        | Cuidado del patrimonio cultural     | x   | x                       |            | x           |              |              |              |   |   |
|                               |                             | Empleo local                        | x   | x                       |            | x           | x            |              |              |   |   |
|                               |                             | Generación de ingresos locales      |   |                         |            | x           |              | x            | x            |   |   |
| Sociedad                      | Desarrollo tecnológico      | <b>Desarrollo tecnológico</b>       | x   | x                       |            |             | x            |              |              |   |   |
|                               |                             | Creación de empleo                  |   | x                       |            | x           | x            | x            | x            |   |   |
|                               | Desarrollo social           | <b>Sostenibilidad</b>               | x   |                         |            |             |              | x            | x            |   |   |
|                               |                             | Corrupción                          | x   | x                       | x          | x           | x            |              | x            |   |   |
|                               |                             | Rol en el desarrollo de conflictos  | x   |                         | x          |             | x            |              | x            |   |   |
| Consumidor                    | Satisfacción del cliente    | Salud y seguridad                   | x   | x                       |            | x           | x            |              |              |   |   |
|                               |                             | Mecanismos de retroalimentación     | x   | x                       |            | x           | x            | x            | x            |   |   |
|                               |                             | Privacidad                          | x   | x                       |            | x           | x            |              | x            |   |   |
|                               |                             | Transparencia                       | x   | x                       |            | x           | x            | x            | x            |   |   |

Se identificaron 12 categorías y 33 subcategorías que permiten analizar el impacto de la organización sobre 5 partes interesadas. Se concluye que este amplio abanico permite realizar una evaluación completa e integral, ya que, los impactos que una organización puede generar sobre sus partes interesadas son muy diferentes. Todas las subcategorías han sido utilizadas por al menos tres de los antecedentes de evaluación de impacto social de organizaciones, por lo que son consideradas representativas. Además, se concluye que existe cierta coherencia entre la evaluación social de ASCV y las evaluaciones de cuestiones sociales en organizaciones, ya que utilizan la misma estructura, categorías y subcategorías.

Respecto a los indicadores, se hallaron solo cuatro antecedentes de la **Tabla 2.10** que presentan propuestas de cálculo y modelos de valoración. UNEP/SETAC (2013) y UNEP (2020) presentan varias alternativas de indicadores para cada subcategoría, algunos de ellos cuantitativos y otros cualitativos. GRI (2018) y GIIN (2021) proponen un indicador para cada subcategoría, algunos

cualitativos y otros cuantitativos. Estos tres métodos presentan guías y recomendaciones para la recolección de información y el cálculo de indicadores. BLab (2021) realiza la evaluación en base a aspectos cualitativos de la organización en estudio. Los criterios de valoración y ponderación de esta evaluación no se encuentran disponibles al público.

La conclusión final de este apartado es que fue posible identificar un abanico de categorías y subcategorías que permiten evaluar el impacto social de una organización sobre sus partes interesadas. Para las mismas se hallaron gran cantidad de indicadores tanto cuantitativos como cualitativos. Los principales desafíos son que existe una gran variedad de aspectos a considerar y que no hay consenso sobre los indicadores.

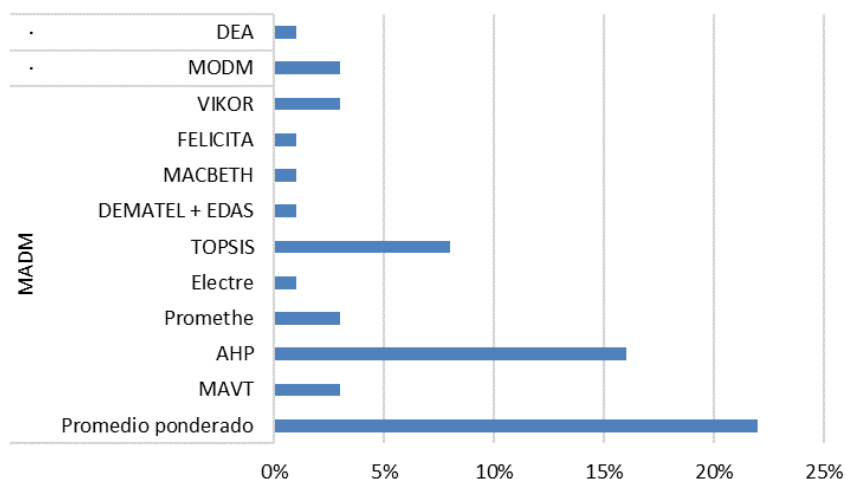
## **2.7 Integración de resultados para la toma de decisiones en sostenibilidad**

La integración de resultados en problemas de sostenibilidad es un tipo de problema que se resuelve con sistemas de indicadores múltiples (MIS) basados en distintos criterios (ambientales, económicos y sociales) a la vez, siendo una etapa crítica para asegurar la efectividad de los procesos de toma de decisiones. La variedad de aspectos que están en evaluación, las diferentes unidades de medida y la combinación de indicadores cuantitativos, semicuantitativos y cualitativos dificultan este proceso (Venkatesh, 2019). Por esta razón, no es recomendable la agregación ni ponderación de los resultados de las tres dimensiones en análisis (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011).

A continuación, se presentan los resultados de los dos análisis de antecedentes realizados en este tema. En primer lugar, los métodos de integración identificados en los casos de estudio de ASCV y en segundo lugar los antecedentes de casos de estudio de sostenibilidad en los cuales se aplicó la teoría matemática POSET para obtener resultados orientados a la toma de decisiones.

### **2.7.1 Métodos de integración de resultados en ASCV**

Se encontraron dos opciones, la integración mediante gráficos y la integración de indicadores. El gráfico más utilizado en los casos de estudio fue el gráfico de araña, y otros gráficos empleados fueron el tablero de puntuación de sostenibilidad y la corona de sostenibilidad (Alejandrino et al., 2021). Respecto a la integración de indicadores, en los cincuenta y cuatro antecedentes identificados se emplearon métodos de investigación operativa (**Figura 2.20**). Se hallaron tres grupos principales: métodos de toma de decisiones multiobjetivo (MODM), análisis de envolvente de datos (DEA), métodos de toma de decisiones de atributos múltiples (MADM).



**Figura 2.20** Métodos de investigación operativa.

*Fuente: Elaboración propia*

Los métodos de toma de decisiones multiobjetivo (MODM) se aplican para identificar y evaluar soluciones óptimas de Pareto en la frontera eficiente de un espacio de solución matemáticamente limitado (Thies et al., 2019). El uso de optimización o MODM es un enfoque interesante para resolver problemas de múltiples indicadores, aunque se identificaron pocos casos. La principal desventaja de estos métodos es que están orientados a situaciones de diseño, no a problemas de elección entre alternativas y que requiere cantidad y calidad de datos sobre el problema a tratar. Existen dos enfoques de MODM, uno donde los diferentes objetivos de combinan antes de optimizar (a priori) y otro donde se optimizan los múltiples objetivos logrando una frontera de Pareto de soluciones optimas y luego se seleccionan alternativas según las preferencias del tomador de decisiones (a posteriori) (Thies et al., 2019). Ambos requieren que en algún momento del proceso se ponderen los diferentes indicadores, y el enfoque a priori, además, genera compensación entre indicadores.

El análisis de envoltente de datos (DEA) se aplica para estudiar la eficiencia relativa de un conjunto de alternativas si se desconoce la frontera de eficiencia (Thies et al., 2019). El enfoque DEA fue empleado por un solo caso para clasificar las alternativas de acuerdo con el grado en que se adhieren a los principios de sostenibilidad. La principal desventaja es que responde a la pregunta si una alternativa es eficiente o no pero no realiza distinción entre alternativas eficientes. Otra desventaja es que para determinar la eficiencia de una alternativa se ponderan y agregan los criterios en consideración.

Los métodos de toma de decisiones de atributos múltiples (MADM) se aplican para evaluar un conjunto finito de alternativas basadas en múltiples criterios, y han sido los más utilizados. Se identificaron diferentes métodos: promedios ponderados, proceso analítico jerárquico, FELICITA (evaluación difusa para el análisis integral de sostenibilidad de ciclo de vida), MACBETH (medición del atractivo mediante una técnica de evaluación basada en categorías), DEMATEL (evaluación y ensayo de toma de decisiones), EDAS (evaluación de intervalos basada en distancia de solución promedio), TOPSIS (técnica para el orden de preferencia por similitud con la solución ideal), PROMETHEE (método de clasificación de preferencias para el enriquecimiento de evaluaciones), MAUT (teoría de la utilidad de atributos múltiples) y VIKOR (solución de compromiso y optimización multicriterio). Las ventajas de los métodos MADM son que son ampliamente conocidos y utilizados en la industria, y que algunos permiten manejar exitosamente problemas con falta de datos o con datos poco precisos. Las principales

desventajas son la pérdida del sentido original de cada indicador, la compensación entre los mismos y la incorporación de juicios de valor subjetivos (Alejandrino et al., 2021).

A continuación, se describe en detalle cada uno de las desventajas presentadas en el párrafo anterior que son comunes a todos los métodos MADM. En primer lugar, la agregación algebraica de indicadores genera la pérdida del objeto original de cada indicador. Es decir, al integrar indicadores diferentes, que se basan en fenómenos diferentes se llega a resultados que carecen de sentido conceptual (Arcagni et al., 2021). También se puede perder información valiosa de un indicador. Esto aplica tanto a la integración dentro de un pilar de sostenibilidad como entre pilares. En segundo lugar, las compensaciones entre diferentes indicadores se dan cuando se combinan numéricamente indicadores (Badinger and Reuter, 2015). Por ejemplo, una alternativa que tiene un valor extremadamente alto para un indicador y un valor malo para otro puede obtener la misma valoración final que una alternativa que tiene valores buenos en ambos indicadores, pero de baja magnitud. La suma ponderada de indicadores de lugar a una alta compensación de indicadores; PROMETHEE genera un compensación menor, que los demás métodos de MADM, ya que no todos los indicadores son combinados a la vez, la compensación surgen entre los pares de indicadores que son incluidos en una función de referencia (Carlsen and Bruggemann, 2020). Por último cabe señalar que los procedimientos de normalización y ponderación están sujetos a un alto nivel de incertidumbre y subjetividad (Bruggemann et al., 2006) ya que los factores utilizados son seleccionados y cuantificados en base a criterios seleccionados arbitrariamente.

A partir de las desventajas identificadas, se concluye que es necesario buscar otras alternativas para integrar los resultados en ASCV.

### **2.7.2 Teoría de grupos parcialmente ordenados (POSET) en sostenibilidad**

Un enfoque alternativo para enfrentar los problemas de SIM sin necesidad de utilizar agregación ni ponderación, es mediante el empleo de POSET (Fattore et al., 2011). Esta teoría se basa en conceptos de matemática discreta para ordenar un conjunto de elementos según una serie de criterios (Pavan and Todeschini, 2004). Su finalidad es realizar una comparación por pares de elementos que permiten identificar un orden parcial dentro, sin tratamientos previos (agregación aritmética, uso de escalas arbitrarias o ponderaciones subjetivas) (Fattore et al., 2012). Como resultado, se consigue un orden parcial, no total. En este orden dos o más elementos pueden ser incomparables entre ellos cuando uno presenta mejores valores para algunos indicadores, pero peores para otros (Bruggemann and Carlsen, 2014). Al no existir compensación o ponderación de los indicadores el modelo simplemente reconoce como incomparables estos dos elementos y los ubica a la misma altura. La descripción teórica de esta teoría se presenta en Anexo I.

Este método presenta numerosas ventajas. En primer lugar, emplea toda la información disponible para el conjunto de elementos e indicadores en estudio (Badinger and Reuter, 2015). Aunque uno de los elementos no posea valoración en un determinado indicador los demás elementos del grupo pueden ser ordenados según ese indicador. Es decir, no hay necesidad de excluir datos porque un indicador no esté completo para todos los elementos. En segundo lugar, reduce la subjetividad de los procesos de normalización y ponderación (Bruggemann et al., 2008; Alaimo et al., 2020a) y permite comparar indicadores de distinta naturaleza (cualitativos o cuantitativos), distintas unidades o con distintas escalas de valor (Carlsen, 2021). Por último, permite analizar en profundidad la relación entre dos alternativas para determinar si son comparables o incomparables y qué indicadores provocan esta relación (Arcagni et al., 2021).

Numerosos estudios han comparado el uso de POSET frente a otros métodos de resolver la agregación de MIS. Beycan et al. (2019) compararon POSET con el método de Alkire and Foster (2007) para el cálculo de pobreza multidimensional de países. Simon et al. (2004) realizaron una comparación de PROMETHEE y POSET, y Carlsen and Brüggemann (2013) analizaron POSET en comparación con agregación ponderada. En general, todos estos estudios concluyen que el POSET permite extraer mayor información de los datos y soluciona los principales problemas de los otros enfoques de agregación.

Para la presente tesis se analizaron 39 casos de estudio de problemas ligados a sostenibilidad con sistemas de indicadores múltiples donde se utilizó POSET. Las principales características de cada caso de estudio se detallan en la **Tabla 2.12**.

**Tabla 2.12** Casos de estudio de sostenibilidad donde se aplica POSET.

Fuente: *Elaboración propia*

| Casos de estudio                | Características de casos de estudio |           |        |                                  |                       |               |              |              |               |                                   |                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------|----------------------------------|-----------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
|                                 | Aspectos de sostenibilidad          |           |        | Número de alternativas a ordenar | Número de indicadores | Indicadores   |              |              | Restricciones | Resultados                        |                     |
|                                 | Ambiental                           | Económico | Social |                                  |                       | Cuantitativos | Cualitativos | Valor límite |               | Gestión de incertidumbre de datos | Resultados gráficos |
| (Halfon and Reggiani, 1986)     | •                                   |           |        | 34                               | 7                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Brüggemann and Voigt, 1995)    | •                                   |           |        | 15                               | 5                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Brüggemann et al., 1999)       | •                                   |           |        | 59                               | 4                     | •             |              | •            |               |                                   | •                   |
| (Brüggemann et al., 2001)       | •                                   |           |        | 20                               | 5                     |               | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Lerche et al., 2002)           | •                                   |           |        | 85                               | 4                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Voigt et al., 2004)            | •                                   |           |        | 15                               | 5                     |               | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Simon et al., 2004b, 2004a)    | •                                   |           |        | 9                                | 4                     | •             | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Kardaetz et al., 2008)         | •                                   |           |        | 8                                | 6                     | •             | •            | •            |               |                                   | •                   |
| (Annoni and Brüggemann, 2009)   |                                     | •         | •      | 15                               | 18                    |               | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Bruggemann et al., 2011)       | •                                   |           |        | 18                               | 3                     | •             |              | •            |               |                                   | •                   |
| (Brüggemann and Voigt, 2011)    | •                                   |           |        | 19                               | 3                     |               | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen et al., 2013)          | •                                   |           |        | 30                               | 6                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen and Brüggemann, 2013)  |                                     |           | •      | 177                              | 12                    | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Fattore et al., 2014)          |                                     | •         | •      | 262                              | 5                     | N/A           |              |              |               |                                   | •                   |
| (Annoni et al., 2015)           |                                     | •         | •      | 88                               | 3                     | •             |              | •            |               |                                   | •                   |
| (Badinger and Reuter, 2015)     |                                     | •         |        | 81                               | 7                     |               | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen, 2015)                 | •                                   |           |        | 7                                | 3                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen and Bruggemann, 2017)  |                                     | •         | •      | 178                              | 12                    | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Lenfers et al., 2017)          | •                                   |           |        | 14                               | 11                    | •             |              | •            | •             | •                                 | •                   |
| (Iglesias et al., 2017)         |                                     |           | •      | 4064                             | 4                     |               | •            | •            |               |                                   | •                   |
| (Carlsen, 2017)                 |                                     |           | •      | 28                               | 4                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen, 2018)                 |                                     |           | •      | 157                              | 7                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen et al., 2018)          | •                                   |           |        | 20                               | 5                     | •             |              | •            |               |                                   | •                   |
| (Di Brisco and Farina, 2018)    |                                     |           | •      | 16                               | 3                     |               | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Arcagni et al., 2019)          |                                     |           | •      | 4000                             | 8                     | •             | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Beycan et al., 2019)           |                                     |           | •      | 30                               | 10                    |               | •            | •            |               |                                   | •                   |
| (Batunacun et al., 2019)        | •                                   |           |        | 12                               | 9                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen and Bruggemann, 2020)  | •                                   |           |        | 33                               | 8                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen, 2020)                 |                                     |           | •      | 162                              | 4                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Alaimo et al., 2020a)          |                                     |           | •      | 20                               | 4                     |               | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Ivaldi et al., 2020)           |                                     |           | •      | 32                               | 4                     |               | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Alaimo et al., 2020b)          |                                     |           | •      | 20                               | s/d                   | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Alaimo et al., 2020c)          | •                                   | •         | •      | 33                               | 4                     | •             | •            |              |               |                                   | •                   |
| (Rimoldi et al., 2020)          |                                     |           | •      | 8000                             | 7                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Arcagni et al., 2021)          | •                                   | •         | •      | 103                              | 8                     |               | •            | •            |               |                                   | •                   |
| (Carlsen, 2021)                 | •                                   | •         | •      | 27                               | 4                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen and Brüggemann, 2021a) |                                     | •         | •      | 27                               | 6                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Carlsen and Brüggemann, 2021b) |                                     | •         | •      | 29                               | 6                     | •             |              |              |               |                                   | •                   |
| (Alaimo et al., 2021)           |                                     | •         |        | 249                              | 9                     |               | •            |              |               |                                   | •                   |

Respecto al análisis de los casos de estudio, se identificó que solo tres casos contemplan los tres aspectos de sostenibilidad, los demás estudios se centran en uno o dos aspectos. Por lo que se concluye que se requieren más casos de estudio donde se aplique esta teoría en evaluaciones de aspectos ambientales, sociales y económicos a la vez. También, se contabilizó el número de alternativas a ordenar y el número de indicadores para cada una de ellas en cada caso de estudio. Se identificaron grandes variaciones en el número de alternativas (de 7 a 8000) y el



número de indicadores (de 3 a 18), por lo que se concluye que esta teoría es aplicable en una amplia variedad de problemas. Además, los indicadores se clasificaron como cuantitativos o cualitativos. Se identificó que un 64% de los indicadores eran cuantitativos, un 38% cualitativos y que solo cuatro antecedentes combinaron ambos tipos. En base a esto se concluye que esta herramienta permite trabajar con sistemas de indicadores múltiples con indicadores cuantitativos y cualitativos, como es el caso de ASCV, sin embargo, se requieren más investigaciones en este sentido.

Alguna referencias (22%) aplicaron restricciones para mejorar la consecución del orden parcial y obtener información útil para la toma de decisiones (Brüggemann and Voigt, 2011). Las restricciones más comunes fueron el uso de valores límite que priorizan o excluyen algunas alternativas (10%), y la gestión de la incertidumbre de los datos para descartar diferencias no significativas entre dos alternativas (11%) aplicando enfoques difusos o estableciendo diferencias significativas (Carlsen et al., 2018). Se concluye que la aplicación de restricciones es de gran utilidad cuando se busca obtener resultados orientados a la toma de decisiones.

Respecto a la presentación de resultados, se encontró que la mayoría de los estudios de casos utilizaron representación gráfica mediante diagramas de Hasse (82%). Este diagrama se describe en detalle en Anexo I. El uso de análisis de sensibilidad para analizar el efecto de cada indicador en el POSET también se consideró en el 31% de los estudios. Finalmente, una evaluación de las causas de la incomparabilidad de alternativas, que Carlsen and Brüggemann (2017) denominaron análisis de peculiaridad, se identificaron en el 11% de los estudios de caso. Se concluye que la representación gráfica de resultados es de gran utilidad en problemas de sostenibilidad y que POSET brinda otras herramientas, como los análisis de sensibilidad y la evaluación de incomparabilidades cuando se requiere analizar con mayor profundidad el orden obtenido.

### **2.7.3 Conclusiones de la integración de resultados en sostenibilidad**

En la revisión de antecedentes de casos de estudio de ASCV se halló que se han utilizado métodos de investigación operativa, siendo el MADM el que cuenta con mayor aplicación. Las principales desventajas del empleo de estos métodos para ASCV son la pérdida del sentido original de cada indicador, la compensación entre los mismos y la incorporación de juicios de valor subjetivos. Como alternativa se ha identificado el uso de una teoría matemática para la integración de resultados en problemas ligados a sostenibilidad. La teoría POSET permite lograr un orden parcial en problemas de indicadores múltiples sin caer en la compensación de indicadores ni en la incorporación de elecciones subjetivas.

## **2.8 Conclusión general del capítulo**

En este capítulo se analizaron y discutieron los antecedentes necesarios para el desarrollo de los próximos capítulos según la investigación diseñada en el capítulo 1. Se estudiaron los posibles métodos, herramientas e indicadores para evaluar el desempeño circular de una OI. Luego se analizaron las técnicas existentes que presentan las bases para evaluar la sostenibilidad a nivel de una organización bajo enfoque de ciclo de vida. Por último, se plantearon las posibilidades de integrar resultados en problemas de sostenibilidad, donde coexisten variables ambientales, económicas y sociales.

Los resultados del presente capítulo sientan las bases sobre las cuales se han desarrollado las dos propuestas de esta tesis, la propuesta de ASCV-O desarrollada en el capítulo 3 y la propuesta de metodología de identificación y priorización de estrategias de EC para OI presentada en el capítulo 4.

## Capítulo 3 Propuesta de análisis de sostenibilidad de ciclo de vida para organizaciones (ASCV-O)

En el presente capítulo se propone una técnica para el ASCV-O a partir del análisis realizado en los apartados 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3 y 2.4 del capítulo 2. La propuesta del presente capítulo presenta puntos novedosos y adaptaciones de técnicas ya existentes para lograr la evaluación de los impactos del ciclo de vida de una organización en todos los aspectos de la sostenibilidad.

### 3.1. Introducción

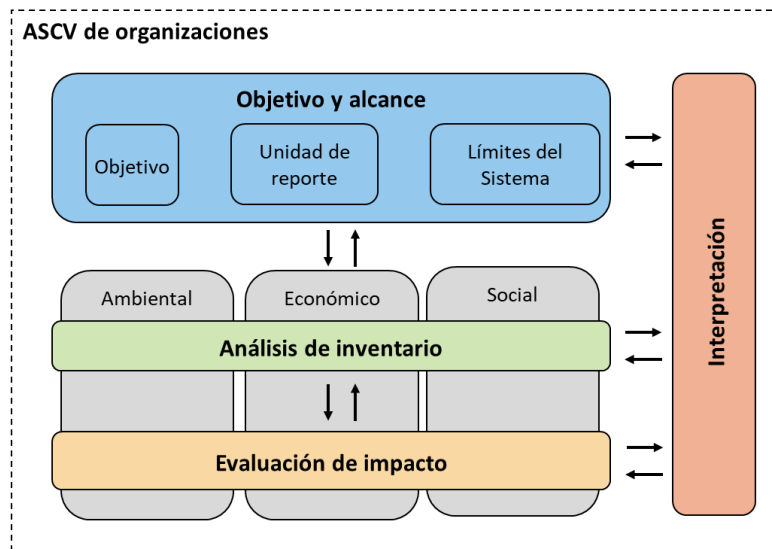
La necesidad e importancia de que se desarrolle la técnica de ASCV-O ya fue identificada por Martínez-Blanco et al. (2015). Los autores expusieron tres argumentos para justificarla: (1) el ASCV es todavía joven y no está muy implementado en la práctica, por lo que está abierto a adaptaciones; (2) los estudios de ACV-S existentes llevan a cabo un análisis a nivel organizacional o al menos no relacionan los resultados con un nivel de producto; y (3) desde una perspectiva de sostenibilidad social, una evaluación a nivel organizacional sería factible o incluso más válida que a nivel producto, ya que brinda la “imagen completa” de la organización considerada. Por otra parte, en teoría, también parece más factible una evaluación del ciclo de vida económico a nivel organizacional que a nivel producto ya que en los esquemas de informes financieros actuales los datos se presentan para toda la organización.

Así, el ASCV-O puede definirse como la compilación y evaluación de los impactos positivos y negativos desde las perspectivas ambiental, social y económica de las actividades asociadas con una organización en su conjunto o en parte, adoptando un enfoque de ciclo de vida (**Ecuación 3.1**).

$$(\text{ASCV-O}) = (\text{ACV-O}) + (\text{CCV-O}) + (\text{ACV-SO}) \quad (3.1)$$

ASCV-O no pretende reemplazar las técnicas existentes descritas en el Capítulo 2, sino adaptarlas para lograr la evaluación de sostenibilidad de organizaciones con un enfoque de ciclo de vida.

La propuesta de ASCV-O y sus fases se presentan en la **Figura 3.1**. Se aprecia que la etapa de definición de objetivo y alcance es transversal para las tres dimensiones de la sostenibilidad, mientras que las etapas de análisis de inventario y evaluación de impacto son específicas de cada una debido a sus diferencias. Finalmente, la interpretación se plantea transversal e integral considerando todas las etapas del ASCV-O y todas las dimensiones analizadas.



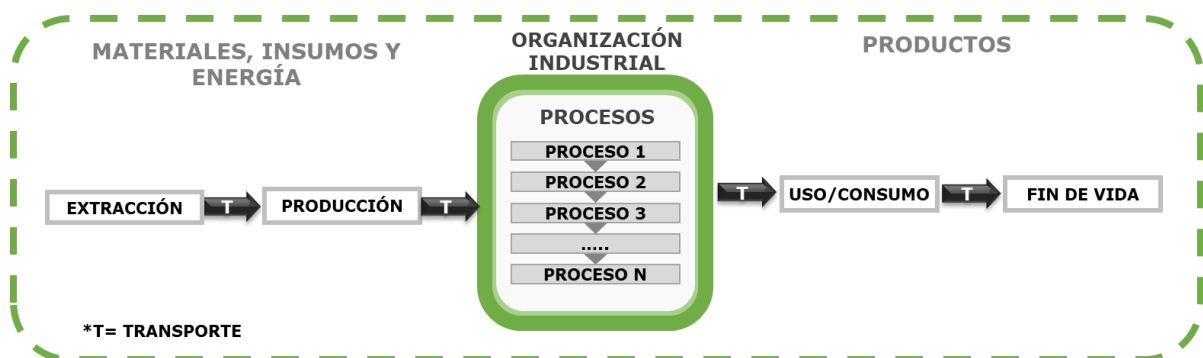
**Figura 3.1** Técnica de ASCV de organizaciones.  
 Fuente: Elaboración propia a partir de (ISO, 2006a)

A continuación, se describe la técnica propuesta según sus etapas.

### 3.2. Definición de objetivo y alcance del ASCV-O

Los objetivos de realizar un ASCV-O deben ser definidos por quienes llevan a cabo el estudio. Algunos de los objetivos posibles son: identificar puntos críticos, realizar el seguimiento del desempeño a lo largo del tiempo, comparar el desempeño de la organización frente a determinados escenarios. Asimismo, el objetivo no puede ser comparar organizaciones para hacer públicos los resultados, tal como sucede con el ACV-O (ISO, 2014).

El límite del sistema en el caso de un ASCV-O es la cadena de valor completa de la organización en estudio, incluyendo todas las entradas y salidas relacionadas con las actividades de la misma, al igual que en ACV-O (**Figura 3.2**). En base al análisis de los antecedentes de ACV-O se identificó que una práctica común consiste en excluir algunas etapas del ciclo de vida, acotando el alcance. En el caso de esta propuesta de ASCV-O se considera el ciclo de vida completo dejando la posibilidad de exclusión de etapas en cada caso particular.



**Figura 3.2** Límites del sistema.  
 Fuente: Elaboración propia

En el ASCV-O se propone que se asigne los impactos a una unidad de reporte, al igual que el ACV-O. La unidad de reporte puede incluir la organización completa o un parte de la misma. Es necesario cuantificar el flujo de reporte para un periodo de referencia que se tomará como base para el estudio. El ASCV-O no utiliza unidad funcional por lo que soluciona los problemas de

asignación de impactos sociales, mencionados en el apartado 2.3.1 del Capítulo 2, cuando el ASCV se aplica a productos.

Se concluye que las principales diferencias de ASCV-O con ASCV se dan en la etapa de definición de objetivo y alcance, al igual que sucede con ACV-O y ACV. Por esto mismo, en esta etapa el ASCV-O utiliza elementos y definiciones similares a los de ACV-O.

### 3.3. Análisis de inventario del ASCV-O

#### 3.3.1. Construcción de inventarios

Dada la complejidad de los inventarios necesarios para un ASCV-O es recomendable primero crear una tabla de entradas y salidas físicas a partir de un esquema como el ejemplificado en la **Figura 3.3**. Estas entradas y salidas pueden identificarse para toda la organización o por proceso de la misma, según el objetivo previamente definido.



**Figura 3.3** Ejemplo de esquema de entradas y salidas.

*Fuente: Elaboración propia*

A partir de estos flujos se construyen tres modelos de inventario: ambiental, económico y social. Es posible que no todos los flujos de entradas y salidas, o los procesos, estén presentes en todos los inventarios, tal como se identificó en el capítulo 2. Se puede establecer una regla de corte para excluir de un inventario las contribuciones menores que un valor determinado, por ejemplo, excluir las entradas que sean menores al 1% de todas las entradas del proceso. Las reglas de corte pueden estar basadas en un porcentaje de masa, volumen o costos, entre otros. Como resultado se obtienen tres inventarios que reflejan las características de cada dimensión. El inventario ambiental incluye información relativa a las emisiones al aire, agua, suelo y residuos del sistema; el económico, los costes; y el social, la información relativa a todas las partes interesadas.

Además de los datos, los inventarios deben indicar las fuentes de donde se han obtenido los mismos tal como se ejemplifica en **Tabla 3.1**.

**Tabla 3.1** Ejemplo de inventario

*Fuente: Elaboración propia*

| Entradas/salidas | Dato  | Fuente del dato        | Referencia  | Pedigree <sup>1</sup> |
|------------------|-------|------------------------|-------------|-----------------------|
| Entrada 1        | \$100 | Consulta a proveedores | Proveedor 1 | (1,1,1,1,1)           |
| .....            | ...   | ...                    | ...         | ...                   |

<sup>1</sup>Valoración de calidad de datos. Descrita en el próximo apartado

### 3.3.2. Análisis de calidad de datos

Existen diversos factores que afectan la calidad de los datos en un inventario por lo cual es importante realizar un análisis de la calidad de los mismos. En la presente tesis se propone el análisis de calidad de los datos de cada inventario mediante una evaluación de datos cualitativa a través de Matrices de Pedigree (o de genealogía de los datos) (Weidema, 1998; Weidema and Wesnæs, 1996). Este análisis fue propuesto por De Barba et al. (2014) para ASCV y analizado en el apartado 2.3.1 del capítulo 2. Cada matriz está compuesta por cinco indicadores de calidad de los datos: confiabilidad, representatividad o integridad, correlación temporal, correlación geográfica y correlación tecnológica, cada uno con una puntuación de 1 a 5. Una puntuación de 1 significa que los datos son de alta calidad con respecto a ese indicador en particular, y una puntuación de 5 significa que la calidad es baja.

En esta tesis se han desarrollado tres matrices modificadas (**Tabla 3.2, 3.3 y 3.4**) para la evaluación de los tres inventarios. Estas matrices se obtuvieron a partir del análisis de las actualizaciones del método de evaluación a través de Matrices de Pedigree (Weidema et al., 2013), de las matrices para evaluación de calidad de datos de ASCV identificadas en los antecedentes (De Barba et al., 2014) y del enfoque organizacional de la investigación. Los indicadores de calidad se han mantenido sin variación a excepción de “correlación tecnológica” que ha sido reemplazada por “correlación tecnológica y de sistema de costeo” para el inventario económico y “correlación de estilo de gestión de la organización” para inventario social (Goedkoop et al., 2020). Los criterios de valoración de cada indicador han sido modificados. En **negrita** se presentan las principales diferencias en los criterios respecto a las matrices identificadas en los antecedentes.

**Tabla 3.2.** Matriz de Pedigree ambiental.

*Fuente: Elaboración propia*

| Puntaje                 | 1  | 2   | 3  | 4   | 5  |
|-------------------------|--|---|--|---|--|
| Confiabilidad           | Datos verificados basados en mediciones  | Datos verificados en parte basados en suposiciones o datos no verificados basados en mediciones   | Datos no verificados basados en parte en estimaciones calificadas  | Estimación calificada (por ejemplo, experto industrial); datos derivados de información teórica (estequiometría, entalpía, etc.)            | Estimación no calificada   |
| Representatividad       | Datos representativos de todos los sitios relevantes para la <b>organización</b> considerada durante un período adecuado para igualar las fluctuaciones normales | Datos representativos de > 50% de los sitios relevantes para la <b>organización</b> durante un período adecuado para igualar las fluctuaciones normales | Datos representativos de solo algunos sitios (<< 50%) relevantes para la <b>organización</b> o > 50% de sitios, pero de períodos más cortos          | Datos representativos de un solo sitio relevante para la <b>organización</b> o algunos sitios, pero de períodos más cortos                  | Representatividad desconocida o datos de un pequeño número de sitios y de períodos más cortos        |
| Correlación temporal    | Menos de 3 años de diferencia con el periodo de referencia   | Menos de 6 años de diferencia con el periodo de referencia  | Menos de 10 años de diferencia con el periodo de referencia  | Menos de 15 años de diferencia con el periodo de referencia   | Edad de los datos desconocidos o más de 15 años de diferencia con el periodo de referencia           |
| Correlación geográfica  | Datos del área en estudio  | Datos promedio de un área más grande en la que se incluye el área en estudio  | Datos de un área más pequeña que el área en estudio, o de un área similar  | Datos de un área con condiciones de producción ligeramente similares  | Datos de un área desconocida o claramente diferente  |
| Correlación tecnológica | Datos de empresas, procesos y materiales en estudio (tecnología idéntica)  | Datos de procesos y materiales en estudio (tecnología idéntica) pero de diferentes empresas   | Datos sobre procesos o materiales relacionados pero la misma tecnología, o datos de procesos y materiales bajo estudio, pero de tecnología diferente | Datos sobre procesos o materiales relacionados y tecnología diferente, o datos sobre procesos a escala de laboratorio y la misma tecnología | Datos sobre procesos o materiales relacionados, pero a escala de laboratorio de tecnología diferente |

**Tabla 3.3.** Matriz de Pedigree económica.  
Fuente: *Elaboración propia*

| Puntaje   | 1  | 2   | 3   | 4   | 5  |
|---|--|---|---|---|--|
| Confiabilidad                                   | Datos verificados basados en mediciones  | Datos verificados en parte basados en suposiciones o datos no verificados basados en mediciones   | Datos no verificados basados en parte en estimaciones calificadas   | Estimación calificada (por ejemplo, experto industrial); datos derivados de información teórica.  | Estimación no calificada   |
| Representatividad                               | Datos representativos de los sitios relevantes para <b>la organización</b> durante un período adecuado para igualar fluctuaciones normales | Datos representativos de > 50% de los sitios relevantes para <b>la organización</b> durante un período adecuado para igualar las fluctuaciones normales | Datos representativos de solo algunos sitios (<< 50%) relevantes para <b>la organización</b> o > 50% de sitios, pero de períodos más cortos   | Datos representativos de un solo sitio relevante para <b>la organización</b> o algunos sitios, pero de períodos más cortos                      | Representatividad desconocida o datos de un pequeño número de sitios y de períodos más cortos        |
| Correlación temporal                            | Menos de <b>0.5</b> años de diferencia con el año de referencia  | Menos de <b>2</b> años de diferencia con el año de referencia   | Menos de <b>4</b> años de diferencia con el año de referencia   | Menos de <b>8</b> años de diferencia con el año de referencia   | Edad de los datos desconocidos o más de <b>8</b> años de diferencia con el año de referencia         |
| Correlación geográfica                          | Datos del área en estudio y <b>misma moneda</b>  | Datos promedio de un área más grande en la que se incluye el área en estudio y <b>misma moneda</b>  | Datos de un área con condiciones de costo ligeramente similares, <b>misma moneda o condiciones de costo similares y moneda similar.</b>   | Datos de un área con condiciones de costo ligeramente similares y <b>diferente moneda</b>   | Datos de un área desconocida o <b>con condiciones de costo diferentes</b>                            |
| Correlación tecnológica y de sistema de costeo. | Datos de empresas, procesos y materiales en estudio (es decir, tecnología idéntica)  | Datos de procesos y materiales en estudio (es decir, tecnología idéntica) pero de diferentes empresas <b>con sistema de costeo similar</b>              | Datos sobre procesos o materiales relacionados pero la misma tecnología, o datos de procesos y materiales bajo estudio, pero de tecnología diferente <b>y/o sistema de costeo diferente</b> | Datos sobre procesos o materiales relacionados, pero tecnología diferente, O datos sobre procesos a escala de laboratorio y la misma tecnología | Datos sobre procesos o materiales relacionados, pero a escala de laboratorio de tecnología diferente |



**Tabla 3.4.** Matriz de Pedigree social.  
Fuente: *Elaboración propia*

| Puntaje                           | 1  | 2   | 3   | 4  | 5   |
|-----------------------------------|--|---|---|--|---|
| Confiabilidad                     | Datos verificados basados en mediciones  | Datos verificados en parte basados en suposiciones o datos no verificados basados en mediciones   | Datos no verificados basados en parte en estimaciones calificadas   | Estimación calificada (por ejemplo, experto industrial); datos derivados de información teórica                            | Estimación no calificada  |
| Representatividad                 | Datos representativos de <b>todas las partes interesadas relevantes para el análisis</b> durante un período adecuado para igualar las fluctuaciones normales | Datos representativos de > 50% de las <b>partes interesadas relevantes para el análisis</b> durante un período adecuado para igualar las fluctuaciones normales | Datos representativos de <b>solo algunas partes interesadas</b> (< 50%) relevantes para el análisis o > 50% de las <b>partes interesadas</b> , pero de períodos más cortos        | Datos representativos de <b>solo una o dos partes interesadas relevantes para el estudio</b> , pero de períodos más cortos | Representatividad desconocida.  |
| Correlación temporal              | Menos de 3 años de diferencia con el año de referencia   | Menos de 6 años de diferencia con el año de referencia  | Menos de 10 años de diferencia con el año de referencia   | Menos de 15 años de diferencia con el año de referencia  | Edad de los datos desconocidos o más de 15 años de diferencia con el año de referencia      |
| Correlación geográfica            | Datos del área en estudio.   | Datos promedio de un área más grande en la que se incluye el área en estudio  | Datos de un área con <b>condiciones sociales</b> similares al área de estudio.  | Datos de un área con <b>condiciones sociales</b> ligeramente similares al área de estudio.                                 | Datos de un área desconocida o <b>con condiciones sociales diferentes</b>                   |
| Correlación con estilo de gestión | Datos de empresas, procesos y materiales en estudio (es decir, <b>estilo de gestión idéntico</b> )   | Datos de procesos y materiales en estudio, pero de diferentes empresas <b>con estilo de gestión similar</b>   | Datos sobre procesos o materiales relacionados pero el <b>mismo estilo de gestión</b> o datos de procesos y materiales bajo estudio, pero de <b>estilo de gestión diferente</b> . | Datos sobre procesos o materiales relacionados, pero <b>estilo de gestión diferente</b> .                                  | Datos sobre procesos o materiales no relacionados y de <b>estilo de gestión diferente</b> . |

Una vez evaluados todos los datos del inventario se calcula la calificación de calidad de datos (CCD) de cada elemento del inventario mediante la **Ecuación 3.2** (extraída de De Barba et al., 2014).

$$CCD = \frac{Co + Re + CTem + CG + CTec}{5} \quad (3.2)$$

Donde

Co: Confiabilidad

Re: Representatividad

CTem: Correlación Temporal

CG: Correlación Geográfica

CTec: Correlación Tecnológica

La calificación de calidad general de datos (CCGD) del inventario se obtiene por promedio de la CCD de todos los elementos del inventario. Según la tabla propuesta por Manfredi et al. (2012) (**Tabla 3.5**) se determina el nivel general de calidad de datos (NGCD) del inventario a partir del CCGD.

**Tabla 3.5.** Calificación general de calidad de datos.

*Fuente: Manfredi et al. (2012)*

| CCGD      | NGCD       |
|-----------|------------|
| <1.6      | Excelente  |
| 1.6 a 2.0 | Muy bueno  |
| 2.1 a 3.0 | Bueno      |
| 3.1 a 4.0 | Regular    |
| >4.1      | Deficiente |

### 3.4. Evaluación del impacto del ASCV-O

Esta etapa permite obtener indicadores para las diferentes categorías de impacto ambiental, social y económico. La descripción detallada y análisis de pertinencia de métodos de evaluación e indicadores se presenta a continuación. Los indicadores presentados en este capítulo se basan en los indicadores identificados en el análisis de antecedentes. Se han elegido y adaptado cuando ha sido necesario debido al enfoque organizacional de ASCV-O.

No todos los indicadores presentados en el presente capítulo son de utilidad en todos los casos de estudio. Se debe realizar análisis de materialidad (GRI, 2018; UNEP, 2020) para seleccionar los indicadores a incluir en el análisis. La materialidad se define como la característica de un impacto que posee tal relevancia e importancia que podría influir sustancialmente en las conclusiones del estudio, y las decisiones y acciones basadas en esas conclusiones.

### 3.4.1. Indicadores ambientales

Para la presente tesis solo se consideran modelos e indicadores de evaluación de efectos en el punto medio (*midpoint*) por ser los obligatorios según ISO (2006a, 2006b). Además, se identificó que fueron los más utilizados en los casos de estudio analizados en el capítulo 2.

Con el objeto de representar fenómenos complejos, se han desarrollado numerosos indicadores y métodos de evaluación de impacto de punto medio (PRé Sustainability B. V., 2020). En el capítulo 2 se identificó que el método más utilizado es CML-IA baseline (Guinée et al., 2002), seguido de ReCiPe-midpoint (Huijbregts et al., 2017). El método CML fue definido por Guinée et al. (2002) y actualizado en 2016<sup>1</sup>. Este método incluye diez indicadores de impacto obligatorios. La **Ecuación 3.3** presenta la estructura general de los indicadores ambientales (Guinée et al., 2002).

$$I_{cat} = \sum m_i * fc_{cat,i} \quad (3.3)$$

Donde:

I: Indicador de impacto

fc: Factor de caracterización del compuesto i

m<sub>i</sub> : cantidad del compuesto i (kg)

Las categorías de impacto, los indicadores y las unidades que las cuantifican según el método CML son brevemente descritos a continuación:

- **Agotamiento de recursos abióticos.** Cuyo indicador es **ADP**, por sus siglas en inglés (*Abiotic Depletion Potential*) [kg Sb eq.]. Este indicador está relacionado con la extracción de minerales y combustibles fósiles. El factor de caracterización de agotamiento abiótico se determina para cada extracción de minerales y combustibles fósiles (kg equivalentes de antimonio / kg de extracción) en función de las reservas de concentración y la tasa de desacumulación. El alcance geográfico de este indicador es a escala global.
- **Cambio climático.** Cuyo indicador es **GWP**, por sus siglas en inglés (*Global Warming Potential*) [kg CO<sub>2</sub> eq.]. Este indicador está relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El modelo de caracterización empleado fue desarrollado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Los factores se expresan como potencial de calentamiento global para un horizonte de tiempo de 100 años (GWP100), en kg de dióxido de carbono / kg de emisión. El alcance geográfico de este indicador es a escala global.
- **Agotamiento del ozono estratosférico.** Cuyo indicador es **ODP**, por sus siglas en inglés (*Ozone Depletion Potential*) [kg CFC-11 eq.]. Debido al agotamiento del ozono estratosférico, una fracción mayor de radiación UV-B llega a la superficie terrestre. Esto puede tener efectos nocivos sobre la salud humana, la salud animal, los ecosistemas terrestres y acuáticos, los ciclos bioquímicos y los materiales. El modelo de caracterización es desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y define el potencial

<sup>1</sup> <http://www.cml.leiden.edu/software/datacmlia.html>

de agotamiento del ozono de diferentes gases (kg CFC-11 equivalente / kg de emisión). El alcance geográfico de este indicador es a escala global. El lapso de tiempo es infinito.

- **Toxicidad humana.** Cuyo indicador es **HTP**, por sus siglas en inglés (*Human Toxicity Potential*) [kg 1,4 DB eq.]. Este indicador se refiere a los efectos de las sustancias tóxicas en el medio ambiente humano. No se incluyen los riesgos para la salud de la exposición en el entorno laboral. Los factores de caracterización de los potenciales de toxicidad humana (HTP), se calculan con USES-LCA, describiendo el destino, la exposición y los efectos de las sustancias tóxicas para un horizonte temporal infinito. Para cada sustancia tóxica, los HTP se expresan como equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg de emisión. El alcance geográfico de este indicador determina el destino de una sustancia y puede variar entre la escala local y global.
- **Ecotoxicidad acuática del agua dulce.** Cuyo indicador es **FAETP**, por sus siglas en inglés (*Fresh water Aquatic Eco Toxicity Potential*) [kg 1,4 DB eq.]. Este indicador de categoría se refiere al impacto en los ecosistemas de agua dulce, como resultado de las emisiones de sustancias tóxicas al aire, el agua y el suelo. El Potencial de Eco-toxicidad (FAETP) se calcula con USESLCA, describiendo el destino, exposición y efectos de sustancias tóxicas. El horizonte de tiempo es infinito. Los factores de caracterización se expresan como equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg de emisión. El indicador se aplica a escala global / continental / regional y local.
- **Ecotoxicidad marina.** Cuyo indicador es **MAETP**, por sus siglas en inglés (*Marine Aquatic Eco Toxicity Potential*) [kg 1,4 DB eq.]. La ecotoxicidad marina se refiere a los impactos de sustancias tóxicas en los ecosistemas marinos. Las demás características del indicador son similares a ecotoxicidad acuática del agua dulce.
- **Ecotoxicidad terrestre.** Cuyo indicador es **TETP**, por sus siglas en inglés (*Terrestrial Eco Toxicity Potential*) [kg 1,4 DB eq.]. Esta categoría se refiere a los impactos de sustancias tóxicas en los ecosistemas terrestres. Las demás características del indicador son similares a ecotoxicidad acuática del agua dulce.
- **Formación de fotooxidantes.** Cuyo indicador es **POCP**, por sus siglas en inglés (*Photochemical Ozone Creation Potential*) [kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq.]. La formación de fotooxidantes es la formación de sustancias reactivas (principalmente ozono) que son perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas y que también pueden dañar los cultivos. El factor de caracterización del potencial fotoquímico de creación de se calcula con el modelo de trayectoria de la UNECE (incluido el destino) y se expresa en kg equivalentes de etileno / kg de emisión. El lapso de tiempo es de 5 días y la escala geográfica varía entre escala local y continental.
- **Acidificación.** Cuyo indicador es **AP**, por sus siglas en inglés (*Acidification Potential*) [kg SO<sub>2</sub> eq.]. Las sustancias acidificantes causan una amplia gama de impactos en el suelo, las aguas subterráneas, las aguas superficiales, los organismos, los ecosistemas y los materiales. El potencial de acidificación de las emisiones a la atmósfera se calcula con el modelo RAINS 10 adaptado, que describe el destino y la deposición de las sustancias acidificantes. AP se expresa como kg de equivalentes de SO<sub>2</sub> / kg de emisión. El lapso de tiempo es infinito y la escala geográfica varía entre la escala local y continental.
- **Eutrofización.** Cuyo indicador es **EP**, por sus siglas en inglés (*Eutrophication Potential*) [kg PO<sub>4</sub>... eq.]. La eutrofización incluye todos los impactos debidos a niveles excesivos de

macronutrientes en el medio ambiente provocados por las emisiones de nutrientes al aire, el agua y el suelo. El factor de caracterización de EP se basa en el procedimiento estequiométrico de Heijungs (1992) y se expresa como equivalentes de kg de PO4 por kg de emisión. El destino y la exposición no están incluidos, el lapso de tiempo es infinito y la escala geográfica varía entre la escala local y la continental.

### 3.4.2. Indicadores económicos

Algunos de los indicadores identificados en el **Capítulo 2** se excluyeron por presentar la misma información que otros (por ejemplo, la tasa interna de retorno permite obtener las mismas conclusiones que el periodo de recupero) y/o por no adecuarse al enfoque organizacional del ASCV-O (por ejemplo, contribución al PBI o valor agregado de un producto). Se proponen cuatro indicadores económicos:

**Costo total anual (CTA).** El indicador económico más común identificado en los antecedentes fue el costo del ciclo de vida, el cual para el enfoque organizacional, se interpreta como el CTA (European Commission, 2006). Este indicador es idóneo para comparar escenarios ya que tiene en cuenta la inversión inicial cuando se realiza una mejora y la afectación que esta mejora puede generar sobre los costos de la organización. El CTA se obtiene mediante la **Ecuación (3.4)**

$$CTA_k = \left[ \sum_{t=0}^n \frac{Inv_k + COM_{tk}}{(1+r)^t} \right] \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] [\text{ARS/año}] \quad (3.4)$$

donde

k - escenario en análisis

Inv<sub>k</sub> - Inversión necesaria para el escenario k en el año base [ARS]

r - tasa de descuento []

n - vida útil del equipo / planta [años]

COM<sub>tk</sub> - costos de operación y mantenimiento del escenario k en el año t [ARS]

**Ingreso total anual (ITA).** El presente indicador incluye los ingresos anuales de la organización por las ventas de todos los productos generados (**Ecuación 3.5**). De manera análoga a la Ecuación 3.4 se tiene en cuenta la tasa de descuento y la variación año a año de los ingresos.

$$ITA_k = \left[ \sum_{t=0}^n \frac{Ing_{tk}}{(1+r)^t} \right] \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] [\text{ARS/año}] \quad (3.5)$$

donde

k - escenario en análisis

Ing<sub>tk</sub> – ingresos del escenario k en el año t [ARS]

r - tasa de descuento []

n - vida útil del equipo / planta [años]

**Utilidad operativa (UO).** Se calcula como los ingresos totales anuales menos costos totales anuales. La UO (**Ecuación 3.6**) muestra el éxito relativo de la organización para cumplir las obligaciones financieras a corto plazo, como pagar impuestos, reembolsar a sus acreedores y financiar sus inversiones (Cihat Onat et al., 2016; Pashaei Kamali et al., 2017).

$$UO_k = ITA_k - CTA_k [\text{ARS/año}] \quad (3.6)$$

**Periodo de recuperación (PR).** El PR (**Ecuación 3.7**) o periodo de retorno como lo llaman algunos autores, muestra el tiempo requerido para recuperar la inversión original de los beneficios que genera (Ibáñez-Forés et al., 2013).

$$PR_k = \frac{Inv_k}{UO_k - UO_0} [\text{años}] \tag{3.7}$$

### 3.4.3. Indicadores sociales

Los impactos sociales de una organización dependen más de sus políticas y valores internos, de su entorno y su cadena de valor, que de sus procesos y actividades. Por ejemplo, el cambio de una materia prima virgen por una reciclada no genera un impacto social por sí mismo, pero si esa materia prima reciclada proviene de una cooperativa social conformada por personas en situación de vulnerabilidad sí se genera un impacto social. Por esta razón resulta difícil identificar un grupo reducido de indicadores sociales para evaluar OI. En la presente tesis se propone un listado amplio de categorías, subcategorías e indicadores (**Tabla 3.6**) propuesto a partir de los análisis realizados en los apartados 2.3.1, 2.3.3 y 2.4. A partir de este listado se deberán seleccionar las aplicables para evaluar el impacto social de la organización en análisis sobre sus partes interesadas<sup>2</sup>.

**Tabla 3.6.** Categorías, subcategorías e indicadores por parte interesada.

*Fuente: Elaboración propia*

| Categoría            | Subcategoría                | Indicador                                   | Código   |   |
|----------------------|-----------------------------|---|--|---|
| Derechos Humanos     | Trabajo infantil            | Presencia de trabajo infantil               | 1.1.1  |   |
|                      | Trabajo Forzado             | Presencia de trabajo forzado                | 1.1.2  |   |
|                      | Igualdad (o Discriminación) |   | Igualdad de género   | 1.1.3a  |
|                      |                             |   | Diferencia de remuneración por género                          | 1.1.3b  |
|                      |                             |   | Presencia de discriminación                                    | 1.1.3c  |
|                      |                             | Integridad                                  | Presencia de acoso   | 1.1.4   |
|                      | Derechos del trabajador     | Libertad asociación y negociación colectiva | Trabajadores asociados a uniones laborales                     | 1.2.1   |
|                      |                             | Trabajo informal                            | Trabajadores informales  | 1.2.2   |
|                      |                             | Cobertura obra social                       | Trabajadores con cobertura de obra social                      | 1.2.3   |
|                      |                             | Aportes jubilatorios                        | Trabajadores con aportes jubilatorios                          | 1.2.4   |
|                      |                             | Vacaciones                                  | Trabajadores con vacaciones                                    | 1.2.5   |
|                      |                             | Beneficios sociales                         | Trabajadores con otros beneficios sociales                     | 1.2.6   |
|                      |                             | Horas de trabajo                            | Horas semanales efectivamente trabajadas por empleado          | 1.2.7   |
|                      |                             | Salario justo                               |  | Salario de trabajadores comparado con Salario Mínimo Vital y Móvil (SMVM) |
|                      |                             |   | Actualización de salarios                                      | 1.2.8 b   |
| Salud y seguridad    |                             | Seguridad y protección de trabajadores      | Trabajadores que utilizan Equipos de Protección Personal (EPP) | 1.3.1   |
|                      | Salud a largo plazo         |   | Días perdidos por enfermedad y/o accidente laboral             | 1.3.2a  |
|                      |                             |   | Ocurrencia de heridas y/o accidentes laborales                 | 1.3.2b  |
| Satisfacción Laboral | Relación laboral            |   | Puestos de trabajos perdidos en la organización                | 1.4.1.a   |
|                      |                             |   | Tasa de rotación interna de personal                           | 1.4.1.b   |
|                      | Capacitación Laboral        | Acceso a capacitación Laboral               | 1.4.2  |   |
|                      | Reclamos                    | Reclamos o quejas de trabajadores           | 1.4.3  |   |

<sup>2</sup> La parte interesada niños, incorporada a ACV-SO por UNEP (2020) no ha sido considerada en la presente tesis debido a que no se identificaron indicadores para su medición durante el análisis realizado en el **Capítulo 2**

**Tabla 3.7 (continúa).** Categorías, subcategorías e indicadores por parte interesada. *Fuente: Elaboración propia*

|   | <b>Categoría</b>            | <b>Subcategoría</b>                 | <b>Indicador</b>   | <b>Código</b>                                |   |
|---|-----------------------------|-------------------------------------|--|--|---|
| <b>Actores de la cadena de valor</b>      | Proveedores                 | Relación con proveedores            | Reclamos de proveedores  | 2.1.1  |   |
|   |                             | Promoción de responsabilidad social | Proveedores evaluados según criterios sociales                     | 2.1.2  |   |
|   |                             | Respeto de propiedad intelectual    | Compromiso con respeto de propiedad intelectual                    | 2.2.1  |   |
|   | Competidores                | Competencia justa                   | Acciones legales por competencia desleal                           | 2.2.2  |   |
|   | Desarrollo social           | Compromiso con la comunidad         | Productos adaptados a capacidad de compra de comunidad             |  | 3.1.1a                                      |
| Participación en iniciativas de comunidad |                             |                                     |  | 3.1.1b                                       |   |
| <b>Comunidad local</b>                    |                             | Respeto de derechos indígenas       | Compromiso de respeto a los derechos indígenas                     | 3.1.2  |   |
|   |                             | Cuidado del patrimonio cultural     | Compromiso de respeto del patrimonio cultural                      | 3.1.3  |   |
|   |                             | Acceso a recursos inmateriales      | Presencia de acciones de fortalecimiento de desarrollo comunitario | 3.1.4  |   |
|   | Desarrollo económico        | Empleo local                        | Trabajadores locales   |  | 3.2.1                                       |
| Generación de ingresos locales            |                             |                                     | Compras locales  | 3.2.2  |   |
| <b>Sociedad</b>                           | Desarrollo tecnológico      | Desarrollo tecnológico              | Participación en investigaciones                                   | 4.1.1  |   |
|   | Desarrollo económico        | Creación de empleo                  | Creación de nuevos empleos   | 4.2.1  |   |
|   |                             |                                     | Desarrollo social  | Sostenibilidad                               | Compromiso con cuestiones de sostenibilidad |
|   |                             | Rol en el desarrollo de conflictos  | Corrupción   | Compromiso con la lucha contra corrupción    | 4.3.2                                       |
|   |                             |                                     | Salud y seguridad  | Reclamos de clientes sobre salud y seguridad | 5.1.1                                       |
| Mecanismos de retroalimentación           |                             |                                     | Presencia de mecanismos de retroalimentación                       | 5.1.2  |   |
| <b>Consumidor</b>                         | Satisfacción del consumidor | Privacidad                          | Reclamos de clientes respecto a su privacidad                      | 5.1.3  |   |
|   |                             | Transparencia                       | Reclamos de clientes sobre transparencia                           | 5.1.4  |   |

Todos los indicadores propuestos en la **Tabla 3.6** se basan en escalas de referencia (Tipo I según definición de UNEP (2020)). Con el objeto para facilitar representación e interpretación integrada con los análisis ambiental y económico se proponen escalas numéricas y normalizadas. Para esto se han definido dos tipos de escalas:

- **Binarias:** Escala utilizada por los indicadores que por su naturaleza se puede definir un valor binario, sin posibilidad de valores intermedios. Según Martínez-Blanco et al. (2015) este tipo de indicadores responden al enfoque de incidentes, que solo evalúa si un determinado atributo aparece o no sin tener en cuenta la intensidad.
- **Lineales:** Escala utilizada por los indicadores cuya valoración se obtiene a través de una representación lineal entre la situación óptima y la situación más desfavorable. Los parámetros de la representación lineal varían según el fenómeno que representan.

En todos los casos se han normalizado las escalas de referencia con el objeto de que 100 puntos corresponden al peor comportamiento, 0 puntos al comportamiento aceptable, que cumple con los estándares mínimos y -100 al mejor comportamiento. De esta forma los impactos negativos tendrán valoración mayor a cero y los beneficios o impactos positivos menor a cero. El objetivo de esta escala que puede resultar no intuitiva es la correlación con las escalas de impacto

ambiental donde los valores positivos de un determinado indicador de impacto son considerados impactos al ambiente mientras que un valor negativo significa un impacto evitado.

Para cada uno de los indicadores de la **Tabla 3.6** se presentan criterios y definiciones necesarios para evaluar una organización industrial en Argentina. La razón de tal especificidad es que los indicadores sociales son dependientes del entorno de la organización y el caso de estudio seleccionado en la presente investigación es una OI de Argentina. A pesar de lo anterior estos criterios y definiciones pueden ser utilizados para otros países siempre que sean adaptados previamente.

A continuación, se presentan los criterios particulares de valoración y definiciones necesarias para cada indicador, así como los modelos y gráficos de valoración y normalización de las escalas lineales.

#### **Indicador 1.1.1 Presencia de trabajo infantil (binario)**

Se considera trabajo infantil como trabajo que priva a los niños de su infancia, su potencial y su dignidad, lo cual es perjudicial para el desarrollo físico y mental (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Se refiere al trabajo que:

1. Es mental, física, social o moralmente peligroso y perjudicial para los niños.
2. Puede privarlos de la oportunidad de asistir a la escuela.
3. Puede obligarlos a abandonar la escuela prematuramente.
4. Puede requerirles que intenten combinar la asistencia escolar con un trabajo excesivamente largo y pesado.

Se asigna 100 puntos si existe al menos un caso de trabajo infantil y 0 puntos caso contrario.

#### **Indicador 1.1.2 Presencia de trabajo forzado (binario)**

Trabajo forzado es cualquier trabajo o servicio que se exija de cualquier persona bajo la amenaza de una multa, y para el cual esa persona no se ha ofrecido voluntariamente. Proporcionar salarios u otra compensación a un trabajador no necesariamente indica que el trabajo no es forzado u obligatorio. Por derecho, la mano de obra debe ofrecerse voluntariamente y los trabajadores deben tener la libertad de dejar el empleo en cualquier momento de acuerdo con las normas establecidas (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Para identificarlo se utilizan los siguientes criterios:

- Los trabajadores acuerdan voluntariamente y comprenden las condiciones de empleo.
- La documentación personal del trabajador no es retenida durante el empleo.
- Los trabajadores son libres de terminar su empleo dentro de los límites vigentes.
- Los trabajadores no están vinculados por deudas que exceden los límites legales del empleador.

Este indicador evalúa la presencia o no de trabajo forzado. Se asigna 100 puntos si existe al menos un caso trabajo forzado y 0 puntos caso contrario.

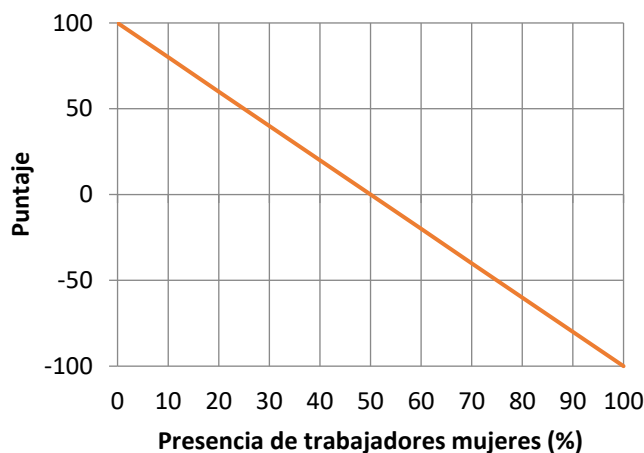
#### **Indicador 1.1.3.a Igualdad de género (lineal)**

En Mendoza (provincia de Argentina) solo el 40% de los trabajadores son mujeres<sup>3</sup> cuando la población es mayoritariamente femenina, según el último censo nacional (2010). Si una

<sup>3</sup> Datos de 2018 <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Institucional-Indec-BasesDeDatos>



organización posee mayor proporción de trabajadoras mujeres se puede considerar que está aportando a disminuir la brecha para alcanzar la igualdad de género. Para la presente investigación se considerará positivo que una organización tenga mayoría de trabajadoras mujeres (siempre dentro de la situación de contexto mencionada donde la participación de mujeres en actividades laboral es menor a la de hombres). En conclusión, se considera como situación de cumplimiento con estándares mínimos a 50% de trabajadores mujeres (0 puntos), situación ideal un 100% de trabajadores mujeres (-100 puntos) y la peor situación 0% trabajadores mujeres (100 puntos). Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.4** y la **Ecuación (3.8)**.



**Figura 3.4** Escala de valoración de indicador 1.1.3. a.  
Fuente: *Elaboración propia*

La ecuación correspondiente es

$$f(x) = 100 - 2x \tag{3.8}$$

Donde

$x =$  porcentaje de trabajadoras mujeres

**Indicador 1.1.3.b Diferencia de remuneración por género (binario)**

La diferencia de remuneración por género, considerando como base el Disclosure 405-2 Ratio de salario básico y remuneraciones de mujeres y hombres (GRI, 2018) puede ser definido como cualquier diferencia de salario identificada en la organización considerando salario básico y remuneración entre mujeres y hombres considerando igualdad de puesto y de obligaciones. Se asigna 100 puntos si existe al menos un caso de esta práctica y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 1.1.3.c Presencia de discriminación (binario)**

La discriminación laboral considera cualquier distinción, exclusión o preferencia hecha en base a raza, color, sexo, religión, opinión política, extracción nacional u origen social, que tenga el efecto de anular o menoscabar la igualdad de oportunidades o trato en el empleo u ocupación; y cualquier otra distinción, exclusión o preferencia que el miembro interesado considere después de consultar con las organizaciones representativas de trabajadores, cuando existan, y

con otros organismos apropiados (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Se asigna 100 puntos si existe al menos un caso de discriminación y 0 puntos caso contrario.

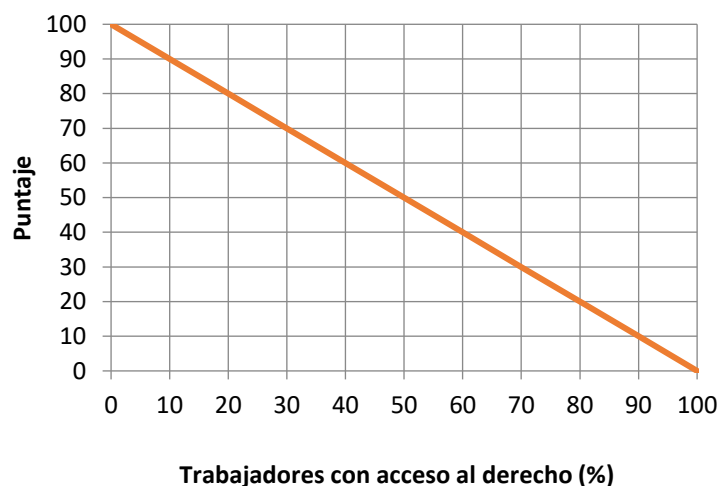
**Indicador 1.1.4 Presencia de acoso (binario)**

Se considera acoso laboral al hostigamiento en el puesto de trabajo, determinado por acciones acosadoras directas contra un trabajador o grupos y caracterizadas por su frecuencia (al menos semanal), su duración en el tiempo (al menos seis meses) y su sistematicidad (Ferrari et al., 2015). Se asignan 100 puntos si existe al menos un caso de acoso laboral y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 1.2.1 Trabajadores asociados a uniones laborales (lineal)**

La libertad de asociación de los trabajadores ha sido definida por UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2013) e implica que todos los trabajadores y empleadores tienen el derecho de establecer y unirse a las organizaciones de su elección, sin autorización previa, para promover y defender sus respectivos intereses, y para negociar colectivamente con otras partes. Deben poder hacerlo libremente, sin interferencia de otros partidos o del estado, y no deben ser discriminados como resultado de la afiliación sindical.

Este indicador es lineal con pendiente negativa donde la situación ideal (0 puntos) corresponde a que todos los trabajadores tienen libertad de asociación. La situación más desfavorable (100 puntos) corresponde a que ningún trabajador de la organización tiene acceso a uniones laborales. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.5** y la **Ecuación (3.9)**.



**Figura 3.5** Escala de valoración de indicadores 1.2.1, 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5 y 1.3.1.  
Fuente: Elaboración propia

La ecuación correspondiente es

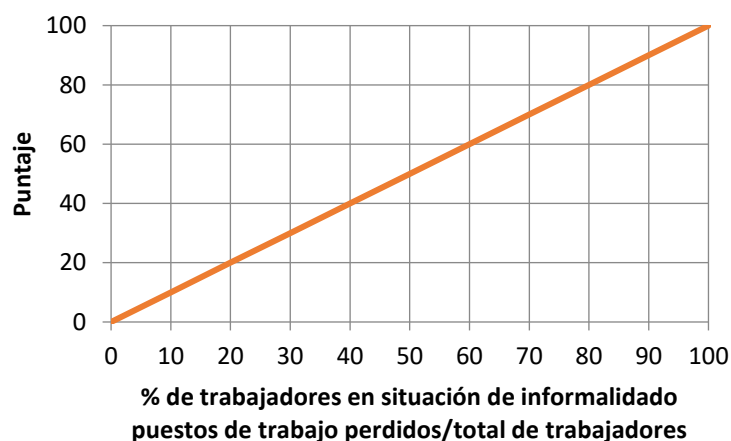
$$f(x) = 100 - x \tag{3.9}$$

Donde

*x = porcentaje de trabajadores con acceso al derecho analizado*

### Indicador 1.2.2 Trabajadores informales

La informalidad laboral es la falta de registro de la relación laboral asalariada en la seguridad social y la inscripción de los trabajadores independientes en la administración fiscal. En Argentina, durante 2014 afectó a 4 de cada 10 trabajadores. El problema es más elevado entre los trabajadores independientes, donde la incidencia es cercana al 60%, que entre los trabajadores asalariados, donde es del orden del 35% (Bertranou and Casanova, 2014). Es importante remarcar que los últimos años la crisis socioeconómica se ha agravado por lo que este valor probablemente ha aumentado, aunque no se cuentan con datos representativos. En base los datos del entorno y con el objeto de relevar la situación actual de las organizaciones se valora este indicador linealmente, aunque debería cumplirse en todos los casos. Se considera como situación óptima que ningún trabajador de la organización se encuentra en situación de informalidad (0 puntos) y como situación más desfavorable que todos los trabajadores son informales (100 puntos). Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.6** y la **Ecuación (3.10)**.



**Figura 3.6** Escala de valoración de indicadores 1.2.2 y 1.4.1.a.  
Fuente: Elaboración propia

La ecuación correspondiente es

$$f(x) = x \tag{3.10}$$

Donde

$x$  = % trabajadores en situación de informalidad o de puestos de trabajo perdidos

### Indicador 1.2.3 Trabajadores con cobertura de obra Social (lineal)

La cobertura de obra social y aportes jubilatorios (Indicador 1.2.4) se enmarca en la definición de beneficios sociales/ seguridad social (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Son definidos como compensación laboral no monetaria.

Este indicador es lineal con pendiente negativa donde la situación ideal (0 puntos) corresponde a que todos los trabajadores tienen cobertura de obra social y la situación más desfavorable

(100 puntos) corresponde a que ningún trabajador de la organización tiene acceso a esta cobertura. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.5** y la **Ecuación (3.9)**.

**Indicador 1.2.4 Trabajadores con aportes jubilatorios (lineal)**

Al igual que el indicador 1.2.3, este indicador es lineal con pendiente negativa donde la situación ideal (0 puntos) corresponde a que todos los trabajadores tienen aportes jubilatorios y la situación más desfavorable (100 puntos) corresponde a que ningún trabajador de la organización tiene este beneficio. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.5** y la **Ecuación (3.9)**.

**Indicador 1.2.5 Trabajadores con vacaciones (lineal)**

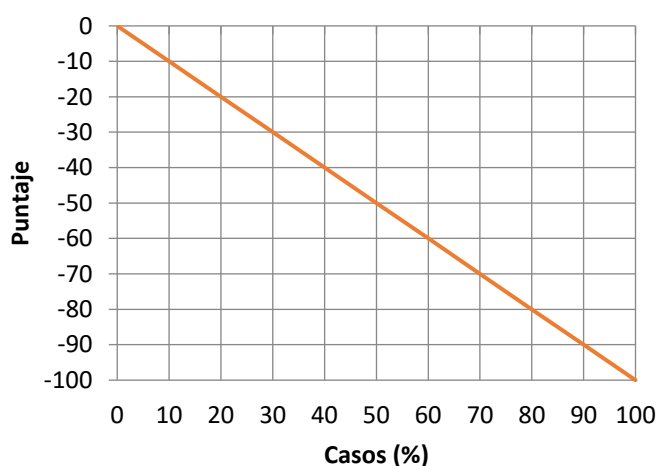
La definición de vacaciones para el indicador 1.2.5 se basa en el marco normativo de Argentina. La Constitución Nacional y la Ley Nº 20.744 de Contrato de Trabajo garantizan la provisión de vacaciones anuales pagas a los trabajadores. Si bien es obligatorio para los trabajadores en regla, dada la alta tasa de informalidad de Argentina, en la presente evaluación se analiza por separado si este derecho es percibido por los trabajadores de la organización.

Este indicador es lineal con pendiente negativa donde la situación ideal (0 puntos) corresponde a que todos los trabajadores tienen vacaciones y la situación más desfavorable (100 puntos) corresponde a que ningún trabajador de la organización tiene acceso a este beneficio. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.5** y la **Ecuación (3.9)**.

**Indicador 1.2.6 Trabajadores con otros beneficios sociales (lineal)**

Dentro de otros beneficios sociales se considera si los trabajadores tienen acceso a planificación de la jubilación, días libres, programas de bienestar, guardería, trabajo remoto y horarios flexibles.

Este indicador alcanza la situación óptima (-100 puntos) si todos los trabajadores tienen acceso a alguno de los beneficios sociales mencionados. Al ser beneficios, el indicador no toma valores positivos y se considera 0 puntos si ningún trabajador tiene acceso a estos beneficios. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.7** y la **Ecuación (3.11)**.



**Figura 3.7** Escala de valoración de indicadores 1.2.6, 1.4.1.b, 1.4.2, 2.1.2, 3.2.1, 3.2.2 y 4.2.1.

*Fuente: Elaboración propia*

La ecuación correspondiente es

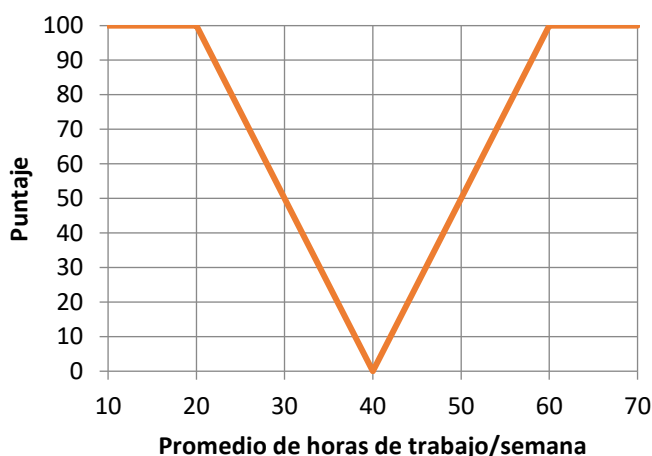
$$f(x) = -x \tag{3.11}$$

Donde

$x = \%$  de casos (trabajadores o proveedores con acceso al beneficio analizado )

**Indicador 1.2.7 Horas semanales efectivamente trabajadas por empleado (lineal)**

Valoración lineal entre cantidad óptima de horas de trabajo (40 h/semana = 0 puntos) y extremos ya sea por sobreocupación de los trabajadores o subocupación. Se considera saturado el indicador cuando la cantidad de horas de trabajo supera 60 horas/semana (sobreocupación) o cuando se encuentra por debajo de 20 horas/semana (subocupación) (100 puntos) (Ibáñez-forés et al., 2019). Para evitar la compensación entre trabajadores se promedian los valores absolutos de las diferencias con la cantidad de horas de trabajo óptimas para todos los trabajadores. La **Figura 3.8** y la **Ecuación (3.12)** permiten obtener los valores de este indicador.



**Figura 3.8** Escala de valoración de indicador 1.2.7.

*Fuente: Elaboración propia*

La ecuación correspondiente es

$$f(x) = \begin{cases} 100 & \text{si } \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - 40|}{n} < 20 \\ 5 * \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - 40|}{n} & \text{si } 20 < x < 60 \\ 100 & \text{si } 60 < \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - 40|}{n} \end{cases} \tag{3.12}$$

Donde

$n =$  cantidad de trabajadores

$x_i =$  cantidad de horas e trabajo del trabajador  $i$

**Indicador 1.2.8.a Salario de trabajadores comparado con Salario Mínimo Vital y Móvil (SMVM) (binario)**

El salario justo o digno es un salario que permite a los trabajadores y sus familias satisfacer sus necesidades de alimentos nutritivos, agua, vivienda, ropa, educación, atención médica y transporte, además de proporcionar un ingreso discrecional. Generalmente es más alto que el salario mínimo en muchos lugares (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). En Argentina este salario se denomina Salario Mínimo Vital y Móvil (SMVM) y su valor es definido y actualizado por el Ministerio de Producción y Trabajo. El salario de todos los trabajadores de la organización debe ser superior al SMVM. Se asigna 100 puntos si existe al menos un trabajador cuyo salario no supere el SMVM y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 1.2.8.b Actualización de salarios (binario)**

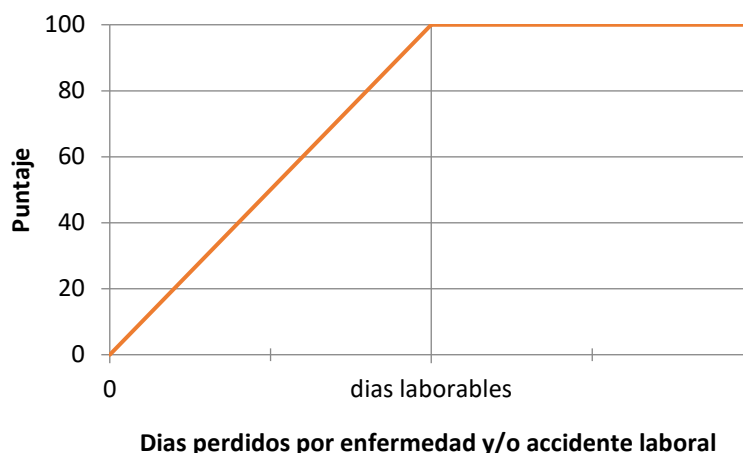
El indicador de actualización de salarios, resulta de gran importancia en países con altas tasas de inflación, como Argentina. La definición de este indicador se basa en uno de los campos de Evaluación de Impacto B (V6) (B Lab, 2021). Se analiza si todos los trabajadores de la organización recibieron un aumento de sus salarios el último año que al menos sea equivalente a la tasa de inflación en el país. Se asigna 100 puntos si existe al menos un caso donde no se cumpla esta condición y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 1.3.1 Trabajadores que utilizan Equipos de Protección Personal (EPP) (lineal)**

El presente indicador evalúa el acceso de los trabajadores a Equipos de Protección Personal (EPP) y su utilización efectiva en todas las situaciones necesarias, tal y como lo propone (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Este indicador es lineal con pendiente negativa donde la situación ideal (0 puntos) corresponde a que todos los trabajadores utilizan EPP y la situación más desfavorable (100 puntos) corresponde a que ningún trabajador de la organización tiene acceso a EPP. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.5** y la **Ecuación (3.9)**.

**Indicador 1.3.2.a Días perdidos por enfermedad y/o accidente laboral.**

Se valoran la cantidad de días perdidos por enfermedades y/o accidentes laborales en la organización (sobre el total de trabajadores para que el tamaño de la organización no influya al indicador). Se considera como situación óptima que no se ha perdido ningún día en el último año (0 puntos) y se considera saturación del indicador si se perdieron los días equivalentes a un año de trabajo de un trabajador (100 puntos). En caso de que la organización no contabilice los días perdidos se deberá asignar la puntuación máxima (100 puntos). Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.9** y **Ecuación (3.13)**.



**Figura 3.9** Escala de valoración de indicador 1.3.2a.

*Fuente: Elaboración propia*

$$f(x) = \begin{cases} \frac{100}{d} * x & \text{si } x < d \\ 100 & \text{si } d < x \end{cases} \quad (3.13)$$

Donde

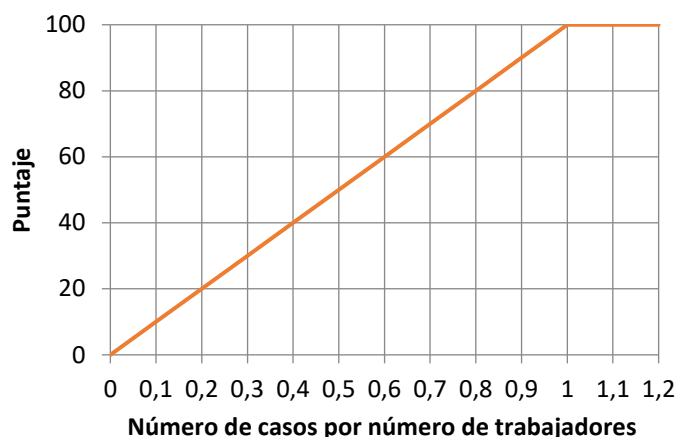
x = días perdidos por enfermedad y/o accidente laboral

d = días laborables

### **Indicador 1.3.2.b Ocurrencia de heridas y/o accidentes laborales**

El presente indicador valora los accidentes y/o heridas sufridas por los trabajadores de la organización durante el último año. Se normaliza la cantidad de casos al dividirla por el total de trabajadores para que el tamaño de la organización no influya en el indicador. Se considera como situación óptima si no ha ocurrido ningún caso (0 puntos) y se considera saturación del indicador si se ha producido el equivalente a un caso por trabajador de la organización (100 puntos). Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.10** y **Ecuación (3.14)**.

En caso de que la organización no contabilice los accidentes y/o heridas sufridas por los trabajadores se deberá asignar la puntuación máxima (100 puntos).



**Figura 3.10** Escala de valoración de indicadores 1.3.2b y 1.4.3.

*Fuente: Elaboración propia*

La ecuación correspondiente es

$$f(x) = \begin{cases} 100 * x & \text{si } 0 < x < 1 \\ 100 & \text{si } 1 < x \end{cases} \quad (3.14)$$

Donde

$$x = \frac{\text{Número de incidentes}}{\text{Número de trabajadores}}$$

#### **Indicador 1.4.1.a Puestos de trabajo perdidos en la organización (lineal)**

Este indicador evalúa los empleos perdidos en la organización durante el periodo de análisis, pero no los empleos creados, ya que lo que se busca es evaluar impactos sobre los trabajadores en este caso. Se considera como empleo perdido cuando un trabajador es despedido o renuncia y ese puesto no es vuelto a ocupar por un nuevo trabajador (GRI, 2018). Se considera como situación óptima si no se ha perdido ningún puesto de trabajo en el último año (0 puntos) y como peor situación si se han perdido todos los puestos de trabajo en el último año (100 puntos). Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.6** y la **Ecuación (3.10)**.

#### **Indicador 1.4.1.b Tasa de rotación (lineal)**

La posibilidad de acceder a rotaciones y ascensos dentro de la misma organización es considerada un beneficio para los trabajadores (BLab, 2021; GIIN, 2021; GRI, 2018). Por esta razón el presente indicador alcanza la situación óptima (-100 puntos) si todos los trabajadores tienen acceso a rotaciones y toma su peor valor (0 puntos) si ningún trabajador tiene acceso a este beneficio. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.7** y la **Ecuación (3.11)**.

#### **Indicador 1.4.2 Acceso a capacitación Laboral (lineal)**

De manera similar al Indicador 1.4.1.b la posibilidad de recibir capacitaciones laborales como parte de la actividad laboral es un beneficio para los trabajadores (BLab, 2021; GIIN, 2021; GRI, 2018). Este indicador alcanza la situación óptima (-100 puntos) si todos los trabajadores tienen



acceso a capacitación y toma su peor valor (0 puntos) si ningún trabajador tiene acceso. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.7** y la **Ecuación (3.11)**.

#### **Indicador 1.4.3 Reclamos o quejas de trabajadores.**

El presente indicador valora la cantidad de reclamos producidos por los trabajadores durante el último año. Al igual que el indicador 1.3.2b se normaliza la cantidad de casos al dividirla por el total de trabajadores. Se considera como situación óptima si no se ha registrado ningún reclamo (0 puntos) y se considera saturación del indicador si se ha producido el equivalente a un reclamo por cada trabajador (100 puntos). Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.10** y **Ecuación (3.14)**.

#### **Indicador 2.1.1 Reclamos de proveedores (binario)**

Los reclamos de proveedores permiten identificar si existe una simple relación basada en la transacción o si la organización se implica más profundamente logrando contribuir a mejorar las condiciones sociales de sus proveedores. Para la indicador 2.1.1 se consideran los reclamos de proveedores relacionados con comunicaciones coercitivas, fluctuaciones de volumen irrazonables o pagos fuera de tiempo (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Se asigna 100 puntos si existe al menos un reclamo relacionado con las cuestiones mencionadas y 0 puntos caso contrario.

#### **Indicador 2.1.2 Proveedores evaluados según criterios sociales (lineal)**

La consideración de criterios sociales durante la evaluación de proveedores está relacionado con la promoción de responsabilidad social corporativa a lo largo de la cadena de valor con el objetivo final de crear valor social (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). El presente indicador alcanza el valor óptimo (-100 puntos) si todos los proveedores son evaluados según criterios sociales y toma su peor valor (0 puntos) si ningún proveedor es evaluado socialmente. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.7** y la **Ecuación (3.11)**.

#### **Indicador 2.2.1 Compromiso con respeto de propiedad intelectual (binario)**

Un compromiso público es una promesa o acuerdo hecho por una organización, o un grupo de ellas con alguna parte interesada, cuyo cumplimiento puede evidenciarse de manera transparente y abierta. Por ejemplo mediante la política, estrategias u objetivos de mejora del rendimiento e informes públicos de progreso o compromisos difundidos a través del sitio web de la organización, materiales promocionales u otros medios (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013).

Este indicador puntúa -100 puntos si existe al menos una evidencia de compromiso con el respeto de la propiedad intelectual y 0 puntos caso contrario.

#### **Indicador 2.2.2 Acciones legales por competencia desleal (binario)**

La presencia de acciones legales por competencia desleal en contra de la organización permite conocer si las actividades competitivas de la organización se llevan a cabo de manera justa y de conformidad con las leyes que impiden el comportamiento anticompetitivo, antimonopolio o prácticas de monopolio (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Se asigna 100 puntos si existe al menos una acción legal de este tipo y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 3.1.1a Productos adaptados a la capacidad de compra de la comunidad e Indicador 3.1.1b Participación en iniciativas de la comunidad (binarios)**

Estos indicadores evalúan el compromiso con la comunidad local. Este indicador tiene como objetivo identificar si la organización incluye a las partes interesadas de la comunidad en los procesos de toma de decisiones relevantes. También considera el grado en que la organización se involucra con la comunidad (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Estos indicadores asignan -100 puntos si existe al menos un producto adaptado a la capacidad de compra de la comunidad o una evidencia de participación en iniciativas de la comunidad y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 3.1.2 Compromiso de respeto a los derechos indígenas (binario)**

De manera similar a la definición presentada en el indicador 2.2.1, este indicador puntúa -100 puntos si existe al menos una evidencia de compromiso con el respeto a los derechos indígenas y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 3.1.3 Compromiso de respeto del patrimonio cultural (binario)**

De manera similar a la definición presentada en el indicador 2.2.1, este indicador puntúa -100 puntos si existe al menos una evidencia de compromiso con el respeto del patrimonio cultural y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 3.1.4 Presencia de acciones de fortalecimiento de desarrollo comunitario (binario)**

Las organizaciones pueden construir relaciones con la comunidad y mejorar el acceso a recursos inmateriales mediante la promoción de servicios comunitarios, como atención médica, educación y programas de préstamos (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Este indicador evalúa si la organización toma acciones para fortalecer las instalaciones de desarrollo comunitario, por ejemplo, mediante el acceso comunitario compartido a los recursos de salud de la organización o a través de productos o servicios de la organización. Se asignan -100 puntos si existe al menos una evidencia de una acción de fortalecimiento de desarrollo comunitario y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 3.2.1 Trabajadores locales (lineal)**

Las preferencias locales de contratación brindan importantes ingresos y oportunidades de capacitación a los miembros de la comunidad (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Este indicador puntúa -100 puntos si todos los trabajadores son de la zona y puntúa 0 puntos si ningún trabajador proviene de la zona. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.7** y la **Ecuación (3.11)**.

**Indicador 3.2.2 Compras locales (lineal)**

Las organizaciones que desarrollan relaciones con proveedores locales alientan el empleo y el desarrollo local (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013), fortaleciendo el efecto medido por el indicador 3.2.1. El presente indicador alcanza el valor óptimo (-100 puntos) si todos los proveedores son locales y toma su peor valor (0 puntos) si ningún proveedor de la zona. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.7** y la **Ecuación (3.11)**.

**Indicador 4.1.1 Participación en investigaciones (binario)**

Este indicador evalúa si la organización participa en investigación para el fomento de tecnologías eficientes y medioambientales que colaboren con el desarrollo de la sociedad (UNEP/SETAC Life

Cycle Initiative, 2013). Se asignan -100 puntos si existe al menos una evidencia de participación en investigaciones y 0 puntos caso contrario.

#### **Indicador 4.2.1 Creación de nuevos empleos (lineal)**

La creación de nuevos empleos se calcula a partir de los puestos de trabajo generados por la organización durante el periodo en evaluación (GRI, 2018). Se considera puesto de trabajo creado cuando un nuevo trabajador ingresa a la organización sin que previamente haya sido despedido o renunciado otro trabajador en ese puesto. Este indicador alcanza el valor óptimo (-100 puntos) si todos los puestos de trabajo de la organización han sido creados en el periodo evaluado y toma su peor valor (0 puntos) si ningún puesto de trabajo ha sido creado en ese periodo. Los valores intermedios se obtienen a partir de la **Figura 3.7** y la **Ecuación (3.11)**.

#### **Indicador 4.3.1 Compromiso con cuestiones de sostenibilidad (binario)**

De manera similar a la definición presentada en el indicador 2.2.1, este indicador puntúa -100 puntos si existe al menos una evidencia de compromiso con cuestiones de sostenibilidad y 0 puntos caso contrario.

#### **Indicador 4.3.3 Rol de la organización en el desarrollo de conflictos (binario)**

Un conflicto se define como una situación tensa entre diferentes partes provocada por diferentes intereses, objetivos o sistemas de valores. Se incluyen tanto conflictos no violentos como conflictos latentes y manifiestos y violentos como crisis y guerras. Se evalúa el papel de la organización en conflictos o situaciones que en el futuro podrían convertirse en conflictos (UNEP/SETAC, 2013). Para el presente indicador, se tienen en cuenta los impactos tanto positivos como negativos que la organización puede tener en la evolución de los conflictos. Para ello se evalúa tanto con escala positiva como negativa. Si la organización fomenta o tiene rol activo en algún conflicto se asignan 100 puntos, si no tiene rol 0 puntos y si participa en la mitigación o prevención de conflictos -100 puntos.

#### **Indicador 4.3.2 Compromiso con la lucha contra corrupción (binario)**

La corrupción es el mal uso del poder para obtener ventajas personales. Existen diferentes tipos de corrupción, incluidos el soborno, la malversación de fondos, el robo y el fraude, la extorsión, el abuso de discreción, el favoritismo, el nepotismo y el clientelismo, la conducta que crea o explota intereses y las contribuciones políticas inadecuadas. Este indicador evalúa si una organización ha implementado medidas apropiadas para prevenir la corrupción y si hay evidencia de que ha participado o ha estado involucrado en corrupción a través de la existencia de un compromiso formal de prevención de esta problemática (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013). Se asigna 100 puntos si existe al menos un caso de corrupción y 0 puntos caso contrario.

#### **Indicador 5.1.1 Reclamos de clientes sobre salud y seguridad (binario)**

Este indicador, al igual que los indicadores 5.1.3 y 5.1.4 tienen por objetivo evaluar la satisfacción del cliente en lo relativo a su salud y seguridad, privacidad y transparencia de la organización, respectivamente. Para esto se cuantifican los reclamos recibidos por parte de los clientes por cualquiera de los medios que la organización tenga habilitados. Se asigna 100 puntos si existe al menos un reclamo de clientes relativo a salud y seguridad y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 5.1.2 Presencia de mecanismos de retroalimentación (binario)**

Este indicador evalúa la presencia o no de mecanismos de comunicación para recibir la retroalimentación por parte de los clientes. Se asignan 0 puntos si existe al menos un canal de comunicación y 100 puntos caso contrario.

**Indicador 5.1.3 Reclamo de clientes respecto a su privacidad (binario)**

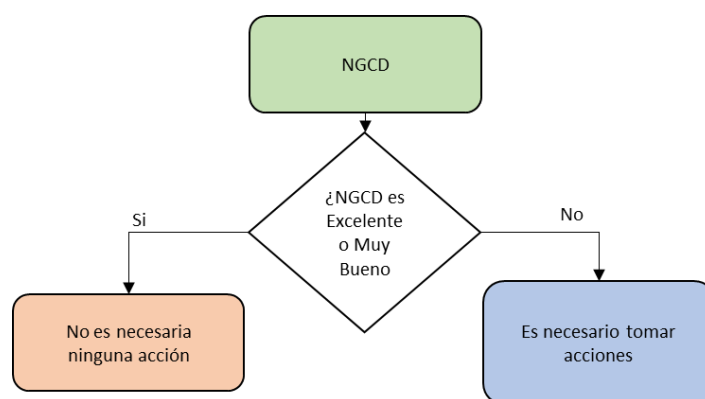
Se asigna 100 puntos si existe al menos un reclamo de clientes relativo a su privacidad y 0 puntos caso contrario.

**Indicador 5.1.4 Reclamos de clientes sobre transparencia (binario)**

Se asigna 100 puntos si existe al menos un reclamo de clientes sobre transparencia y 0 puntos caso contrario.

**3.5. Interpretación del ASCV-O**

En esta tesis se propone un procedimiento para incorporar la incertidumbre de los datos de inventario a los resultados (**Figura 3.11**). Este procedimiento tiene como punto de partida el NGCD de cada inventario obtenido previamente.



**Figura 3.11.** Método de evaluación de calidad de datos.

*Fuente: Elaboración propia*

Si el NGCD del inventario resulta excelente o muy bueno se considera que no son necesarias mayores acciones, pero si el nivel resulta menor quiere decir que el inventario cuenta con un nivel de incertidumbre importante.

En este último caso se deben tomar acciones. Una opción puede ser mejorar los datos que tengan mayor incertidumbre. Para esto se pueden cambiar datos secundarios por datos primarios o cambiar la fuente de datos secundarios por una más representativa. Otra opción es incorporar la incertidumbre a los resultados, considerando los parámetros estadísticos que caracterizan a los resultados en lugar de simplificarlos en valores determinísticos.

Para llevar a la práctica esta última opción, se debe conocer o estimar la distribución de probabilidad de los datos de entrada. En ACV es común suponer que los datos de entrada siguen una distribución de probabilidades log-normal, a menos que se cuente con datos para justificar otra distribución (Clavreul et al., 2012). Esta distribución también es la utilizada cuando se utilizan Matrices de Pedigree para valorar los datos (PRé Sustainability B. V., 2016). A partir de estas matrices es posible estimar la mediana y la desviación estándar de la distribución según el procedimiento propuesto por Weidema et al. (1996). Se ha elegido este proceso por ser el

utilizado por Ecoinvent (2021), una de las principales bases de datos de ciclo de vida mundiales para incorporar la incertidumbre en sus datos de inventario (Weidema et al., 2013)

A partir de la distribución de probabilidad determinada, la propagación incertidumbre en los resultados puede realizarse mediante simulación de Montecarlo (Clavreul et al., 2012), tal como se identificó en el análisis de antecedentes de ASCV del capítulo 2. Montecarlo es un proceso que toma una muestra aleatoria dentro la distribución de probabilidad de cada dato de entrada y obtiene un resultado para ese valor. A partir de numerosas repeticiones de este proceso es posible obtener un histograma de frecuencia para los resultados y calcular la distribución de probabilidad de los mismos. El software SimaPro incluye un módulo de simulación de Montecarlo en su versión PhD (PRé Sustainability B. V., 2022). Este módulo parte de los valores de calidad de datos obtenidos a partir de las Matrices de Pedigree y permite obtener la distribución de incertidumbre de los resultados de un proceso, producto u organización en particular o comparar dos escenarios alternativos.

Además del proceso previamente descrito puede realizarse un análisis de sensibilidad para conocer la influencia de otras variables, como el alcance o el método de evaluación de impactos seleccionados. En este proceso se calculan los resultados una vez realizado el cambio que se quiere analizar y se comparan con los resultados originales (ISO, 2006b). El análisis de sensibilidad ha sido ampliamente utilizado en los antecedentes analizados en el capítulo 2.

### **3.6. Conclusiones del capítulo 3**

El presente capítulo presenta el primer desarrollo de una técnica para analizar la sostenibilidad de ciclo de vida de organizaciones (ASCV-O). El ASCV-O combina y adapta tres técnicas: dos ya existentes en los antecedentes ACV-O y ACV-SO, y una tercera nueva CCV-O. Esta última ha sido desarrollada sobre la base del CCV de productos (Hunkeler et al., 2008; Swarr et al., 2011).

A continuación se resaltan los aportes originales de ASCV-O según cada una de las etapas propuestas por ISO (2006a).

Se logró definir los principales aspectos de la etapa de “objetivo y alcance” del ASCV-O a partir de los análisis realizados en el capítulo 2. Se identificaron las principales diferencias entre ASCV-O y ASCV de productos.

Respecto a la etapa de “análisis de inventario”, se propuso un procedimiento de evaluación de calidad de datos para los tres inventarios basado en una evaluación cualitativa de los datos a partir de matrices de Pedigree o genealogía de datos. Este aporte es de gran novedad ya que no se identificó ningún antecedente de procedimiento para ASCV ni para ACV-O, y además es una de las demandas identificadas en los casos de estudio analizados en el capítulo 2.

En la etapa de “evaluación de impactos” se han realizado importantes aportes relativos a los indicadores. Para la evaluación ambiental se logró extraer un conjunto de diez indicadores provenientes de un método de evaluación de impactos con amplia trayectoria (CML-IA baseline). Para la evaluación económica se desarrollaron cuatro indicadores económicos a partir de los antecedentes analizados y sus ecuaciones de cálculo correspondientes. Finalmente, para la evaluación social se desarrolló un conjunto de indicadores sociales que permiten evaluar el impacto sobre cinco partes interesadas. Para estos últimos también se lograron definir los criterios, definiciones, ecuaciones y graficas de valoración necesarias para la evaluación. para aplicar cada uno de esos indicadores sociales. Se cuenta con treinta y ocho indicadores, de los cuales diecinueve son indicadores lineales y diecinueve son indicadores binarios. Dicho aporte

es específico para evaluar organizaciones industriales en Argentina bajo enfoque de ciclo de vida, pero pueden ser utilizados para otros países siempre que sean adaptados previamente.

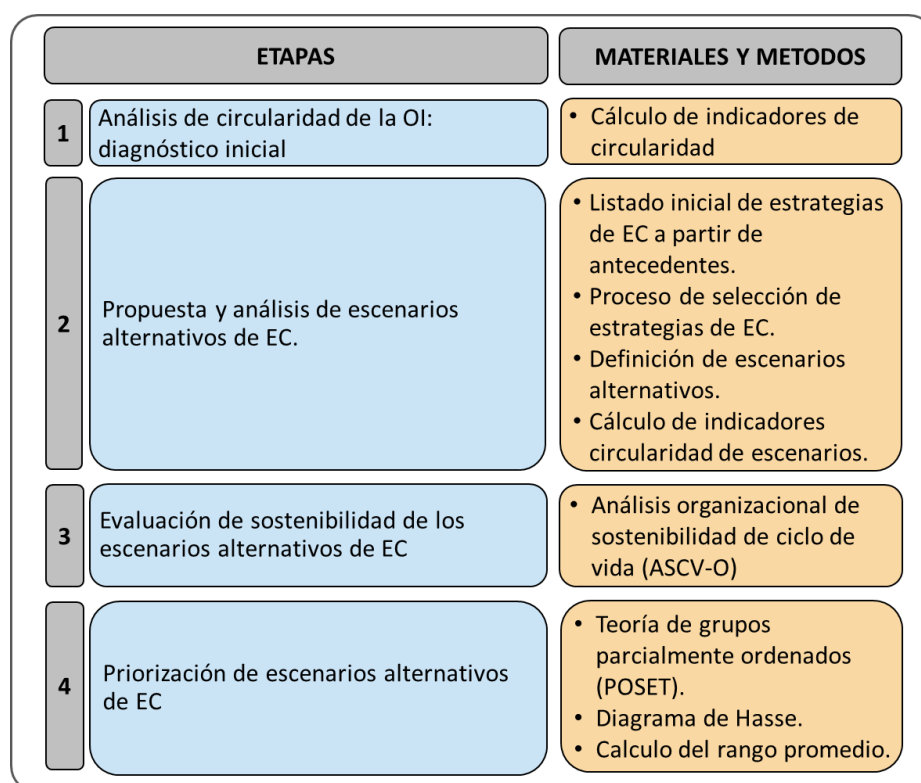
En la etapa de “interpretación” se propuso la incorporación de la incertidumbre de los datos a los resultados mediante Simulación de Montecarlo. Gracias a esto es posible obtener resultados que siguen una distribución log-normal y con una determinada desviación estándar en lugar de un valor determinístico. Se concluye que este es un gran aporte para ASCV-O por tres razones. Primero, estos resultados representan con mayor exactitud la realidad dado que los ASCV-O se construyen a partir de gran cantidad de datos de variada calidad. Segundo, son resultados que permiten obtener información de importancia para la toma de decisiones. Tercero, la incorporación de la incertidumbre fue una de las demandas identificadas en el análisis de antecedentes (capítulo 2).

Como conclusión general del capítulo, se destaca que se logró desarrollar una técnica de ASCV-O con importantes aportes específicos. La misma puede ser utilizada por OI para diversos propósitos, entre ellos para la comparación de escenarios de EC tal como se describe en el capítulo 4.

## Capítulo 4 Propuesta de metodología de selección y priorización de estrategias de EC para OI

### 4.1. Introducción

En este capítulo se presenta la metodología desarrollada en la presente tesis para cumplir con los objetivos planteados. La metodología consta de cuatro etapas y en cada una de ellas se combinan diferentes materiales y métodos (**Figura 4.1**).



**Figura 4.1** Esquema metodológico

*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se describen en detalle cada una de las etapas.

### 4.2. Etapa 1 – Análisis de circularidad de la organización industrial: diagnóstico inicial.

El desempeño actual de circularidad de la OI es el punto de partida de la presente metodología, ya que permite identificar los aspectos a mejorar. Para obtener este diagnóstico se propone la utilización de indicadores de circularidad de la organización industrial en estudio. Los indicadores de circularidad reportados en la **Tabla 4.1** han sido seleccionados para ser utilizados como primer diagnóstico de las OI. Este listado puede ser ampliado, adaptado o complementado con indicadores específicos de la actividad y características de la organización en cada caso particular.

El listado no exhaustivo de veinticuatro indicadores de circularidad fue construido a partir del análisis realizado en el apartado 2.1.2. En la **Tabla 4.1** se indican los códigos de los indicadores identificados en las referencias que fueron considerados como base en la definición de los indicadores propuestos. Los indicadores fueron organizados según once categorías definida en

función de los aspectos evaluados por cada indicador. Entre otras referencias de importancia, se han considerado las categoría propuestas por EUROSTAT (2021) para monitorear el progreso hacia una economía circular. Los indicadores propuestos se caracterizan por ser de fácil cuantificación para las OI. Muchos de ellos son de medición directa (por ejemplo, energía eléctrica consumida) y otros implican cálculos sencillos (por ejemplo, contenido de materias primas recicladas). Varias organizaciones ya calculan estos indicadores en sus actividades habituales. La utilización de datos primarios es de gran importancia para asegurar la representatividad de los resultados, por lo que es recomendable realizar mediciones en las instalaciones de la OI y entrevistas con sus integrantes.

El resultado de esta etapa es el diagnóstico inicial de la OI, que en adelante será referenciado como escenario base o SCO. Este diagnóstico inicial permitirá identificar las oportunidades para implementar mejoras de EC y establecer (en la etapa 2) los futuros escenarios alternativos.

**Tabla 4.1.** Listado de indicadores para cuantificar la circularidad de la OI

*Fuente: Elaboración propia*

| Categoría  | Indicador   | Unidad  | Referencias de Figura 2.3         |
|--|---|---|-----------------------------------|
| Estrategia y visión                                  | 1. Estrategias de EC incorporadas en estrategias corporativas | Número (#)  | Vi7                               |
| Modelo de negocio                                    | 2. Leasing/alquiler   | #   | Vi5                               |
|  | 3. Iniciativas de extensión de vida de los productos          | #   | Vi13, Vi17, Vi29                  |
| Gestión ambiental                                    | 4. Sistemas de gestión ambiental                              | #   | Vi8, Vi32                         |
|  | 5. Reporte de actividades de gestión ambiental                | #   | Vi31                              |
| Simbiosis industrial                                 | 6. Colaboraciones con externos                                | #   | Vi26                              |
|  | Diseño  | 7. Productos reciclables o reusables                | #                                 |
| Diseño   | 8. Productos de consumo reducido de materiales y energía      | #   | Vi15                              |
|  | 9. Productos diseñados para minimizar residuos                | #   | Vi16                              |
|  | 10. Iniciativas de empaque verde                              | #   | Vi28                              |
|  | Selección de proveedores                                      | 11. Selección de proveedores por desempeño circular | #                                 |
| 12. Selección de proveedores por desempeño ambiental |   | #   | Vi23                              |
| Producción y consumo                                 | 13. Consumo de materiales                                     | t   | CTI2, Ci3, CTI4, CTI9, Vi2, Vi4   |
|  | 14. Consumo de agua   | m <sup>3</sup>                                      | CTI3, CTI5, CTI9, Ci4, Vi18, Vi37 |
|  | 15. Consumo de energía eléctrica                              | kWh   | CTI9, Vi9, Vi11, Vi34, Vi35, Vi36 |
|  | 16. Consumo de energía eléctrica renovable                    | %   | CTI6, Ci5, Vi10                   |
| Materia prima secundaria                             | 17. Consumo de combustible                                    | m <sup>3</sup>                                      | CTI9                              |
|  | 18. Materias primas con contenido reciclado                   | %   | CTI9, Vi6, Vi20, Vi21, Vi33       |
| Generación y gestión de residuos                     | 19. Residuos sólidos generados                                | t   | Vi25, Vi30, Vi41, Vi43            |
|  | 20. Residuos sólidos reciclados                               | %   | CTI8, Vi19, Vi39, Vi42            |
|  | 21. Efluentes generados                                       | m <sup>3</sup>                                      | CTI8, Vi40                        |
|  | 22. Emisiones gases efecto invernadero                        | t CO <sub>2</sub> eq                                | Vi3, Vi24                         |
| Competitividad e innovación                          | 23. Inversión en EC   | ARS   | Vi12                              |
| Servicios posventa                                   | 24. Sistemas de recolección de productos después del uso      | #   | Vi1                               |



### 4.3. Etapa 2 - Propuesta y análisis de los escenarios alternativos de EC

En la presente etapa se definen los diferentes escenarios para la OI en estudio (escenarios alternativos). Para esto se parte del listado de las posibles estrategias de EC que pueden ser aplicadas a OI (Tabla 4.2). Este listado ha sido confeccionado a partir de las estrategias identificadas (Figura 1.2) en la revisión de antecedentes en el capítulo 2. El listado inicial (Tabla 4.2) es orientativo y las estrategias allí presentadas pueden ser adaptadas o complementadas en función de las características de la organización en estudio.

**Tabla 4.2** Listado inicial de estrategias de EC.

*Fuente: Elaboración propia*

| 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 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.   |

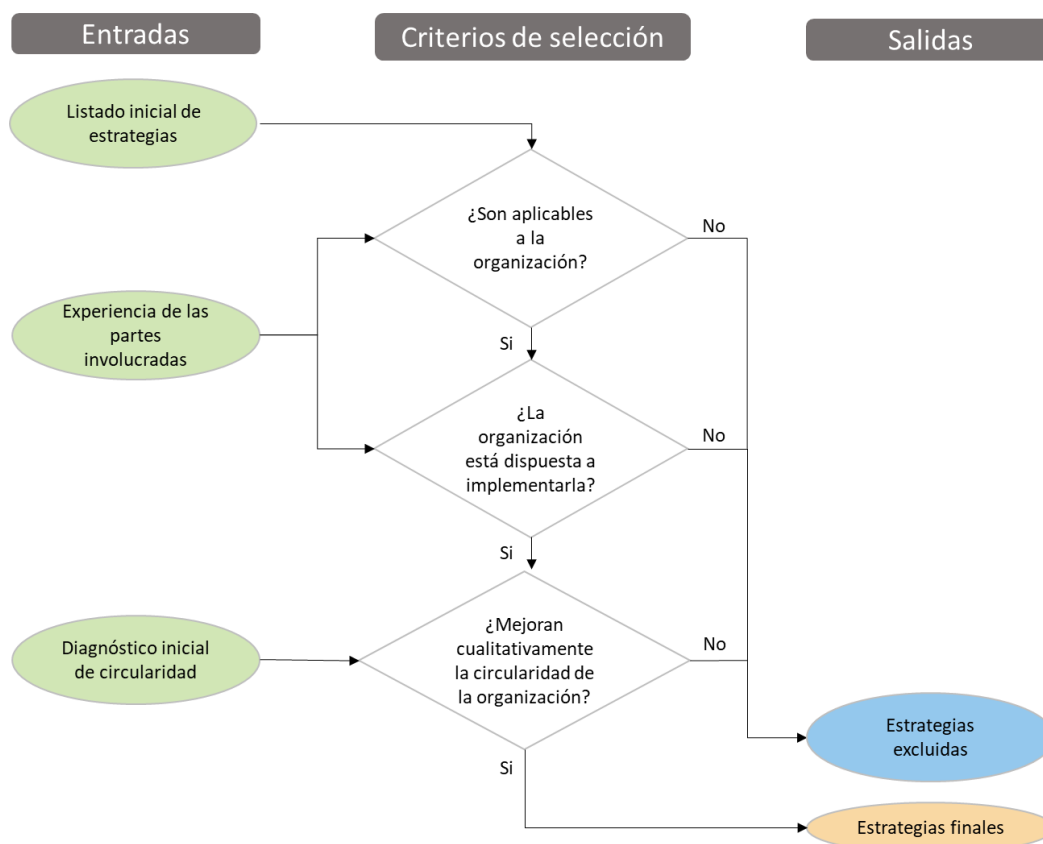
**Tabla 4.3 (continúa)** Listado inicial de estrategias de EC.

*Fuente: Elaboración propia*

| Categoría                   | Estrategia                         | Descripción   |
|-----------------------------|------------------------------------|---|
| 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 incineración 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.   |

El proceso para seleccionar estrategias de EC en cada caso de estudio se realiza según el árbol de decisión de la **Figura 4.2**. En este proceso se van seleccionando estrategias de EC a partir de diferentes criterios. El primer criterio evalúa si las estrategias son aplicables o no a la OI en estudio. Por ejemplo, una organización que produce equipos industriales no puede considerar el compostaje como estrategia de fin de vida de sus productos, pero si puede considerar un modelo de negocio de producto-servicio. El segundo criterio evalúa si la OI está dispuesta a implementar la estrategia. En muchas ocasiones una organización decide implementar una estrategia, según las características de su mercado, por ejemplo. Los dos primeros criterios requieren el conocimiento y la participación activa de partes interesadas de la OI, tales como integrantes de la organización con poder de decisión (mando gerencial o dueño). El último

criterio propuesto evalúa cualitativamente si la estrategia mejora la circularidad de la OI, en relación a los resultados del diagnóstico de EC obtenidos en la etapa 1.



**Figura 4.2** Proceso de selección de estrategias de EC  
Fuente: Elaboración propia

Los escenarios alternativos se proponen a partir de las estrategias de EC finales, que cumplieron todos los criterios de selección. La **Tabla 4.4** presenta un ejemplo del proceso de selección de estrategias y de los escenarios alternativos que se obtienen. Como no todas las estrategias del listado inicial pasan el proceso de selección, el número de escenarios alternativos (1, ..., m) que se obtiene será menor o igual que el número inicial de estrategias (1, ..., n).

**Tabla 4.4.** Ejemplo de selección de estrategias de EC y sus escenarios alternativos.  
Fuente: Elaboración propia

| Estrategia   | Proceso de selección |            |            | Escenarios alternativos |
|--------------|----------------------|------------|------------|-------------------------|
|              | Criterio 1           | Criterio 2 | Criterio 3 |                         |
| Estrategia 1 | ✓                    | ✗          |            |                         |
| Estrategia 2 | ✓                    | ✓          | ✓          | SC1                     |
| Estrategia 3 | ✗                    |            |            |                         |
| .....        |                      |            |            | .....                   |
| Estrategia n | ✓                    | ✓          | ✓          | SCm                     |

Se utiliza el término escenario para referirse a las situaciones, reales o potenciales, de implantación de una o varias estrategias en una OI. Un escenario considera los equipos e inversiones necesarias, las tasas de reemplazo de materiales, la identificación de actores involucrados y los cambios en los consumos, residuos y emisiones de la organización, por

nombrar algunos. Además, un escenario puede incluir dos o más estrategias de EC diferentes. En las próximas etapas se utiliza el término escenario y ya no se habla de estrategia de EC.

La definición de cada escenario alternativo requiere recabar información específica. Como ya se mencionó, es recomendable utilizar datos primarios siempre que sea posible. La **Tabla 4.5** presenta un modelo de la ficha técnica a completar para cada escenario alternativo.

**Tabla 4.5.** Modelo de ficha técnica de escenarios alternativos.

*Fuente: Elaboración propia*

|                    |                   |        |  |
|--------------------|-------------------|--------|--|
| Código             |                   |        |  |
| Nombre             |                   |        |  |
| Objetivo           |                   |        |  |
| Descripción        |                   |        |  |
| Efectos            |                   |        |  |
| Equipos necesarios |                   |        |  |
| Datos económicos   | Inversión inicial | \$     |  |
|                    | Costo de O&M      | \$/año |  |
|                    | Costos evitados   | \$/año |  |
| Referencias        |                   |        |  |

Para finalizar esta etapa, se realiza una verificación de que cada escenario alternativo mejora en al menos un indicador la circularidad de la organización. Para ello, se calculan nuevamente los indicadores de circularidad definidos y seleccionados en la etapa 1 de esta metodología para cada escenario alternativo y se comparan los valores obtenidos con los del escenario de referencia (SC0). En la **Tabla 4.6** se presenta un ejemplo de esta verificación donde se presentan las mejoras que cada escenario produce respecto al SC0. En este ejemplo, el SC1 implica un beneficio de un 5% para el indicador 1, el SC2 beneficia en un 100% el indicador 3 y el SC3 perjudica en un 23% el indicador 2, pero beneficia un 1% en el indicador 3. Esta verificación permite corroborar que los escenarios alternativos producen un beneficio en al menos un indicador de circularidad de la OI, y además cuantificar ese beneficio. En este punto puede ser posible que algún escenario previamente definido sea excluido porque no se traduce en beneficios sobre los indicadores de EC.

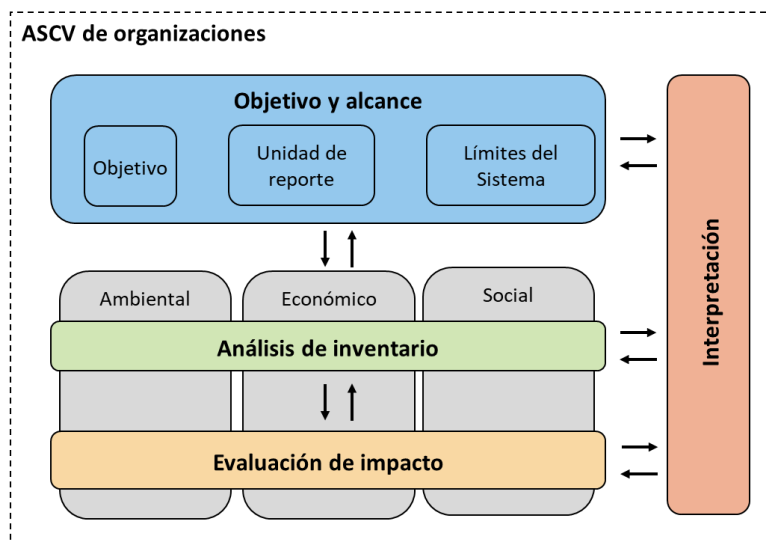
**Tabla 4.6.** Mejora (%) de escenarios alternativos respecto al escenario base.

*Fuente: Elaboración propia*

| Escenarios alternativos | Indicadores de circularidad |     |      |
|-------------------------|-----------------------------|-----|------|
|                         | 1                           | 2   | 3    |
| SC1                     | 5%                          |     |      |
| SC2                     |                             |     | 100% |
| SC3                     |                             | 23% | -1%  |

#### 4.4. Etapa 3- Evaluación de sostenibilidad de los escenarios alternativos de EC

Para analizar y comparar el desempeño de sostenibilidad del escenario base definido en la etapa 1 y de los escenarios alternativos propuestos en la etapa 2 se aplica la técnica ASCV-O (**Figura 4.3**) propuesta en el capítulo 3. A continuación, se presentan las particularidades que deben considerarse al aplicar ASCV-O en esta etapa.



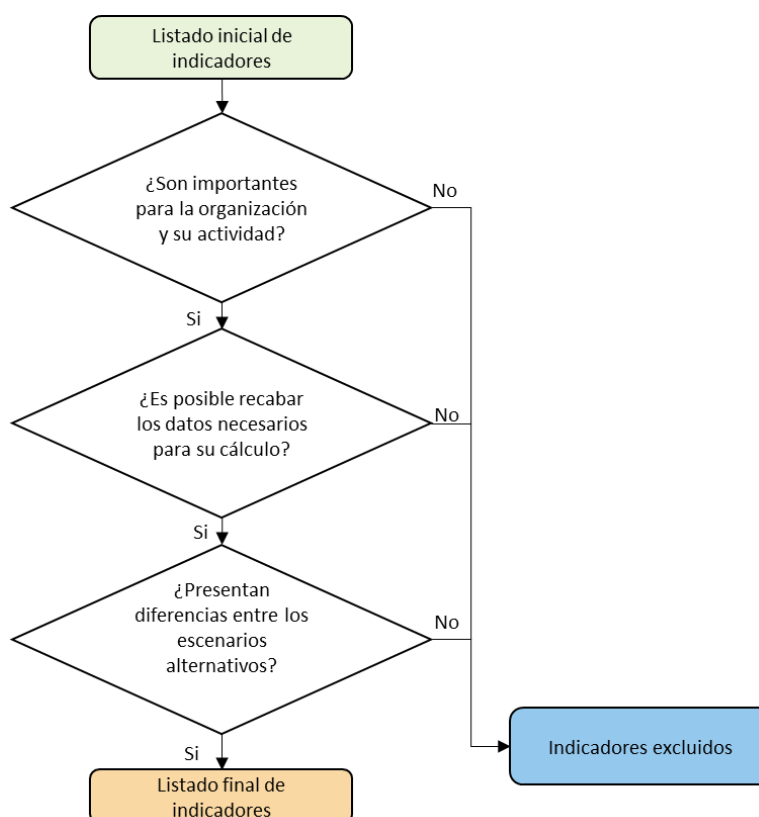
**Figura 4.3** Técnica de ASCV de organizaciones.  
 Fuente: Elaboración propia a partir de (ISO, 2006a)

- Definición de objetivo y alcance del ASCV-O.** El objetivo de aplicar el ASCV-O en este caso es comparar el desempeño ambiental, económico y social del escenario base definido en la etapa 1 con el desempeño de los escenarios alternativos definidos en la etapa 2. Los resultados serán utilizados internamente por la OI para la toma de decisiones. Los límites del sistema incluyen la cadena de valor completa de la organización, incluyendo todas las entradas y salidas relacionadas con las actividades de la misma. La inclusión de las etapas de uso y fin de vida de los productos y/o servicios generados por la organización dependerá de si las estrategias en análisis tienen efectos sobre estas etapas y de los datos disponibles. La unidad de reporte puede incluir la organización completa o un parte de la misma. En este punto se cuantifica el flujo de reporte y el periodo de referencia que se tomará como base para la construcción de los inventarios.
- Análisis de inventario del ASCV-O.** Se construye una tabla de entradas y salidas donde se presenta la información de cada escenario, base y alternativo (**Tabla 4.7**). A partir de ese inventario se desarrollan los tres inventarios diferenciados (ambiental, económico y social), tal como se describe en el **capítulo 3**. Al igual que los datos necesarios para calcular los indicadores de circularidad (etapa 1), los datos de los inventarios se obtienen preferiblemente de fuentes primarias de la organización y sus proveedores y cuando esto no es posible se completan con datos secundarios obtenidos de la literatura o bases de datos. La calidad de los datos que conforman los inventarios se evalúa mediante el procedimiento de evaluación de calidad de datos también descrito en el **capítulo 3**, apartado 3.3.1.

**Tabla 4.7** Ejemplo de tabla de entradas y salidas  
 Fuente: Elaboración propia

| Entradas/salidas | Unidad         | SC0 | SC1 | SC2 | ... | Distancia (km) |
|------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|----------------|
| Entrada 1        | kg             | 10  | 8   | 10  |     | 15             |
| Salida 1         | m <sup>3</sup> | 5   | 5   | 6   |     | -              |
| ...              | ...            | ... | ... | ... |     | ...            |

- **Evaluación de impacto del ASCV-O.** Los indicadores de impactos ambientales, económicos y sociales a considerar en cada caso de estudio son elegidos en base al análisis de materialidad, tal como recomiendan GRI (2018) y UNEP (2020). En la presente tesis se propone el proceso ilustrado en la **Figura 4.4**.



**Figura 4.4** Proceso de selección de indicadores en ASCV-O.

*Fuente: Elaboración propia*

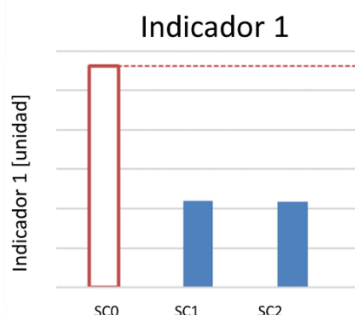
El primer criterio de decisión de la **Figura 4.4** es la importancia de los indicadores de impacto. En el caso de los indicadores ambientales para definir la importancia de los mismos se pueden utilizar las Reglas de Categorías de Productos (RCP), si las mismas existen para los productos que la OI fabrica. En estas reglas se listan los indicadores más relevantes para un producto o familia de productos. Otra fuente de información que se puede aplicar, y para los tres tipos de indicadores, es la bibliografía de casos de estudio similares. Asimismo, la experiencia y conocimientos de la organización en estudio es una entrada fundamental para definir si un indicador es de relevancia o no.

El segundo criterio de decisión se define en función de los datos necesarios para calcular los indicadores de impacto. En caso de que no sea factible recabar los datos necesarios para su cálculo, por falta de recursos, por ejemplo, el indicador puede quedar excluido del estudio.

El tercer y último criterio de decisión se basa en si los indicadores de impacto presentan diferencias entre los escenarios alternativos. Este criterio se debe aplicar una vez que se han obtenido los resultados. La importancia de excluir indicadores a pesar de que ya han sido calculados es reducir la información no significativa que puede dificultar la siguiente etapa.

Los resultados de la evaluación de impacto se presentan en gráficos donde se compara el SCO con los SCm (**Figura 4.5**). Se utiliza un gráfico para cada indicador porque se utilizan

diferentes escalas y el objeto en este punto es analizar en detalle las diferencias entre escenarios.



**Figura 4.5** Ejemplo de presentación de resultado por indicador

*Fuente: Elaboración propia*

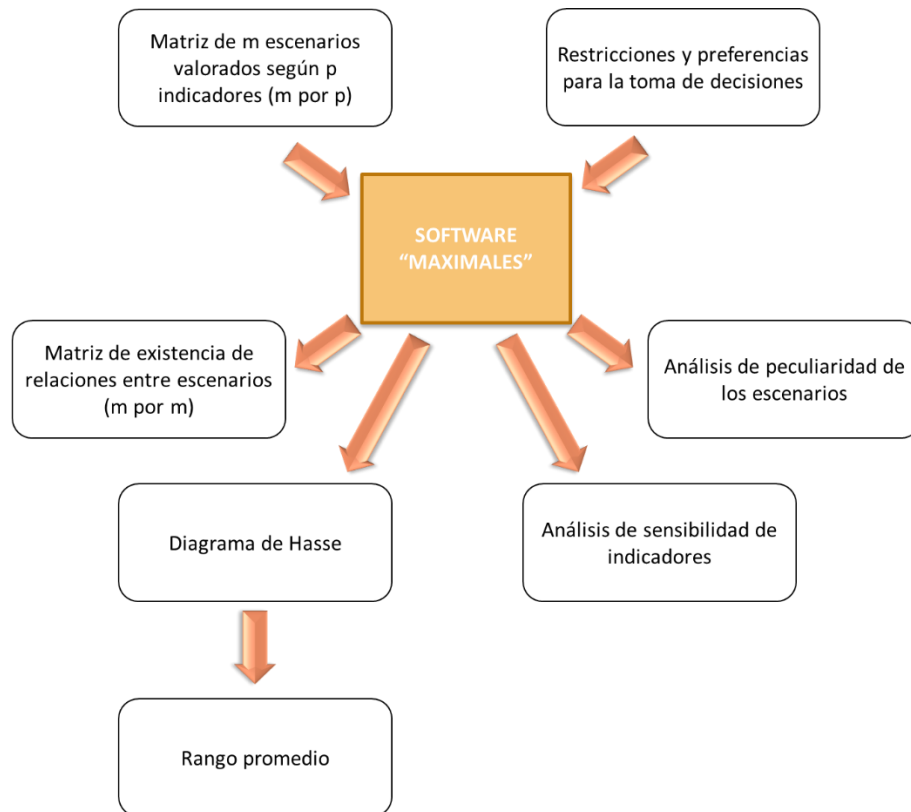
- **Interpretación.** Los resultados del ASCV-O para los escenarios alternativos y de línea base se analizan de acuerdo con el objetivo y alcance del estudio. Las conclusiones y limitaciones de los mismos son identificadas en este punto.

Como parte de este análisis en la presente tesis se propone un análisis incertidumbre mediante simulación de Montecarlo en caso de ser necesario (Ver capítulo 3, apartado 3.5). Para ello, se compara la incertidumbre de cada SCm con el SC0. El objetivo es conocer si los datos empleados cuentan con la calidad suficiente para asegurar que un escenario alternativo es mejor o peor que el escenario base. Operativamente, se propone realizar este procedimiento con un módulo del software SimaPro que permite comparar dos escenarios. Esta función permite identificar si los datos son suficientemente buenos para establecer si la relación entre dos alternativas (por ejemplo,  $SC0 < SCalt$  para un indicador determinado) es significativa para un número de simulaciones o para un intervalo de confianza determinado. En otras palabras, permite saber si la incertidumbre del inventario afecta o no los resultados de la comparación de escenarios.

En el caso de que las diferencias del primer análisis resulten significativas, los datos pueden ser considerados suficientemente buenos para el estudio. Por el contrario, si las diferencias no resultan significativas, por ejemplo, si una relación no se mantiene al menos para el 90% de las simulaciones, se considera necesario tomar acciones. En este caso se profundiza el análisis en los indicadores y categorías donde se identificaron diferencias no significativas, ya que pueden estar ocurriendo dos situaciones, o ambos escenarios tienen un desempeño similar y podrían considerarse iguales o la incertidumbre de los datos es tan grande que no permite obtener resultados confiables al realizar la comparación. Se realizan nuevas simulaciones de Montecarlo en los escenarios y categorías de impacto donde se hallaron diferencias no significativas, En este caso, se determina la incertidumbre del escenario base a partir del coeficiente de variación (CV) de cada indicador de impacto. El objetivo es conocer el nivel de incertidumbre base e identificar las posibles fuentes de la incertidumbre.

#### 4.5. Etapa 4 – Priorización de escenarios alternativos de EC

Para priorizar los escenarios definidos en función de las estrategias de EC se aplica la Teoría POSET. En anexos se incluyen las bases de esta teoría y la descripción del Diagrama de Hasse utilizado para su representación.



**Figura 4.6** Esquema de procedimiento para priorización de escenarios  
*Fuente: Elaboración propia*

Para aplicar esta teoría en la presente tesis se propone seguir el esquema presentado en la **Figura 4.6**. En este esquema se utiliza el software “Maximales” desarrollado en colaboración con otros investigadores (Ibáñez-Forés et al., en revisión) como parte de un proyecto relacionado. Esta herramienta cuenta con las siguientes características:

- Permite ordenar parcialmente alternativas. Para ello las compara por pares y considera que una alternativa es mejor que otra exclusivamente si tiene un comportamiento mejor o igual en cada uno de los indicadores de impacto bajo los cuales se realiza la comparación, según la Teoría POSET.
- Utiliza una plantilla de entrada de datos amigable y flexible (**Figura 4.7**). La plantilla permite introducir los nombres de escenarios e indicadores (A) e indicar la unidad, tipo y rango del indicador (B). La herramienta trabaja con indicadores cualitativos y cuantitativos. Los indicadores cualitativos deben ser ordinales; de lo contrario, la teoría POSET no se puede aplicar y no se puede obtener un orden parcial. La herramienta también permite para cada indicador especificar cuál es su mejor opción (C), es decir si su mejor comportamiento se alcanza en el valor máximo o mínimo. Esta característica permite analizar una matriz de entrada de datos heterogénea sin tratamientos previos.



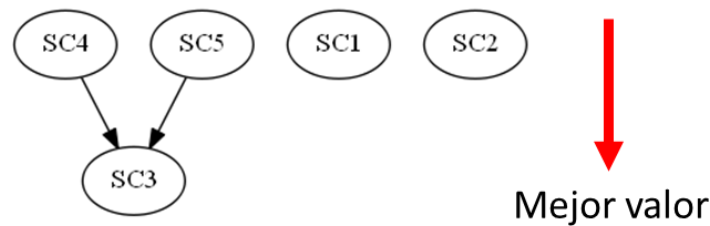
NOMBRE DEL PROYECTO:

| BEGIN DATA              |          |      |       |                | RESTRICCIONES                         |                              |                |               |            | A ESCENARIOS |   |   |
|-------------------------|----------|------|-------|----------------|---------------------------------------|------------------------------|----------------|---------------|------------|--------------|---|---|
| A NOMBRE DE INDICADORES | B UNIDAD | TIPO | RANGO | C MEJOR OPCIÓN | D DIFERENCIA SIGNIFICATIVA (ABSOLUTA) | DIFERENCIA SIGNIFICATIVA (%) | VALOR DE CORTE | VALOR CRÍTICO | SATURACIÓN | 1            | 2 | 3 |
|                         |          |      |       |                |                                       |                              |                |               |            |              |   |   |
|                         |          |      |       |                |                                       |                              |                |               |            |              |   |   |
|                         |          |      |       |                |                                       |                              |                |               |            |              |   |   |

END DATA

**Figura 4.7** Plantilla de input de datos  
 Fuente: (Ibáñez-Forés et al., en revisión)

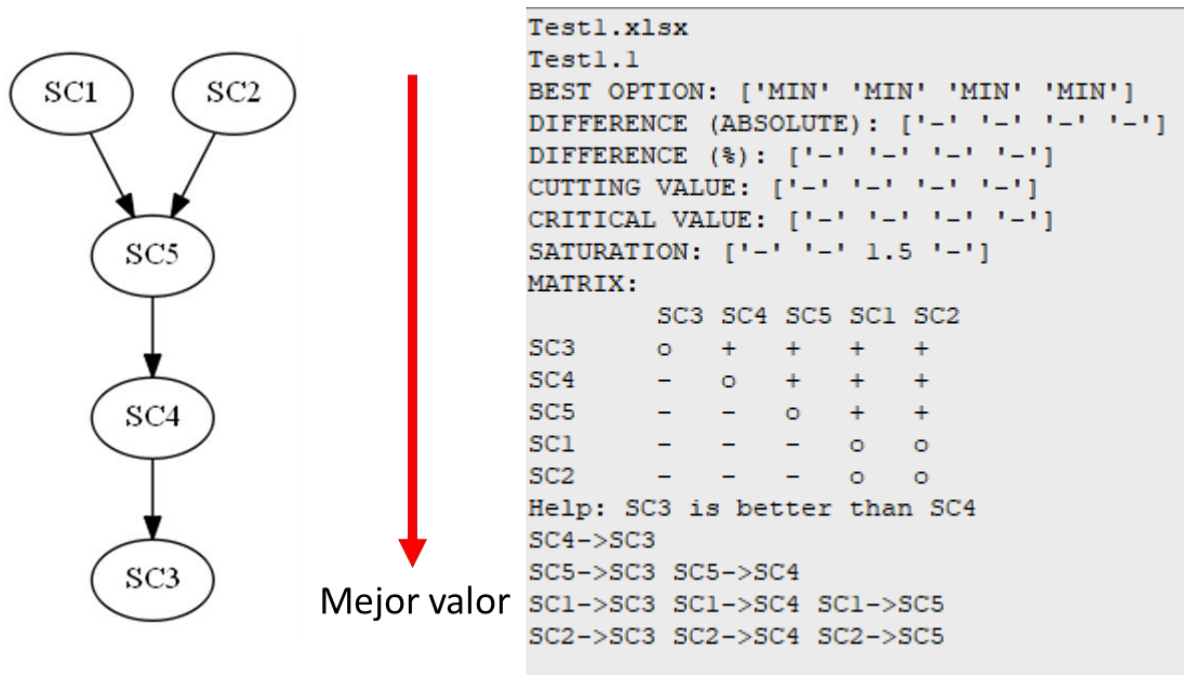
- Permite al usuario realizar acciones para obtener resultados útiles para la toma de decisiones. Un resultado no útil es cuando el conjunto presenta un número elevado de incomparabilidades (diagrama plano), por lo que no es posible identificar qué alternativa es mejor que otra. Para solucionar esto la herramienta permite incorporar restricciones o preferencias (D en la **Figura 4.7**). Las **Figura 4.8** y **Figura 4.9** permiten apreciar un ejemplo del efecto de una restricción sobre el conjunto de cinco escenarios alternativos.



```

Test1.xlsx
Test1.0
BEST OPTION: ['MIN' 'MIN' 'MIN' 'MIN']
DIFFERENCE (ABSOLUTE): ['-' '-' '-' '-']
DIFFERENCE (%): ['-' '-' '-' '-']
CUTTING VALUE: ['-' '-' '-' '-']
CRITICAL VALUE: ['-' '-' '-' '-']
SATURATION: ['-' '-' '-' '-']
MATRIX:
      SC3 SC4 SC5 SC1 SC2
SC3   o  +  +  o  o
SC4   -  o  o  o  o
SC5   -  o  o  o  o
SC1   o  o  o  o  o
SC2   o  o  o  o  o
Help: SC3 is better than SC4
SC4->SC3
SC5->SC3
    
```

**Figura 4.8** Ejemplo de reporte de salida sin restricciones  
 Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.9** Ejemplo de reporte de salida luego de incorporar restricción de saturación

*Fuente: Elaboración propia*

Las restricciones disponibles en la herramienta son:

- Diferencia significativa (absoluta y %). La herramienta permite especificar para cada indicador cuál es el margen o diferencia significativa entre los valores que pueden tomar los escenarios para cada indicador. Si la diferencia entre dos escenarios se encuentra por debajo de ese margen, ambos son considerados iguales para el indicador en estudio.
- Valor de corte. La permite herramienta descartar los escenarios que no alcancen un valor de corte para un indicador. Esta restricción puede ser para valores mayores al valor establecido en indicadores a minimizar, o menores a dicho valor, en aquellos a maximizar.
- Valor crítico. Permite establecer un valor crítico (mínimo o máximo), para el cual, todo escenario que no lo alcance es considerado peor que el resto. Esta restricción no descarta escenarios como la anterior, sino que las ubica por debajo en el orden de prioridad.
- Saturación. Esta permite la restricción establecer un valor límite para un indicador a partir del cual, todos los escenarios que lo superen se consideraran igual de buenos.
- Finalmente, el informe de salida que se obtiene (por ejemplo, **Figura 4.8**) detalla los resultados de salida de una manera clara y sencilla, incluyendo una salida gráfica mediante diagrama de Hasse y una matriz que sintetiza las relaciones entre los escenarios en estudio. Además, a partir de aplicar cambios en los datos de entrada es posible de identificar qué indicadores están causando las incompatibilidades. Esto

constituye un análisis de sensibilidad de los indicadores que permite analizar el efecto de cada indicador en el orden obtenido.

En la presente tesis también se propone el cálculo estadístico del rango promedio para cada escenario, a pesar de que la herramienta Maximales no lo permite. El rango promedio permite profundizar el análisis y obtener una clasificación de los escenarios en estudio lo más lineal posible. Para obtener el rango promedio se parte del diagrama obtenido (**Figura 4.9**) y se contemplan todas las posibilidades entre los elementos incomparables (x e y, por ejemplo), que son  $x < y$  o  $x > y$  o  $x = y$ . A partir de la consideración de todas las posibilidades de orden dentro de un POSET y del uso de herramientas estadísticas, es posible calcular el rango promedio de cada elemento dentro del conjunto según la **Ecuación 4.1** (adaptada de Badinger and Reuter (2015)).

$$\bar{r}_i = \sum_{j=1}^N [r_j * p_i(r_j)] \tag{Ecuación 4.1}$$

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.

Por ejemplo, para el POSET representado por la **Figura 4.9**, el escenario SC1 tiene dos rangos posibles entre los 5 escenarios que componen el conjunto,  $r_1=1$  o  $r_2=2$  ya que es incomparable con el escenario SC2. Ambos valores posibles del rango tienen una probabilidad de 0,5 de ocurrencia debido a la incomparabilidad previamente mencionada. El rango promedio de SC1 es  $\bar{r}_{SC1} = 1 * 0,5 + 2 * 0,5 = 1,5$ . Siguiendo la misma lógica se obtiene el rango promedio de la **Tabla 4.8** para todos los escenarios de la **Figura 4.9**.

**Tabla 4.8.** Ejemplo de rango promedio.

*Fuente: Elaboración propia*

| Escenario | Rango promedio |
|-----------|----------------|
| SC1       | 4,5            |
| SC2       | 4,5            |
| SC5       | 3              |
| SC4       | 2              |
| SC3       | 1              |

En el caso de que el número de escenarios en estudio exceda los 25, la capacidad computacional necesaria para el cálculo de la **Ecuación 4.1** se vuelve demasiado alta (Badinger and Reuter, 2015). Existen algunos enfoques para lidiar con esta dificultad basados en estadística y herramientas numéricas (Badinger and Reuter, 2015; Brüggemann and Carlsen, 2011; Fattore, 2016). Estos enfoques no se analizan en la presente tesis ya que es difícil que la cantidad de escenarios en estudio en OI superen este número.

#### 4.6. Conclusiones del capítulo 4

El presente capítulo presenta una metodología para identificar y priorizar estrategias de EC en OI. Esta metodología es el principal objetivo y aporte novedoso de la presente tesis. La misma está compuesta por cuatro etapas donde se utilizan materiales y métodos que han sido desarrollados completamente o mejorados durante la presente investigación (**Figura 4.1**). A

continuación, se presentan las conclusiones y aportes de cada una de las cuatro etapas de la metodología desarrollada.

La etapa 1 consistió en un diagnóstico inicial de la circularidad de la OI. El objetivo de este diagnóstico es identificar la situación actual y los puntos críticos donde se podrían aplicar estrategias de EC. Para esto se logró desarrollar a partir de los análisis del capítulo 2 un conjunto de veinticuatro indicadores de circularidad para OI ordenados en once categorías que monitorean el progreso hacia una EC. Estos indicadores son de fácil cuantificación para las OI ya que muchos de ellos son de medición directa y otros implican solo cálculos sencillos.

La etapa 2 tuvo por objetivo la propuesta de escenarios alternativos que produzcan beneficios en la circularidad de la OI. Esta etapa tiene como punto de partida un listado de treinta y ocho estrategias de EC que podría aplicar una OI desarrollado a partir de los análisis del capítulo 2. Este listado pretende ser lo más amplio posible para considerar todas las posibles estrategias sin embargo se recomienda que cada OI lo revise en caso de que pudieran incorporarse nuevas estrategias en función de las características de la misma. Para la selección de estrategias de este listado se propone en la presente tesis un proceso basado en tres criterios: la aplicabilidad de las estrategias a la organización en estudio, la disposición de la misma a implementar las estrategias y si las estrategias mejoran la circularidad de la organización. Se concluye que este proceso incorpora activamente a las partes interesadas de la OI e incluye los indicadores de EC presentado en la etapa anterior. Finalmente se proponen escenarios alternativos para la OI a partir de implementación de las estrategias seleccionadas y la cuantificación de los indicadores de EC de la etapa anterior para cada escenario alternativo con el objeto de verificar las mejoras en la circularidad de la OI.

La etapa 3 tuvo por objeto comparar los impactos de los escenarios alternativos previamente definidos sobre el desempeño de sostenibilidad de la organización, es decir, el desempeño ambiental, social y económico. Para lograr esto se propone aplicar la técnica ASCV-O desarrollada en el capítulo 3 de la presente tesis. Se concluye que el ASCV-O permite cumplir el objetivo de la etapa y que el uso de esta técnica para evaluar escenarios de EC en OI es novedoso y responde a la demanda identificada en los antecedentes analizados en el capítulo 2.

En la etapa 4 se buscó priorizar los escenarios alternativos definidos a partir de estrategias de EC según sus efectos sobre la sostenibilidad de la OI. Para lograr esto se propone un procedimiento que aplica la teoría matemática POSET mediante una herramienta informática (Maximales) desarrollada en conjunto con otros investigadores. Mediante la teoría POSET se extrae mayor información de los datos y se solucionan los principales problemas de los enfoques de agregación, que son normalmente utilizados para la integración de resultados en problemas de sostenibilidad (Alejandrino et al., 2021). Otro aporte de este procedimiento es la utilización de técnicas estadísticas para lograr calcular un rango promedio de los escenarios y se obtienen resultados orientados a la toma de decisiones en el marco de la teoría matemática utilizada. Se concluye que el uso de POSET, de la herramienta Maximales y el cálculo estadístico del rango promedio constituye una novedad en el marco del ASCV-O.

La conclusión general del presente capítulo es que se logró desarrollar una metodología para identificar, evaluar y priorizar estrategias de EC para OI. Esta metodología fue obtenida a partir del análisis de antecedentes realizado en el capítulo 2 e incorpora, dentro de una de sus etapas, la técnica de ASCV-O desarrollada en el capítulo 3, entre otros aportes novedosos.

## Capítulo 5 Caso de estudio

### 5.1. Introducción

Recientemente, la Unión Europea lanzó su “Nuevo plan de acción para la economía circular” (European Commission, 2020). Este plan busca el diseño de productos sustentables y el empoderamiento de consumidores poniendo foco en sectores de uso intensivo de recursos y alto potencial de circularidad. Uno de sectores prioritarios que propone es el de la construcción. La industria de la construcción, además, es causante de grandes impactos ambientales a nivel mundial (Hossain et al., 2020). Esta industria es responsable de entre el 25% y el 40% de gases de efecto invernadero y de entre el 20% y el 70% de residuos municipales (López Ruiz et al., 2020). A su vez, la calidad de sus productos tiene grandes impactos en consumo de agua y energía y los edificios son responsables de entre el 25% y el 40% de uso de energía (López Ruiz et al., 2020).

La incorporación de estrategias de EC en la industria de la construcción es uno de los caminos que se está utilizando para reducir los impactos de este sector. Se han identificado importantes antecedentes recientes al respecto (Benachio et al., 2020). La mayoría de ellos se han desarrollado en Europa, China y Estados Unidos (Norouzi et al., 2021). En América Latina, el tema ha comenzado a tomar importancia pero todavía son pocos los estudios aplicados la industria de la construcción (Betancourt Morales and Sossa Zartha, 2020).

La metodología desarrollada en la presente tesis fue aplicada a una OI del sector construcción de Argentina. Se seleccionó una empresa mediana dedicada a la fabricación de productos de construcción prefabricados, que opera en la provincia de Mendoza y que demostró interés en actividades de investigación, desarrollo e innovación. Con esta empresa se han desarrollado otros proyectos de investigación relacionados con la presente tesis e incluso se ha firmado un convenio de colaboración específico con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

### 5.2. Descripción del caso de estudio

El caso de estudio seleccionado es una organización dedicada a producir productos de construcción prefabricados. Es una empresa privada de tamaño medio con 33 empleados. Es de señalar que las actividades de gestión de recursos humanos y contabilidad se subcontratan. Los datos utilizados para el escenario base considerado como referencia (SC0) corresponden al año fiscal 2020.

Los productos de construcción premoldeados se fabrican bajo demanda, por lo que se generan lotes de productos. El proceso de fabricación se divide en dos líneas de producción, hormigón y mortero alivianado. La línea de hormigón utiliza agregados finos y gruesos como materia prima principal, mientras que la línea de mortero solo incorpora áridos finos con un aditivo formador de espuma.



**Figura 5.1** Productos fabricados por la organización  
Fuente: *Elaboración propia*

De la producción total, el 80% son productos de hormigón para uso como vasijas de vino, y el 20% son productos de mortero ligero y aislante para uso como módulos habitacionales y paneles de construcción (**Figura 5.1**).

Los procesos unitarios que se llevan a cabo en las instalaciones de la organización se presentan en la **Figura 5.3** con recuadros negros gruesos y numerados del 1 al 9. El proceso de producción comienza con el corte y soldadura de los hierros estructurales (1). La preparación de la mezcla se realiza en dos equipos de dosificación y mezclado, uno más grande para mezcla de hormigón (2) y uno pequeño para mezcla de mortero (3). Una vez lista la mezcla y las planchas, los productos se montan (5) sobre moldes previamente adaptados (4). Finalmente, el curado del producto se realiza en condiciones de alta humedad y temperatura intermedia (6). Para su ejecución se emplean rociadores de agua y calentadores de combustión. El agua industrial consumida se extrae de un pozo sin tratamiento previo. Para realizar los movimientos internos (7) de productos y materiales se utilizan grúas pórtico y carretillas elevadoras. También se utilizan dos pastillas para movimientos externos (8). Finalmente, las actividades de administración (9) completan los procesos unitarios.

Los residuos que genera la organización son restos de hormigón y chatarra de hierro. Los residuos sólidos urbanos generados por los trabajadores fueron omitidos por representar un caudal ínfimo. Los residuos de hormigón se eliminan en vertederos para materiales inertes. Los residuos de hierro se recogen y reciclan por separado. Los efluentes producidos por agua de curado, lavado de máquinas y limpieza en general, se tratan a través de una instalación de sedimentación por gravedad sin consumo de energía y luego se descargan a una cuneta municipal.

### **5.3. Aplicación de la metodología al caso de estudio**

#### **5.3.1. Etapa 1. Análisis de circularidad de la organización.**

La **Tabla 5.1** reporta el valor de los indicadores seleccionados para cuantificar la circularidad del escenario base (SC0). Se aprecia que la organización tiene iniciativas relacionadas con la simbiosis industrial (Indicador 6), productos diseñados para un consumo reducido de material/energía (Indicador 8), recicla una muy pequeña proporción de sus residuos (Indicador 20) y ya invirtió en EC (Indicador 23). Se identificó que la OI no utiliza energía de fuentes renovables (Indicador 16) ni materia prima con contenido reciclado (Indicador 18). Los indicadores de cuantificación de consumo (Indicador 13, 14, 15 y 17) y de generación de residuos (Indicador 19, 21 y 22) no dan información útil en esta etapa ya que no hay punto de comparación. Los demás indicadores presentan valor cero. Se concluye que la organización no

presenta muchas experiencias en economía circular. Por esta razón, las posibilidades de mejora de circularidad de la misma son variadas.

**Tabla 5.1** Circularidad de escenario base (SC0)

*Fuente: Elaboración propia*

| Categoría                        | Indicador   |        | Unidad               |
|----------------------------------|---|--------|----------------------|
| Estrategia y visión              | 1. Estrategias de EC incorporadas en estrategias corporativas | 0      | - (cantidad)         |
| Modelo de negocio                | 2. Leasing/alquiler   | 0      | -                    |
|                                  | 3. Iniciativas de extensión de vida de los productos          | 0      | -                    |
| Gestión ambiental                | 4. Sistemas de gestión ambiental                              | 0      | -                    |
|                                  | 5. Reporte de actividades de gestión ambiental                | 0      | -                    |
| Simbiosis industrial             | 6. Colaboraciones con externos                                | 1      | -                    |
| Diseño                           | 7. Productos reciclables o reusables                          | 0      | -                    |
|                                  | 8. Productos de consumo reducido de materiales y energía      | 1      | -                    |
|                                  | 9. Productos diseñados para minimizar residuos                | 0      | -                    |
|                                  | 10. Iniciativas de empaque verde                              | 0      | -                    |
| Selección de proveedores         | 11. Selección de proveedores por desempeño circular           | 0      | -                    |
|                                  | 12. Selección de proveedores por desempeño ambiental          | 0      | -                    |
| Producción y consumo             | 13. Consumo de materiales                                     | 2508   | t                    |
|                                  | 14. Consumo de agua   | 432    | m <sup>3</sup>       |
|                                  | 15. Consumo de energía eléctrica                              | 40872  | kWh                  |
|                                  | 16. Consumo de energía eléctrica renovable                    | 0      | %                    |
|                                  | 17. Consumo de combustible                                    | 31     | m <sup>3</sup>       |
| Materia prima secundaria         | 18. Materias primas con contenido reciclado                   | 0      | %                    |
| Generación y gestión de residuos | 19. Residuos sólidos generados                                | 338    | t                    |
|                                  | 20. Residuos sólidos reciclados                               | 0.6    | %                    |
|                                  | 21. Efluentes generados                                       | 9      | m <sup>3</sup>       |
|                                  | 22. Emisiones gases efecto invernadero                        | 337    | t CO <sub>2</sub> eq |
| Competitividad e innovación      | 23. Inversión en EC   | 135000 | ARS                  |
| Servicios posventa               | 24. Sistemas de recolección de productos después del uso      | 0      | -                    |

### 5.3.2. Etapa 2. Propuesta y análisis de los escenarios alternativos

La **Tabla 5.2** presenta el proceso de selección de estrategias de EC según los tres criterios definidos en el capítulo 4, **Figura 4.2**. C1: ¿Son aplicables a la organización?, C2: ¿La organización está dispuesta a implementar la estrategia? y C3: ¿Mejora la circularidad de la organización?

**Tabla 5.2** Selección de estrategias de EC y escenarios alternativos

Fuente: Elaboración propia

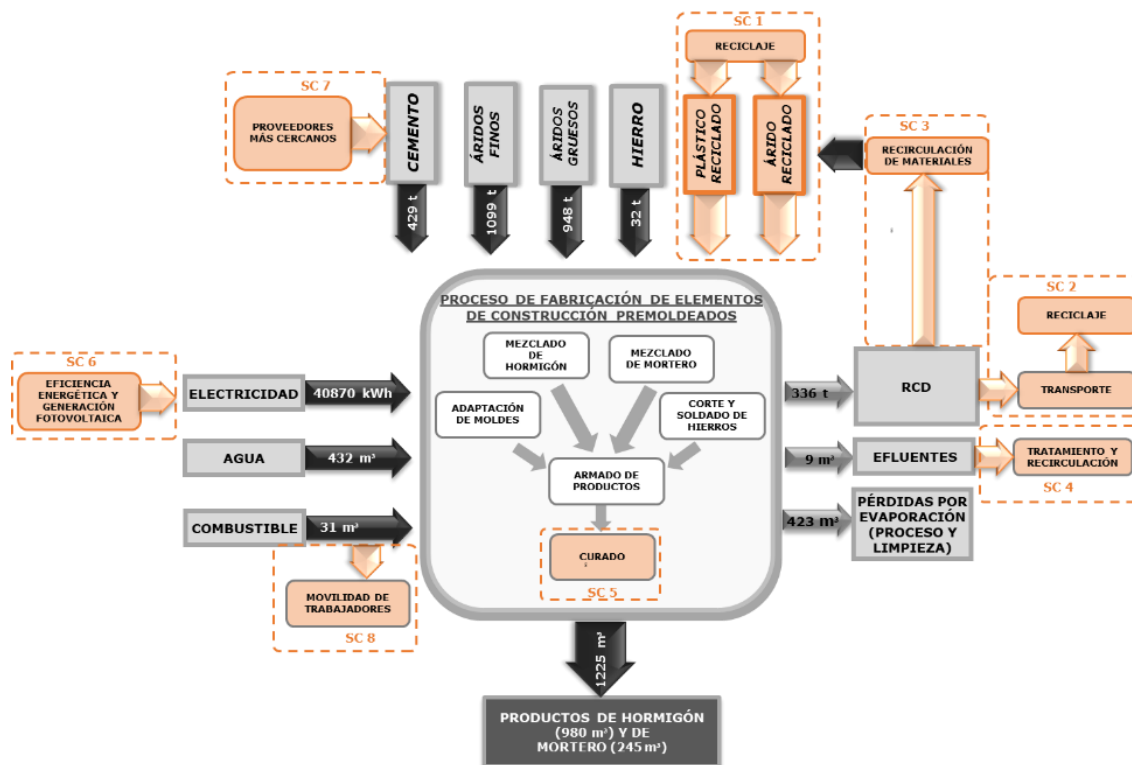
| Enfoque                      | Estrategia                         | C1 | C2 | C3 | Escenario     |
|------------------------------|------------------------------------|----|----|----|---------------|
| Modelo de negocio            | Personalización/bajo demanda       | ✓  | ✓  | X  | SC8           |
|                              | Consumo colaborativo               | ✓  | ✓  | ✓  |               |
|                              | Sistemas producto-servicio         | ✓  | X  |    |               |
|                              | Desmaterialización/virtualización  | X  |    |    |               |
| Diseño                       | Diseño para desensamblaje          | ✓  | X  |    | SC1<br>SC1    |
|                              | Diseño modular                     | ✓  | ✓  | X  |               |
|                              | Diseño para durabilidad            | ✓  | X  |    |               |
|                              | Diseño para flexibilidad           | ✓  | X  |    |               |
|                              | Eco-diseño                         | ✓  | ✓  | ✓  |               |
|                              | Diseño para reducción              | ✓  | ✓  | ✓  |               |
|                              | Diseño para reparación             | X  |    |    |               |
|                              | Diseño para reciclaje              | ✓  | X  |    |               |
| Abastecimiento de materiales | Materiales de bajo impacto         | ✓  | ✓  | ✓  | SC7           |
|                              | Materiales abundantes/renovables   | ✓  | X  |    | SC1           |
|                              | Materiales reciclados              | ✓  | ✓  | ✓  |               |
|                              | Materiales biológicos              | X  |    |    |               |
|                              | Materiales no peligrosos           | X  |    |    |               |
| Venta y logística            | Embalaje eficiente                 | X  |    |    |               |
|                              | Etiquetado de productos            | X  |    |    |               |
|                              | Información digital                | X  |    |    |               |
| Consumo/Usos                 | Eficiencia de energía y materiales | ✓  | ✓  | ✓  | SC1           |
|                              | Reuso                              | X  |    |    |               |
|                              | Actualización                      | X  |    |    |               |
|                              | Mantenimiento                      | X  |    |    |               |
|                              | Reparación                         | X  |    |    |               |
| Logística inversa            | Fomento del retorno                | X  |    |    |               |
|                              | Infraestructura                    | X  |    |    |               |
|                              | Recolección separada               | X  |    |    |               |
| Valorización de fin de vida  | Reacondicionamiento                | X  |    |    | SC2           |
|                              | Remanufactura                      | X  |    |    |               |
|                              | Reciclaje                          | ✓  | ✓  | ✓  |               |
|                              | Recuperación energética            | X  |    |    |               |
|                              | Compostaje                         | X  |    |    |               |
| Proceso de fabricación       | Eficiencia energética              | ✓  | ✓  | ✓  | SC6           |
|                              | Eficiencia de materiales           | ✓  | ✓  | ✓  | SC3, SC4, SC5 |
|                              | Seguimiento de materiales          | ✓  | X  |    | SC3, SC4      |
|                              | Recuperación de recursos           | ✓  | ✓  | ✓  |               |
|                              | Simbiosis industrial               | ✓  | ✓  | ✓  |               |

Como resultado, se seleccionaron 11 estrategias finales que se organizaron en ocho escenarios alternativos (**Tabla 5.3**). En la **Figura 5.2** se presenta el diagrama de flujo del escenario actual (en color gris) y dónde tendrían efecto los distintos escenarios alternativos (en color naranja).



**Tabla 5.3** Escenarios alternativos propuestos  
Fuente: *Elaboración propia*

| 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    |



**Figura 5.2** Diagrama de flujo de los escenarios actual (SC0) y alternativos (SC1,..., SC8).  
Fuente: *Adaptado de Ibáñez-Forés et al. (en revisión)*

A continuación, se describen los escenarios alternativos propuestos en la **Tabla 5.3**. Las fichas técnicas de cada escenario se adjuntan en Anexos.

- **SC1. Utilización de materias primas recicladas.** Se propuso el uso de materias primas recicladas para la fabricación de los productos. Las materias primas recicladas se seleccionaron para no comprometer el rendimiento del producto. Este escenario tiene dos sub escenarios:
  - **SC1a. Utilización de plástico reciclado en mortero.** Se propuso una nueva dosificación para el mortero alivianado (**Tabla 5.4**). Este se basa en la sustitución de finos por residuos plásticos triturados. La dosificación propuesta ha sido previamente ensayada y es factible desde el punto de vista técnico (Mercante et al., 2018). Esta dosificación permite mejorar las propiedades aislantes, impulsar un mercado de plásticos reciclados y lograr una reducción del consumo de cemento y agua (Ojeda et al., 2020). El plástico reciclado

(PET) usado proviene de una instalación de reciclaje ubicada cerca de la organización informante (Alejandrino et al., 2019). Para implementar este escenario, es necesario adaptar la salida del mezclador mediante la instalación de una válvula de 3" y una manguera a juego con 20 m de longitud.

**Tabla 5.4** Nueva dosificación de mortero celular

*Fuente: Adaptado de (Mercante et al., 2018)*

| Material                          | SC0    | SC1a |
|-----------------------------------|--------|------|
| Cemento (kg/m <sup>3</sup> )      | 350.69 | 280  |
| Áridos finos (kg/m <sup>3</sup> ) | 898.09 | 815  |
| Agua (l/m <sup>3</sup> )          | 213    | 160  |
| Plástico (kg/m <sup>3</sup> )     | 0      | 79.2 |
| Espumígeno (l/m <sup>3</sup> )    | 8.77   | 7    |

- **SC1b. Utilización de reciclado grueso en hormigón.** Se propuso la sustitución del 20% de virgen grueso por árido grueso reciclado. Esa proporción no reduce la resistencia del producto (González-Fonteboa and Martínez-Abella, 2005) y cumple con los requisitos de la norma IRAM (2016).
- **SC2. Reciclaje de residuos.** La mayoría de los residuos derivados del proceso de fabricación están compuestos por hormigón y mortero. Estos residuos pueden enviarse a una instalación de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) externa para su reciclaje. Como es un flujo limpio, el proceso de reciclaje es simple y solo requiere un proceso de trituración. Se asumió la eficiencia de reciclaje (90%) y la tasa de sustitución (1:1) en base a plantas similares (Mercante, 2014; Mercante et al., 2012).
- **SC3. Recirculación de materiales.** Para este escenario se propuso el reciclaje in situ de RCD. El RCD puede ser triturado y utilizado como material grueso secundario para producir nuevos productos. Considerando los mismos criterios que el escenario SC1b, solo el 20% del consumo grueso total podría ser reemplazado por material grueso reciclado. Esta cantidad es significativamente menor que los RCD generados, por lo que este escenario de todos modos necesita enviar algunos residuos al vertedero. Se asumió una eficiencia del proceso de reciclaje del 90% y una tasa de sustitución de 1:1 (Mercante, 2014; Mercante et al., 2012). Para llevar a cabo este escenario se asumió que se adquiere una pequeña trituradora de hormigón (potencia de 3 HP y capacidad de trituración de 2 m<sup>3</sup>/h).
- **SC4. Recirculación de efluentes.** Se propuso la recirculación de efluentes del proceso de lavado y curado de equipos. Se estimó una tasa de recuperación del 50% del agua consumida para estos procesos (Sandrolini and Franzoni, 2001). Una vez que se tratan los efluentes se pueden emplear para el proceso de mezcla. Podría producirse una ligera reducción de la resistencia y la relación agua-cemento debido a este uso (Sandrolini and Franzoni, 2001). Ambos efectos se ignoran ya que el volumen de efluente recuperado es mucho menor que el agua consumida para estos procesos. Para implementar esta mejora se requiere un sistema de canales para la recolección de agua y una instalación para el tratamiento. El área de curado ya cuenta con una cuba con pendiente de fondo, entonces solo son necesarios 20 m de canal para el sistema de recolección. Se asumió que la planta de tratamiento estará compuesta por un tanque de sedimentación gravitacional con 450 l de capacidad (generación diaria de efluentes) y una bomba para transportar el efluente recuperado al tanque de almacenamiento de agua del equipo de mezcla. Se asumió que será necesaria una bomba de 4" con 4 HP de potencia.

- **SC5. Automatización del curado.** Actualmente, el proceso de curado se realiza mediante operación manual. En su lugar, el escenario actual sugiere un sistema automático. Este sistema utilizaría sensores para adquirir parámetros de humedad y temperatura, datos que se utilizan para activar válvulas y rociadores cuando sea necesario. La activación de los calentadores seguiría siendo manual, aunque el sistema de control y alerta de temperatura sería automático. Como resultado, se podría lograr una reducción del 50% y 30% del consumo de agua y combustible, respectivamente (Yang et al., 2018). El nuevo equipo para implementar esta mejora está compuesto por sensores, placa electrónica y una válvula esférica motorizada.
- **SC6. Eficiencia energética.** Este escenario prevé estrategias para mejorar la eficiencia del consumo de energía y reducir el uso de energía de fuentes no renovables. Para lograr el primer objetivo, se analizaron gran cantidad de alternativas para procesos industriales (Comisión Europea, 2009) y para actividades administrativas (Doty, 2016; Thumann et al., 2003). Se sugirieron mejoras en los sistemas de iluminación y refrigeración del sector de oficinas, porque constituyen más del 25% del consumo total de energía y, además, porque los equipos industriales ya tienen implementadas soluciones de eficiencia energética. Se propuso la instalación de sensores fotovoltaicos para iluminación exterior, sustitución de luces fluorescentes por LED y sustitución de equipos de aire acondicionado por otros más eficientes. Para reducir la energía de origen no renovable se sugiere la sustitución de la energía proporcionada por la red (generada principalmente a partir de combustibles fósiles) por energía generada in situ a partir de equipos solares fotovoltaicos. Se asumió que el 90% del consumo total provendría de energía solar y el 10% restante de la red. El equipo necesario para este sistema está compuesto por paneles solares, inversores y equipos auxiliares.
- **SC7. Proveedores cercanos.** Para reducir el transporte de materias primas en vehículos, que no son propiedad de la organización, se propuso un cambio a proveedores más cercanos. Se sugiere un proveedor alternativo de cemento. No se identificaron proveedores de hierro, áridos finos ni gruesos más cercanos. Los proveedores de otras materias primas no fueron analizados ya que representan una pequeña proporción para la organización informante.
- **SC8: Movilidad de trabajadores.** Este escenario propone la implementación de una estrategia de movilidad para los desplazamientos de los empleados. Se fomentan los transportes alternativos como bicicletas, transporte público y el uso compartido de vehículos (Vanoutrive et al., 2012). Se propuso el uso de una plataforma para controlar y distribuir incentivos según la reducción de los desplazamientos individuales. La plataforma se basaría en una aplicación de teléfono celular (Ciclogreen, 2021). Se estima una reducción del 30% del desplazamiento total de los empleados, en base a experiencias similares en otras organizaciones.

Estos escenarios fueron evaluados con las mismas métricas de circularidad utilizadas en la etapa 1 para confirmar que producen mejoras en el desempeño de la CE de la organización (**Tabla 5.5**).

**Tabla 5.5** Porcentaje de mejora de cada indicador de circularidad (Tabla 5.1) para cada escenario alternativo (SC1-SC8) respecto al escenario base (SC0).

*Fuente: Elaboración propia*

|           | <i>Indicadores de EC (Tabla 5.1)</i> |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    |      |    |       |       |       |    |       |       |       |     |       |      |    |
|-----------|--------------------------------------|---|---|---|---|-----|---|---|---|----|----|------|----|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|-----|-------|------|----|
|           | 1                                    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6   | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12   | 13 | 14    | 15    | 16    | 17 | 18    | 19    | 20    | 21  | 22    | 23   | 24 |
| SC1a      |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    | 0.72 |    |       |       |       |    | 0.76  |       |       |     | -0.30 | 26   |    |
| SC1b      |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    |      |    |       |       |       |    | 7.63  |       |       |     | -0.04 |      |    |
| SC1a+SC1b |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    | 0.72 |    |       |       |       |    | 8.33  |       |       |     | -0.34 | 26   |    |
| SC2       |                                      |   |   |   |   | 100 |   |   |   |    |    |      |    |       |       |       |    |       |       | 100   |     | -0.26 |      |    |
| SC3       |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    | 7.54 |    | -0.04 |       |       |    | 7.58  | 62.43 | 63.02 |     | 0.06  | 148  |    |
| SC4       |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    |      |    | 50    | -0.03 |       |    |       |       |       | 100 |       | 30   |    |
| SC5       |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    |      |    | 25    |       |       |    |       |       |       | 100 | 0.05  | 37   |    |
| SC6       |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    |      |    |       | 10.22 | 71.83 |    |       |       |       |     | 4.40  | 2222 |    |
| SC7       |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    |      |    |       |       |       |    | 3.23  |       |       |     | 1.34  |      |    |
| SC8       |                                      |   |   |   |   |     |   |   |   |    |    |      |    |       |       |       |    | 25.81 |       |       |     | 7.65  |      |    |

### 5.3.3. Etapa 3. Evaluación de sostenibilidad de los escenarios

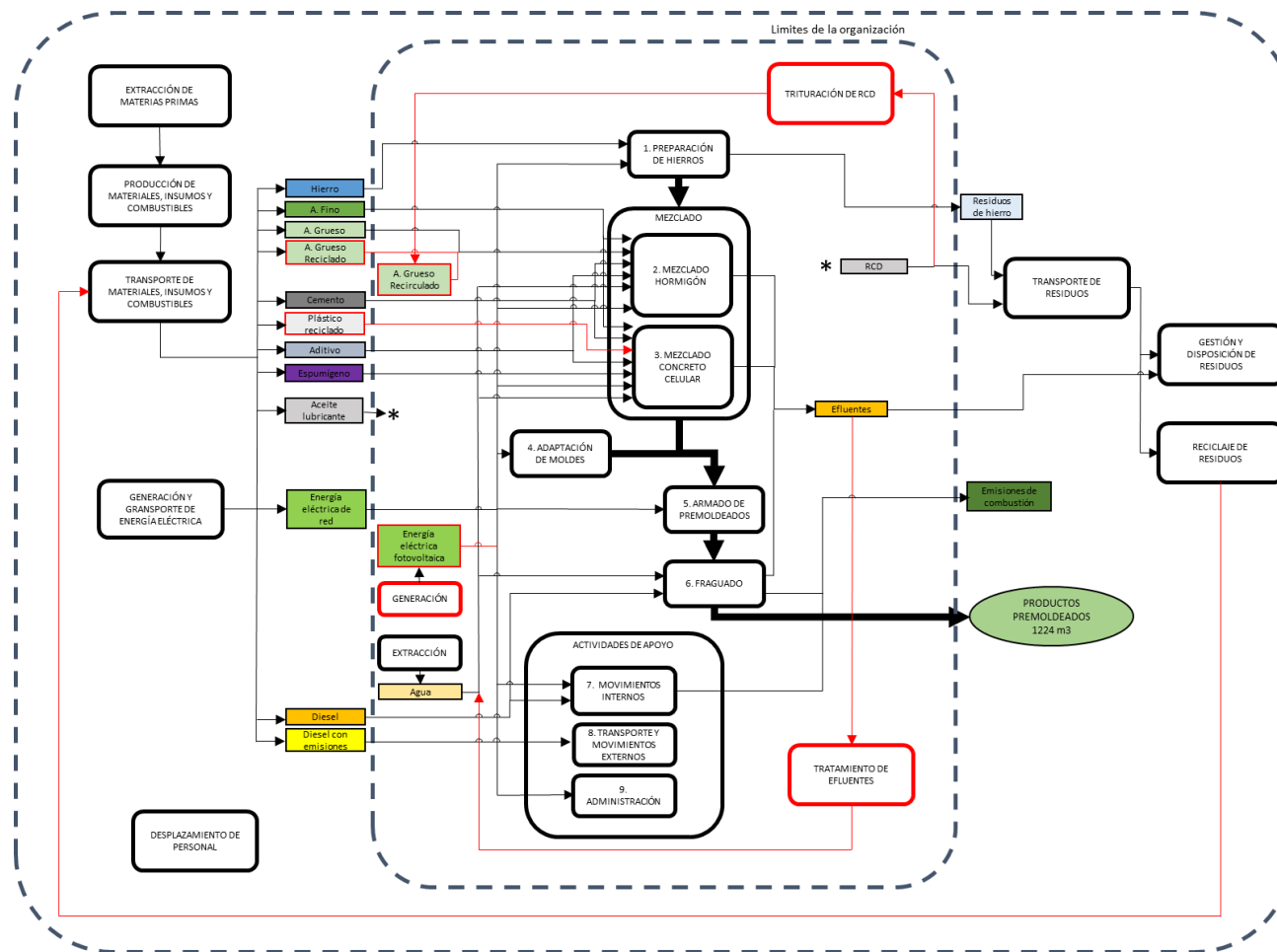
En esta etapa se aplicó la técnica de ASCV-O desarrollada y propuesta en el capítulo 3 de esta tesis.

#### 5.3.3.1. Definición de objetivo y alcance del ASCV-O

El objetivo de esta etapa fue analizar y comparar el desempeño ambiental, económico y social del escenario base (SC0) y de los escenarios que incorporan estrategias para mejorar la circularidad de la organización (SC1 - SC8). Los resultados del estudio están destinados a uso interno.

La unidad de reporte fue definida para la evaluación de la organización completa, que está compuesta por una sola instalación, por lo que no se necesitó un enfoque de consolidación. El flujo reportado fue la producción correspondiente a un año (2020) que representa 980 m<sup>3</sup> de productos de hormigón y 245 m<sup>3</sup> de productos de mortero. Con respecto a los límites del sistema se propuso un enfoque de la cuna a la puerta. El límite del sistema seleccionado fue el mismo para el análisis ambiental y económico. Los límites del sistema se muestran en la **Figura 5.3**, donde los procesos de la unidad organizativa (1-9) se presentan en recuadros negros gruesos, los procesos externos se presentan en recuadros grises y los procesos de escenarios alternativos en recuadros rojos. Los flujos de entrada y salida de cada proceso se presentan en cuadros de colores. Las líneas discontinuas se utilizaron para diferenciar los límites de la organización de los límites del sistema.

Para el análisis social, se seleccionaron solo las partes interesadas que pueden verse afectadas por los escenarios de EC, trabajadores y comunidad local. Las demás partes interesadas fueron excluidas durante el proceso de selección de indicadores. Este proceso se presenta en el apartado de evaluación de impactos.



**Referencias**

En negro actividades y procesos de escenario base y en rojo las actividades y procesos correspondientes a escenarios alternativos.

\* Entradas y salidas no asignadas a procesos (generales de toda la organización)

**Figura 5.3. Límites del sistema**

Fuente: Adaptado de (Alejandrino et al., 2022)

### 5.3.3.2. Análisis de inventario del ASCV-O

La **Tabla 5.6** presenta los datos de flujos de entrada y salida para cada actividad, la distancia de transporte para cada flujo y la inversión inicial necesaria para el escenario base (SC0) y para los escenarios alternativos (SC1 - SC8). Además, incluye el traslado diario de los empleados desde sus hogares hasta la planta y los viajes en avión que los directivos de la OI realizan a Buenos Aires. Todos estos datos corresponden a datos primarios obtenidos para el presente estudio de caso.

A partir de la tabla de entradas y salidas se conformaron los inventarios, uno ambiental (**Tabla 5.7**), uno económico (**Tabla 5.8**) y uno social (**Tabla 5.9**). Para el modelo de inventario ambiental se consideró un corte del 1% en el volumen de producción. Se utilizó el software Simapro 9.2.0.2 cuya licencia es propiedad de la Universidad Nacional de Cuyo (PRé Sustainability B. V., 2022) para modelar el inventario ambiental, mientras que MS Excel (Microsoft, 2021) para los inventarios económico y social.

Las fuentes de datos se detallan en la penúltima columna de los inventarios y la evaluación cualitativa de calidad de datos mediante Matriz de Pedigree en la última columna. Para el análisis de calidad de datos se analizaron por separado los tres inventarios. El Nivel General de Calidad de Datos (NGCD) obtenido fue BUENO para el inventario ambiental y EXCELENTE para los inventarios económico y social. Dadas las calificaciones del NGCD, se consideró importante tomar acciones para el inventario ambiental, por lo cual se realizó un análisis de incertidumbre de los resultados en la etapa de interpretación.

**Tabla 5.6** Flujos de entradas y salidas  
Fuente: Adaptado de Alejandrino et al. (2022)

| Entradas/salidas                     | Unidad         | SC0   | SC1a  | SC1b  | SC1   | SC2   | SC3   | SC4   | SC5   | SC6   | SC7   | SC8   | Distancia (km)   |
|--------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| Áridos finos                         | t              | 1099  | 1079  | 1099  | 1079  | 1099  | 1099  | 1099  | 1099  | 1099  | 1099  | 1099  | 16               |
| Áridos gruesos                       | t              | 948   | 948   | 758   | 758   | 948   | 758   | 948   | 948   | 948   | 948   | 948   | 16               |
| Cemento                              | t              | 429   | 412   | 429   | 412   | 429   | 429   | 429   | 429   | 429   | 429   | 429   | 260 <sup>1</sup> |
| Plástico reciclado                   | t              | 0     | 19    | 0     | 19    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 15               |
| Árido grueso reciclado               | t              | 0     | 0     | 190   | 190   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 15               |
| Árido grueso recirculado             | t              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 190   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -                |
| Hierro                               | t              | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    | 32    | 860              |
| Espumígeno                           | l              | 2146  | 1714  | 2146  | 1714  | 2146  | 2146  | 2146  | 2146  | 2146  | 2146  | 2146  | <sup>2</sup>     |
| Lubricante                           | l              | 120   | 120   | 120   | 120   | 120   | 120   | 120   | 120   | 120   | 120   | 120   | <sup>2</sup>     |
| Aditivo                              | l              | 1980  | 1980  | 1980  | 1980  | 1980  | 1980  | 1980  | 1980  | 1980  | 1980  | 1980  | <sup>2</sup>     |
| Electricidad de red                  | kWh            | 40870 | 40872 | 40872 | 40872 | 40872 | 40888 | 40884 | 40872 | 7339  | 40872 | 40872 |                  |
| Electricity de paneles fotovoltaicas | kWh            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 29357 | 0     | 0     |                  |
| Diesel con emisiones                 | m <sup>3</sup> | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    | 21    |                  |
| Diesel sin emisiones                 | m <sup>3</sup> | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 4     | 5     | 5     | 5     |                  |
| Emisiones por combustión             | m <sup>3</sup> | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 4     | 5     | 5     | 5     |                  |
| Agua                                 | m <sup>3</sup> | 432   | 432   | 432   | 432   | 432   | 432   | 324   | 324   | 432   | 432   | 432   |                  |
| Efluentes                            | l              | 9000  | 9000  | 9000  | 9000  | 9000  | 9000  | 0     | 0     | 9000  | 9000  | 9000  |                  |
| Reciclaje de hierro                  | t              | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     |                  |
| RCD a relleno sanitario              | t              | 336   | 336   | 336   | 336   | 0     | 125   | 336   | 336   | 336   | 336   | 336   | 1                |
| RCD a reciclaje                      | t              | 0     | 0     | 0     | 0     | 336   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 12               |
| <b>Inversión (ARS*1000)</b>          |                |       | 35    | 0     | 35    | 0     | 200   | 40    | 50    | 3000  | 0     | 0     |                  |

<sup>1</sup>80 km para SC7, <sup>2</sup>Excluido por regla de corte

**Tabla 5.7** Modelo de inventario ambiental

Fuente: Adaptado de Alejandrino et al. (2022)

|  | Actividades   | Entradas/salidas                     | Fuente del dato   | Referencias                             | Pedigree       |
|--|---|--------------------------------------|---|---|----------------|
| Actividades indirectas - Upstream  | Materias primas y materiales adquiridos   | Áridos finos                         | Promedio de mediciones de canteras locales                            | Mercante (2014))                        | (1,1,2,1,1,na) |
|  |   | Áridos gruesos                       | Promedio de mediciones de canteras locales                            | Mercante (2014)                         | (1,1,2,1,1,na) |
|  |   | Cemento                              | Base de datos. Adaptación a matriz eléctrica Argentina.               | Ecoinvent (2021).                       | (2,5,5,5,3,na) |
|  |   | Plástico reciclado                   | Medición directa en instalaciones del proveedor.                      | Alejandrino et al. (2019)               | (1,1,1,1,1,na) |
|  |   | Áridos reciclados                    | Medición directa en planta con tecnología similar.                    | Mercante (2014)                         | (1,1,2,4,4,na) |
|  |   | Hierro                               | Base de datos. Adaptación a matriz eléctrica Argentina                | Ecoinvent (2021).                       | (2,5,5,5,3,na) |
|  |   | Espumígeno                           |   | Excluido por regla de corte.            |                |
|  |   | Lubricante                           |   | Excluido por regla de corte             |                |
|  |   | Aditivos                             |   | Excluido por regla de corte             |                |
|  | Energía eléctrica adquirida   | De red                               | Base de datos. Adaptación a matriz eléctrica Argentina                | Ecoinvent (2021).                       | (2,1,5,1,1,na) |
|  |   | Fotovoltaica                         | Base de datos. Adaptación a matriz eléctrica Argentina                | Ecoinvent (2021).                       | (2,5,5,5,3,na) |
|  | Combustibles adquiridos.  | Diesel                               | Base de datos. Adaptación a matriz eléctrica Argentina                | Ecoinvent (2021).                       | (2,5,5,5,3,na) |
|  | Gestión y tratamiento de residuos sólidos fuera de la OI.                         | Residuos de hierro a reciclaje       | Base de datos.  | Ecoinvent (2020).                       | (2,5,5,5,3,na) |
|  |   | RCD a disposición final              | Promedio de mediciones de rellenos sanitarios locales                 | Mercante (2014), Mercante et al. (2012) | (1,3,2,2,2,na) |
|  |   | RCD a reciclaje                      | Medición directa en planta con tecnología similar                     | Mercante (2014), Mercante et al. (2012) | (2,1,2,4,2,na) |
|  | Transporte de materiales y residuos en vehículos no propiedad de la OI.           | Cemento                              |   |   | (3,2,1,2,4,na) |
|  |   | Áridos finos                         |   |   | (3,2,1,2,4,na) |
|  |   | Áridos gruesos                       |   |   | (3,2,1,2,4,na) |
| Hierro   |   |                                      |   | (3,2,1,2,4,na)                          |                |
| Plástico reciclado   |   | Medición directa en los proveedores. | Mercante (2014), Mercante et al. (2012),<br>Alejandrino et al. (2019) | (3,2,1,2,4,na)                          |                |
| Árido reciclado  |   |                                      |   | (3,2,1,2,4,na)                          |                |
| Residuos de hierro a reciclaje   |   |                                      |   | (3,2,1,2,4,na)                          |                |
| RCD a disposición final  |   |                                      |   | (3,2,1,2,4,na)                          |                |
| RCD a reciclaje  |   |                                      | (3,2,1,2,4,na)  |   |                |
| Desplazamiento de empleados y viajes de personal en vehículos no propiedad de la OI. | Viajes en avión   | Base de datos.                       | Ecoinvent (2021).   | (2,5,5,5,3,na)                          |                |
|  | Desplazamiento de empleados   | Base de datos.                       | Ecoinvent (2021).   | (2,1,1,1,1,na)                          |                |
| Actividades directas   | Desplazamiento de empleados y viajes de personal en vehículos propiedad de la OI. | Diésel                               | Base de datos. Adaptación a matriz eléctrica Argentina                | Ecoinvent (2021).                       | (2,5,5,5,3,na) |
|  | Combustión de combustibles en equipos estacionarios.                              | Emisiones por combustión de diésel   | Base de datos.  | Ecoinvent (2021).                       | (2,5,5,5,3,na) |
|  | Consumo de recursos naturales.  | Agua                                 | Base de datos.  | Ecoinvent (2021).                       | (2,5,5,5,3,na) |

**Tabla 5.8** Modelo de inventario económico

Fuente: Adaptado de Alejandrino et al. (2022)

|  | Actividades   | Entradas/salidas                   | Costo     | Unidad                                     | Fuente del dato  | Pedigree       |
|--|---|------------------------------------|-----------|--|--|----------------|
| Actividades indirectas - Upstream  | Materias primas y materiales adquiridos   | Áridos finos                       | 0.36      | ARS/kg                                     | Medición directa en los proveedores.   | (1,1,1,1,1,na) |
|  |   | Áridos gruesos                     | 0.16      | ARS/kg                                     | Medición directa en los proveedores.   | (1,1,1,1,1,na) |
|  |   | Cemento                            | 11.40     | ARS/kg                                     | Medición directa en los proveedores.   | (1,1,1,1,1,na) |
|  |   | Plástico reciclado                 | 9.25      | ARS/kg                                     | Estimación basada en datos de proveedores.   | (2,1,1,1,1,na) |
|  |   | Áridos reciclados                  | 0.16      | ARS/kg                                     | Estimación basada en árido virgen.   | (3,1,1,1,2,na) |
|  |   | Hierro                             | 93.51     | ARS/kg                                     | Medición directa en los proveedores.   | (1,1,1,1,1,na) |
|  |   | Espumígeno                         | 350.00    | ARS/l                                      | Medición directa en los proveedores.   | (1,1,1,1,1,na) |
|  |   | Lubricante                         | 475.00    | ARS/l                                      | Medición directa en los proveedores.   | (1,1,1,1,1,na) |
|  |   | Aditivos                           | 66.00     | ARS/kg                                     | Medición directa en los proveedores.   | (1,1,1,1,1,na) |
|  | Energía eléctrica adquirida.  | De red                             | 76888.02  | ARS/mes                                    | Estimación basada en costos fijos y variables.   | (2,1,1,1,1,na) |
|  |   | De red (SC6)                       | 61959.42  | ARS/mes                                    | Estimación basada en costos fijos y variables.   | (2,1,1,1,1,na) |
|  |   | Fotovoltaica                       |           |  | Costos de mantenimiento excluidos.   |                |
|  | Combustibles adquiridos.  | Diesel                             | 51.34     | ARS/l                                      | Medición directa en los proveedores.   | (1,1,1,1,1,na) |
|  | Gestión y tratamiento de residuos sólidos fuera de la OI                          | Residuos de hierro a reciclaje     | -4.00     | ARS/kg                                     | Medición directa en los proveedores. Transporte incluido.  | (1,2,1,1,1,na) |
|  |   | RCD a disposición final            | 0.21      | ARS/kg                                     | Medición directa en los proveedores. Transporte incluido   | (1,2,1,1,1,na) |
|  |   | RCD a reciclaje                    | 0.00      | ARS/kg                                     | Estimación basada en instalaciones similares de Argentina.   | (2,1,1,1,2,na) |
|  | Transporte de materiales y residuos en vehículos no propiedad de la OI.           | Cemento                            |           |  | Costos de transporte incluidos en costos de materiales y bienes y en los costos de disposición final de RCD. |                |
|  |   | Áridos finos                       |           |  |  |                |
|  |   | Áridos gruesos                     |           |  |  |                |
|  |   | Hierro                             |           |  |  |                |
| Plástico reciclado   |   |                                    |           |  |  |                |
| Árido reciclado  |   |                                    |           |  |  |                |
| RCD a disposición final  |   |                                    |           |  |  |                |
| Desplazamiento de empleados y viajes de personal en vehículos no propiedad de la OI. | RCD a reciclaje   | 0.01                               | ARS/kg    | Estimación basada en datos de proveedores. | (2,1,1,1,2,na)   |                |
|  | Viajes en avión   | 4000.00                            | ARS/viaje | Medición directa en los proveedores.       | (2,1,1,2,2,na)   |                |
|  | Desplazamiento de empleados   | 13.28                              | ARS/km    | Medición directa en los proveedores.       | (2,1,1,1,2,na)   |                |
| Actividades directas   | Desplazamiento de empleados y viajes de personal en vehículos propiedad de la OI. | Diésel                             |           |  | Excluido para CCV-O.   |                |
|  | Combustión de combustibles en equipos estacionarios.                              | Emisiones por combustión de diésel |           |  | Excluido para CCV-O  |                |
|  | Consumo de recursos naturales.  | Agua                               | 60000.00  | ARS/mes                                    | Medición directa en los proveedores Costo fijo.  | (1,1,1,1,1,na) |



**Tabla 5.9** Modelo de inventario social

*Fuente: Elaboración propia*

| Información necesaria  | Datos | Fuente de datos                            | Pedigree       |
|--|-------|--|----------------|
| Cantidad de trabajadores   | 33    | Medición directa                           | (1,1,1,1,1na)  |
| Trabajadores con acceso a capacitación en el último año                  | 13    | Estimación basada en entrevistas y visitas | (4,1,1,1,1,na) |
| La organización ha participado en una iniciativa social en el último año | NO    | Estimación basada en entrevistas y visitas | (3,1,1,1,1,na) |
| Cantidad de proveedores  | 5     | Medición directa                           | (1,1,1,1,1na)  |
| Cantidad de proveedores provenientes de la comunidad local               | 1     | Medición directa                           | (1,1,1,1,1na)  |

### 5.3.3.3. Evaluación de impacto del ASCV-O

La **Tabla 5.10** presenta el proceso de selección de indicadores según los tres criterios definidos en el capítulo 4, **Figura 4.4**. Cr1: ¿Son importantes para organización y su actividad?, Cr2: ¿Es posible recabar los datos necesarios? y Cr3: ¿Presentan diferencias entre los escenarios alternativos? Como resultado se obtiene un listado de seis indicadores ambientales, dos económicos y tres sociales.

**Tabla 5.10** Selección de indicadores

*Fuente: Elaboración propia*

| Indicador  | Cr1            | Cr2 | Cr3            | Indicador   | Cr1 | Cr2 | Cr3            |
|--|----------------|-----|----------------|---|-----|-----|----------------|
| <b>Indicadores ambientales</b>                           |                |     |                | Horas semanales efectivamente trabajadas por empleado                     | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Agotamiento de recursos abióticos                        | ✓              | ✓   | ✓              | Salario de trabajadores comparado con Salario Mínimo Vital y Móvil (SMVM) | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Agotamiento de recursos abióticos (combustibles fósiles) | X <sup>1</sup> |     |                | Trabajadores que utilizan Equipos de Protección Personal (EPP)            | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Calentamiento global                                     | ✓              | ✓   | ✓              | Días perdidos por enfermedad y/o accidente laboral                        | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Agotamiento del ozono estratosférico                     | ✓              | ✓   | ✓              | Ocurrencia de heridas y/o accidentes laborales                            | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Toxicidad humana   | X <sup>2</sup> |     |                | Puestos de trabajos perdidos en la organización                           | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Ecotoxicidad acuática del agua dulce                     | X <sup>2</sup> |     |                | Acceso a capacitación Laboral   | ✓   | ✓   | ✓              |
| Ecotoxicidad marina                                      | X <sup>2</sup> |     |                | Tasa de rotación  | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Ecotoxicidad terrestre                                   | X <sup>2</sup> |     |                | Reclamos de proveedores   | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Oxidación fotoquímica                                    | ✓              | ✓   | ✓              | Proveedores evaluados según criterios sociales                            | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Acidificación  | ✓              | ✓   | ✓              | Compromiso con respeto de propiedad intelectual                           | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Eutrofización  | ✓              | ✓   | ✓              | Acciones legales por competencia desleal                                  | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| <b>Indicadores económicos</b>                            |                |     |                | Productos adaptados a capacidad de compra de comunidad                    | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Costo total anual  | ✓              | ✓   | ✓              | Participación en iniciativas de comunidad                                 | ✓   | ✓   | ✓              |
| Ingreso total anual                                      | ✓              | ✓   | X <sup>4</sup> | Compromiso de respeto a los derechos indígenas                            | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Utilidad operativa                                       | ✓              | ✓   | X <sup>4</sup> | Compromiso de respeto del patrimonio cultural                             | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Periodo de recuperación                                  | ✓              | ✓   | ✓              | Presencia de acciones de fortalecimiento de desarrollo comunitario        | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| <b>Indicadores sociales</b>                              |                |     |                | Trabajadores locales  | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Presencia de trabajo infantil                            | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Compras locales   | ✓   | ✓   | ✓              |
| Presencia de trabajo forzado                             | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Participación en investigaciones  | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Igualdad de género                                       | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Creación de nuevos empleos  | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Diferencia de remuneración por género                    | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Compromiso con cuestiones de sostenibilidad                               | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Presencia de discriminación                              | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Compromiso con la lucha contra corrupción                                 | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Presencia de acoso                                       | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Rol de la organización en el desarrollo de conflictos                     | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Trabajadores asociados a uniones laborales               | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Reclamos de clientes sobre salud y seguridad                              | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Trabajadores con cobertura de obra social                | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Presencia de mecanismos de retroalimentación                              | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |
| Trabajadores con aportes jubilatorios                    | ✓              | ✓   | X <sup>5</sup> | Reclamos de clientes respecto a su privacidad                             | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |

**Tabla 5.11 (continúa)** Selección de indicadores

Fuente: *Elaboración propia*

| Indicador                                  | Cr1 | Cr2 | Cr3            | Indicador                                | Cr1 | Cr2 | Cr3            |
|--|-----|-----|----------------|--|-----|-----|----------------|
| Trabajadores con otros beneficios sociales | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> | Reclamos de clientes sobre transparencia | ✓   | ✓   | X <sup>5</sup> |

<sup>1</sup> Iguales resultados a ADP.

<sup>2</sup> EN 15804:2012+A1:2013 (European Commite for Standarization, 2014)

<sup>3</sup> Incluido en TAC y PR

<sup>4</sup> Los escenarios de EC no provocan cambios de ingresos

<sup>5</sup> Los escenarios de EC no provocan diferencias en esos indicadores.

Para la **evaluación de impacto ambiental** se aplicó el método CML-IA baseline V3.05 (CML, 2016) y para el cálculo se utilizó el software Simapro 9.2.0.2 (PRé Sustainability B. V., 2022). Los indicadores o categorías de impacto ambiental seleccionadas fueron: Agotamiento abiótico (ADP) [kg Sb eq], Calentamiento global (GWP) [kg CO<sub>2</sub> eq], Agotamiento de la capa de ozono (ODP) [kg CFC-11 eq], Oxidación fotoquímica (POCP) [kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq], Acidificación (AP) [kg SO<sub>2</sub> eq] y Eutrofización (EP) [kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>eq].

Los resultados de los efectos ambientales de escenarios alternativos en comparación con el escenario base (SC0) se presentan en la **Figura 5.4**. Se observa que los escenarios SC1b y SC2 producen ligeros incrementos para todas las categorías evaluadas. Los escenarios SC1a y SC1 presentaron reducciones para EP y aumentos para el resto de categorías. Ambos escenarios arrojaron resultados similares, lo que significa que el efecto de SC1b es insignificante en comparación con SC1a. El aumento de los impactos para SC1 y sus sub escenarios se explica por el hecho de que utilizan materiales reciclados que requieren procesos de acondicionamiento previos, los cuales generan impactos ambientales. La causa del mayor impacto para SC2 es la mayor distancia involucrada en el transporte (para el vertedero es de 1 km y para la planta de reciclaje, de 12 km).

No se identificaron modificaciones de impacto ambiental para el SC4 porque este escenario solo reduce el consumo de agua (de pozo y sin tratamiento previo), lo cual no se refleja en ninguna de las categorías de impacto seleccionadas. Los escenarios SC3, SC5, SC6, SC7 y SC8 producen menos impacto para todas las categorías evaluadas. Se observaron mayores reducciones con respecto a SC0 para SC8, ADP (reducción de 0,002%), GWP (reducción de 7,65%), ODP (reducción de 11,04%), POCP (reducción de 5,45%), AP (reducción de 6,56%) y EP (reducción del 2,78%).

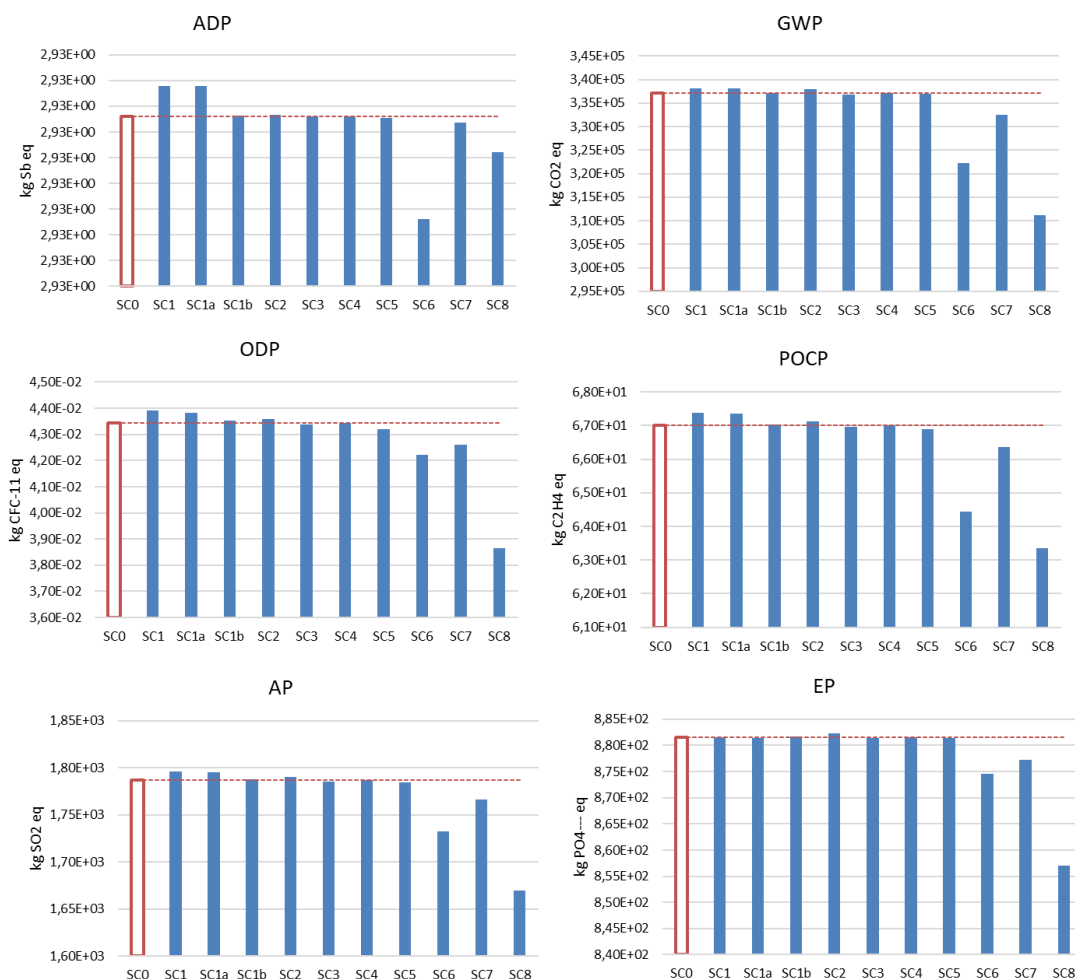
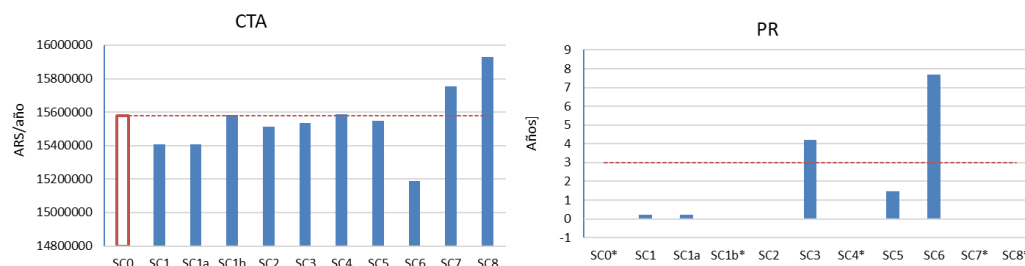


Figura 5.4. Comparación de impactos ambientales de escenarios alternativos

Fuente: Elaboración propia

Para la **evaluación de impacto económico** se seleccionaron dos indicadores, costo total anual (CTA) y periodo de recuperación (PR). Todos los costos se consideraron en la moneda argentina [ARS]. De acuerdo con la Comisión Europea (2006), solo se consideraron los costos nominales y la tasa de descuento. Se asumió una tasa de descuento del 10% y una vida útil de 20 años para los equipos industriales. Se utilizó un período de 3 años como referencia para el período de PR porque es el tiempo deseable necesario para que una inversión se considere rentable (Comisión Europea, 2006). El efecto del problema de la inflación que atraviesa Argentina en la actualidad está fuera del alcance de este estudio.

Los resultados se presentan en la **Figura 5.5**. Los escenarios SC1a, SC1b, SC3, SC4, SC5 y SC6 producen menos CTA que SC0, mientras que SC7 y SC8 muestran un CTA más alto que SC0. Se observaron costos más bajos para SC6 (2.5% menos TAC que SC0) y mayores para SC8 (2.2% más que SC0). Sin embargo, en esos resultados ninguno de los escenarios alternativos produce variaciones importantes para el CTA, por lo que todos los escenarios podrían implementarse de manera plausible. En referencia al PR, los escenarios SC1, SC1a, SC2 y SC5 presentaron un PB menor a 3 años. Los escenarios SC3 y SC6 producen una amortización en más de 3 años. No fue posible calcular este indicador para los escenarios SC1b, SC4, SC7 y SC8 porque los ingresos que se generan son menores que los costos, por lo que no se puede recuperar la inversión inicial.

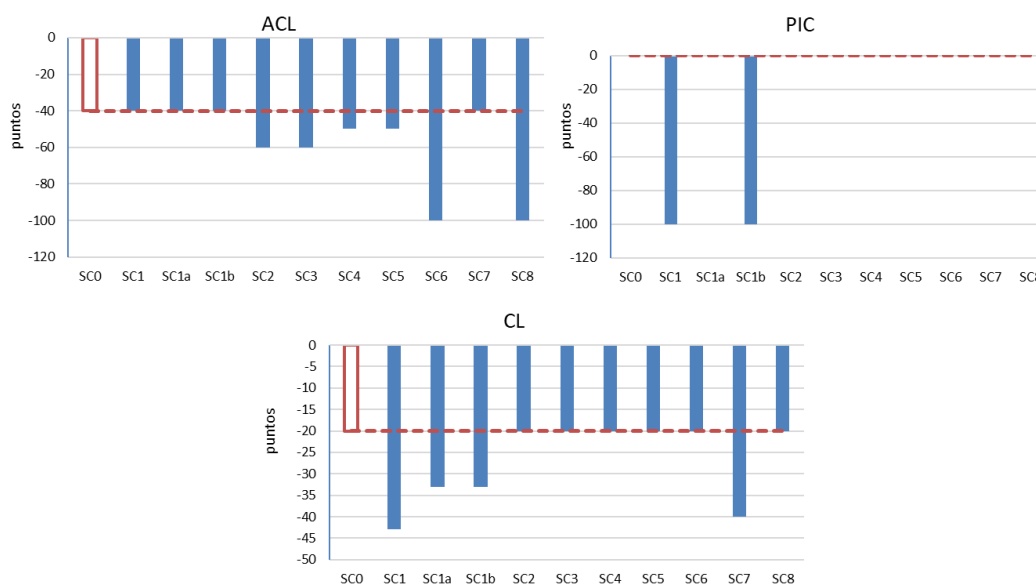


**Figura 5.5.** Comparación de impactos económicos de escenarios alternativos. \* No es posible calcular PR.

Fuente: Elaboración propia

Para la **evaluación de impacto social** se seleccionaron tres indicadores: acceso a capacitación laboral (ACL) relativo al impacto sobre los trabajadores y participación en iniciativas de la comunidad (PIC) y compras locales (CL) en referencia a los impactos sobre la comunidad local. Se utilizó una planilla de cálculo. Los resultados se presentan en la **Figura 5.6**. Todos los resultados se presentan en puntos, según la descripción de cada indicador incluida en el capítulo 3. Las valoraciones son negativas ya que corresponden a beneficios sociales, por lo que se consideran mejores los valores menores.

Respecto a ACL, los escenarios SC2, SC3, SC4, SC5, SC6 y SC8 presentaron mejoras respecto al escenario base y en particular los escenarios SC6 y SC8 mostraron los mejores resultados. Respecto a PIC, solo los escenarios SC1b y SC1 indicaron mejoras. En relación a CL, los escenarios SC1, SC1a, SC1b y SC7 presentaron mejoras respecto al escenario base y los mejores resultados se obtienen para SC1 y SC7. En ninguno de los escenarios alternativos se obtuvieron resultados peores que los del escenario base.



**Figura 5.6.** Comparación de impactos sociales de escenarios alternativos.

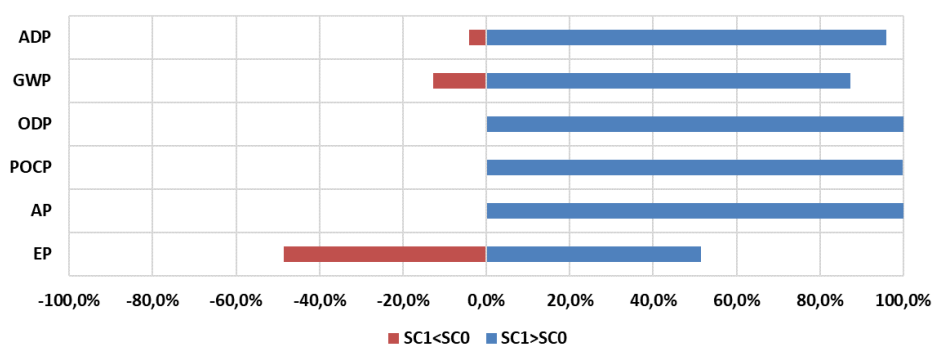
Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3.4. Interpretación del ASCV-O

Como se advirtió en el apartado 5.3.3.2, se consideró necesario realizar un análisis de incertidumbre sobre los resultados del impacto ambiental. Dicho análisis se realizó en dos partes, en primer lugar, se modeló la incertidumbre de la comparación de cada escenario

alternativo con el escenario base, y en segundo lugar se modeló la incertidumbre de aquellos escenarios y categorías donde las diferencias con SC0 no fueron significativas. En ambos casos se empleó la simulación de Montecarlo, mediante el módulo para este propósito, integrado en el software Simapro 9.2.0.2 En el análisis se consideró la incertidumbre de la valoración de los elementos del inventario previamente realizada a través de Matrices de Pedigree y la de los procesos unitarios incluidos en Ecoinvent (2021) que incluyen información de incertidumbre. Se consideró un intervalo de confianza de 95% y realizaron 5000 iteraciones.

En ocasiones, la incertidumbre de los datos no afecta los resultados cuando se comparan escenarios alternativos. Por este motivo se realizó en primer lugar un análisis del efecto de la incertidumbre de datos en los resultados de la comparación de impactos entre los escenarios alternativos (SCalt) y el escenario base (SC0). La **Figura 5.7** presenta el porcentaje de iteraciones para los cuales  $SC1 < SC0$  y para los cuales  $SC1 > SC0$ . El mismo proceso se realizó para todos los escenarios alternativos y los resultados se presentan en la **Tabla 5.11**. En la misma se escogió representar solo el porcentaje de iteraciones donde el impacto de cada escenario alternativo es menor que el del escenario base (Impacto de SCalt < Impacto de SC0), a los fines de simplificar su lectura. Se considera aceptable un resultado si al menos el 90% de las iteraciones lo presentan, en la **Tabla 5.11**. esto equivale a menos del 10% (Para los casos donde  $SCalt > SC0$ ) o más de 90% (para  $SCalt < SC0$ ). Se aprecia que todas las comparaciones analizadas presentan incertidumbre aceptable a excepción de SC1 (en las categorías de GWP, EP), SC2 (para ADP) y SC3 (para ADP).



**Figura 5.7.** Resultado de análisis de incertidumbre de SC1 vs SC0.

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 5.12** Porcentaje de iteraciones donde SCalt < SC0

*Fuente: Elaboración propia*

|             | SC1  | SC2  | SC3  | SC4 | SC5  | SC6 | SC7 | SC8 |
|-------------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| <b>ADP</b>  | 4.1  | 38.5 | 65.1 | 0   | 99.8 | 100 | 99  | 100 |
| <b>GWP</b>  | 12.8 | 0    | 100  | 0   | 100  | 100 | 100 | 100 |
| <b>ODP</b>  | 0    | 0    | 100  | 0   | 100  | 100 | 100 | 100 |
| <b>POCP</b> | 0.1  | 0    | 100  | 0   | 100  | 100 | 100 | 100 |
| <b>AP</b>   | 0    | 0    | 100  | 0   | 100  | 100 | 100 | 100 |
| <b>EP</b>   | 48.6 | 0    | 100  | 0   | 100  | 100 | 100 | 100 |

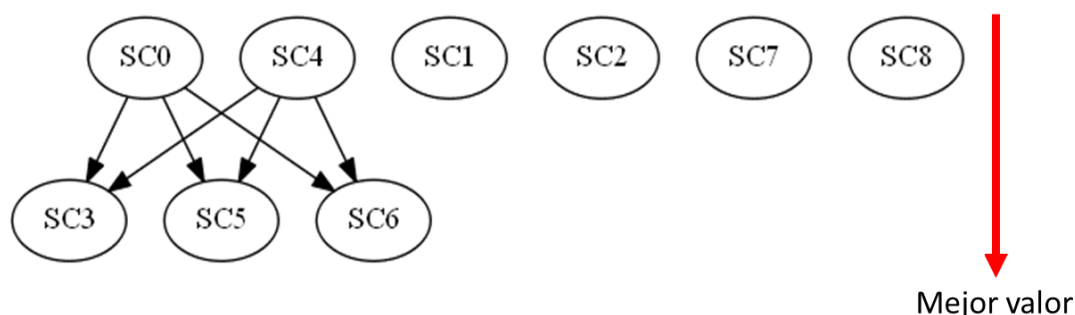
A partir de los resultados de la simulación anterior se profundizó el análisis en los indicadores y categorías donde se identificaron diferencias no significativas. En estos casos pueden estar ocurriendo dos situaciones, o ambos escenarios tienen un desempeño similar y podrían

considerarse iguales o la incertidumbre de los datos es tan grande que no permite obtener resultados confiables al realizar la comparación. Por esta razón se realizaron nuevas simulaciones de Montecarlo, pero solo en los escenarios y categorías de impacto donde se hallaron diferencias no significativas, SC1 (para GWP, EP), SC2 (para ADP) y SC3 (para ADP). Como resultado se obtuvieron los siguientes coeficientes de variación (CV): para SC1 6,94% en GWP y 52,63% en EP; para SC2 17,72% en ADP y para SC3 23,56% en ADP. Estos valores sugieren que podrían mejorarse los datos que mayor incidencia tienen sobre EP y ADP ya que los CV obtenidos fueron altos. Se identificó que la actividad “materias primas e insumos” contribuye en un 99,98% en ADP y en 80,27% en EP (para SC0, aunque es posible asumir que en los escenarios alternativos se dan contribuciones similares). En este sentido, se concluye que sería recomendable mejorar la calidad de los datos de hierro y cemento a partir de datos primarios ya que en ambos casos se emplearon datos de inventario procedentes de promedios mundiales de Ecoinvent (2021) con adaptaciones para la matriz energética de Argentina.

### 5.3.4. Etapa 4. Priorización de escenarios alternativos

#### 5.3.4.1. Priorización inicial

Los escenarios alternativos analizados en la Etapa 3 mostraron mejoras desde el punto de vista de la EC, pero a primera vista no es posible determinar cuál de ellos es mejor considerando múltiples criterios de sostenibilidad. Para resolver este problema, los escenarios alternativos se analizaron considerando los principios de la teoría POSET mediante la herramienta Maximales. En primera instancia, no se aplicaron restricciones y se obtuvo un Diagrama de Hasse con un gran número de incomparabilidades. Como muestra la **Figura 5.8**, solo fue posible identificar que SC3, SC5 y SC6 son mejores que SC0 y SC4.



**Figura 5.8.** Diagrama de Hasse del caso de estudio

*Fuente: Elaboración propia*

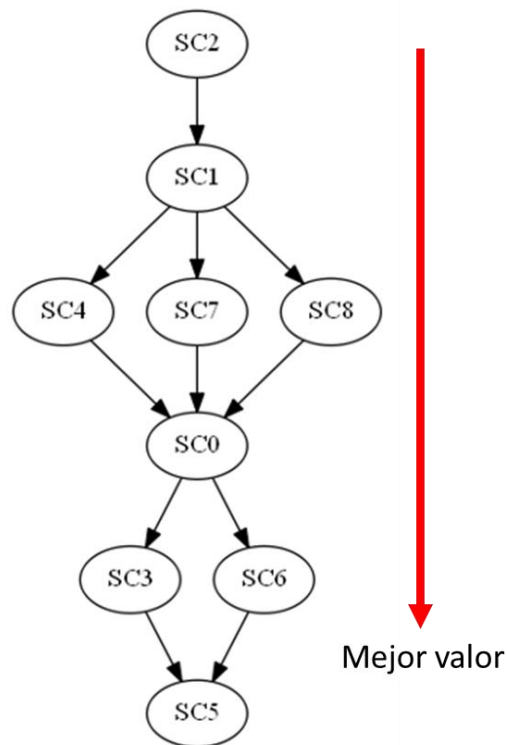
#### 5.3.4.2. Incorporación de restricciones

Con el fin de mejorar la priorización de escenarios, se incorporaron dos restricciones.

Como **primera restricción** se consideró como valor crítico al valor de SC0 para cada indicador, a excepción de PB para el cual se considera un valor crítico de 3 años (valor máximo para que un proyecto se considere rentable). Con esta restricción toda alternativa que no alcance el valor crítico para un indicador es considerada peor que el resto. Esta restricción no descarta alternativas, sino que las ubica por debajo en el orden de prioridad.

Una vez considerada esta restricción, se obtuvieron los resultados presentados en la **Figura 5.9**, que presentan grandes cambios respecto al análisis sin restricciones. Se identificaron seis niveles de priorización. Tres escenarios resultaron mejores que el escenario base (SC3, SC6 y SC5), de

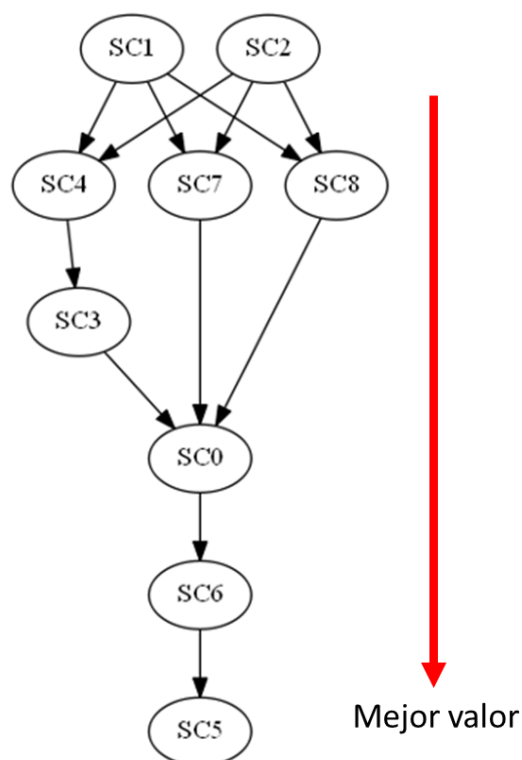
ellos el mejor es SC5. El SC3 y SC6 presentan incomparabilidades, por lo que no es posible saber cuál es mejor.



**Figura 5.9.** Diagrama de Hasse del caso de estudio con primera restricción  
*Fuente: Elaboración propia*

Como **segunda restricción** se excluyeron los valores que presentaron un nivel de incertidumbre demasiado alto para ser considerados mejores o peores que el escenario base (ver análisis de incertidumbre de Etapa 3). Se excluyeron el SC1 para las categorías de GWP y EP, el SC2 y SC3 para ADP. El diagrama de Hasse con ambas restricciones se presenta en la **Figura 5.10**. En este diagrama el SC3 es peor que el SC0. El mejor escenario sigue siendo el SC5 seguido por SC6.





**Figura 5.10** Diagrama de Hasse del caso de estudio con primera y segunda restricción  
*Fuente: Elaboración propia*

### 5.3.4.3. Cálculo del rango promedio

Finalmente se calculó el rango promedio con el objeto de obtener un orden total entre las alternativas una vez incorporadas las dos restricciones (9).

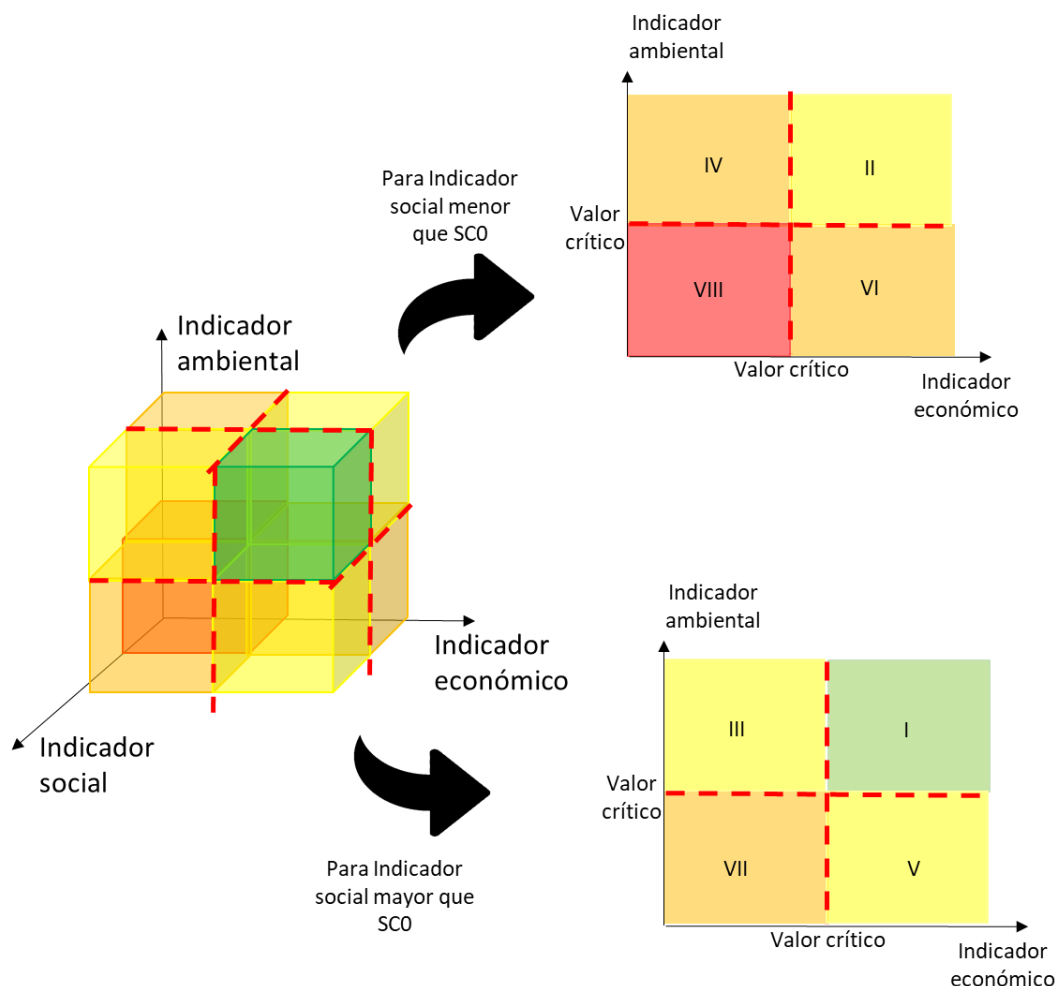
Los resultados finales del rango promedio de cada escenario alternativo se presentan en la **Tabla 5.13**. Tal como fue posible apreciar en los diagramas el SC5 es el mejor escenario, seguido del SC6. A pesar de las restricciones y el análisis estadístico no ha sido posible lograr un orden total ya que los pares de escenarios SC7, SC8 y SC1, SC2 presentan el mismo rango promedio. Para los demás escenarios fue posible lograr un orden total.

**Tabla 5.13** Rango promedio de escenarios  
*Fuente: Elaboración propia*

| Escenario | Rango promedio |
|-----------|----------------|
| SC5       | 1              |
| SC6       | 2              |
| SC0       | 3              |
| SC3       | 4.7            |
| SC7       | 5.5            |
| SC8       | 5.5            |
| SC4       | 6.3            |
| SC1       | 8.5            |
| SC2       | 8.5            |

### 5.3.5. Validación de los resultados

Para corroborar la robustez del orden parcial obtenido con la **primera restricción**, los resultados del POSET se comparan con un análisis gráfico en tres dimensiones (dimensión ambiental, económica y social). En el análisis gráfico para cada indicador en estudio, los escenarios se clasifican según si son mayores o no que el escenario base. Como resultado se obtiene una clasificación de ocho áreas bien definidas (**Figura 5.11**). Cada área se define con base en los valores para una combinación de un indicador ambiental, otro social y otro económico.



**Figura 5.11.** Análisis gráfico de tres dimensiones para validación resultados POSET

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados del análisis gráfico se presentan en la **Figura 5.12**. En la misma se puede apreciar que el SC5 es el mejor escenario porque siempre se ubica en las áreas I y II. Los escenarios SC3 y SC6 podrían considerarse como los segundos mejores ya que fluctúan entre áreas coloreadas como verdes, amarillo y naranja. El escenario SC1 también fluctúa entre estas áreas, aunque tiene menor participación en el área verde. Finalmente, los escenarios SC2, SC7 y SC8 se ubican en áreas amarillas y naranjas. A pesar de lo anterior, esta gran cantidad de fluctuaciones hace difícil el análisis por lo que no es posible extraer más conclusiones respecto al orden parcial entre los escenarios a partir de este método. Se concluye que los resultados hallados son presentan gran similitud y congruencia con el análisis POSET y el diagrama de Hasse de la **Figura 5.9**.

| Social | Ambiental | Económico | SC1 | SC2 | SC3 | SC4 | SC5 | SC6 | SC7 | SC8 |    |
|--------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| ACL    | ADP       | CTA       | VI  | V   | I   | III | I   | I   | IV  | III |    |
|        |           | PR        | VI  | V   | III |     | I   | III |     |     |    |
|        | ADPf      | CTA       | VI  | V   | I   | III | I   | I   | IV  | III |    |
|        |           | PR        | VI  | V   | III |     | I   | III |     |     |    |
|        | GWP       | CTA       | VI  | V   | I   | III | I   | I   | IV  | III |    |
|        |           | PR        | VI  | V   | III |     | I   | III |     |     |    |
|        | ODP       | CTA       | VI  | V   | I   | III | I   | I   | IV  | III |    |
|        |           | PR        | VI  | V   | III |     | I   | III |     |     |    |
|        | POCP      | CTA       | VI  | V   | I   | III | I   | I   | IV  | III |    |
|        |           | PR        | VI  | V   | III |     | I   | III |     |     |    |
|        | AP        | CTA       | VI  | V   | I   | III | I   | I   | IV  | III |    |
|        |           | PR        | VI  | V   | III |     | I   | III |     |     |    |
|        | EP        | CTA       | II  | V   | I   | III | I   | I   | IV  | III |    |
|        |           | PR        | II  | V   | III |     | I   | III |     |     |    |
|        | PIC       | ADP       | CTA | V   | VI  | II  | VI  | II  | II  | VI  | VI |
|        |           |           | PR  | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |    |
| ADPf   |           | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | IV  | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
| GWP    |           | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | IV  | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
| ODP    |           | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | IV  | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
| POCP   |           | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | IV  | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
| AP     |           | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | IV  | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
| EP     |           | CTA       | I   | VI  | II  | IV  | II  | II  | IV  | IV  |    |
|        |           | PR        | I   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
| CL     |           | ADP       | CTA | V   | VI  | II  | VI  | II  | II  | III | VI |
|        |           |           | PR  | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |    |
|        | ADPf      | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | III | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
|        | GWP       | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | III | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
|        | ODP       | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | III | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
|        | POCP      | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | III | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
|        | AP        | CTA       | V   | VI  | II  | IV  | II  | II  | III | IV  |    |
|        |           | PR        | V   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |
|        | EP        | CTA       | I   | VI  | II  | IV  | II  | II  | III | IV  |    |
|        |           | PR        | I   | VI  | IV  |     | II  | IV  |     |     |    |

Figura 5.12. Resultados de análisis gráfico

Fuente: Elaboración propia

## 5.4. Conclusiones del capítulo

### 5.4.1. Etapa 1

Se realizó un diagnóstico de EC de la OI a partir de un conjunto de indicadores iniciales de EC. Muchos de los indicadores resultaron de valor cero, ya que la organización tiene poca experiencia en cuestiones de circularidad. A pesar de lo anterior, se concluye que los indicadores utilizados reflejan el desempeño en EC incipiente de la organización y permiten identificar

numerosos puntos de mejora. Se encontró que es recomendable para futuros casos de estudio que los indicadores de EC sean seleccionados cuidadosamente teniendo en cuenta la actividad y el contexto de la organización para representar de manera efectiva los puntos clave de mejora.

### **5.4.2. Etapa 2**

En esta etapa se aplicó el procedimiento de selección de estrategias al caso de estudio presentado en el apartado 5.2. Como resultado, se seleccionaron once estrategias relacionadas principalmente con el uso eficiente de recursos y producción más limpia, dejando de lado otras estrategias de EC. Los grupos de interés de la organización prefirieron estas estrategias debido a la tecnología incipiente y experiencia en EC de la organización, así como a las características de los productos fabricados y del mercado. La única estrategia fuera de este tema fue el consumo colaborativo (movilidad de los trabajadores). Esta preferencia se explica dada la poca experiencia de la organización en EC. Otras estrategias más complejas de implementar podrían ser de interés para la organización en un futuro. Otros casos de estudio, de organizaciones con diferentes niveles de experiencia en EC podrían ser de utilidad para superar esta limitación.

Finalmente se propusieron ocho escenarios alternativos que combinan las once estrategias de EC previamente seleccionadas. La confirmación de que estos escenarios producen una mejora en la circularidad de la organización fue obtenida mediante el cálculo con los indicadores de EC utilizados en la Etapa 2. En esta etapa también se definieron con exactitud los consumos, emisiones y equipos involucrados en cada escenario. Se concluye que esta actividad es muy importante ya que permite obtener toda la información necesaria para las siguientes etapas.

### **5.4.3. Etapa 3**

En esta etapa se aplicó la técnica de ASCV-O propuesta en el capítulo 3 para evaluar y comparar el desempeño del escenario actual y los escenarios alternativos en cuanto a sostenibilidad. No se identificaron dificultades en la definición del objetivo y alcance, ni para la construcción de los inventarios del ASCV-O.

Los indicadores de impacto fueron seleccionados a partir del proceso de selección propuesto. Se identificó que ninguno de los indicadores ambientales refleja el impacto del consumo de agua de un pozo por lo que la reducción del consumo de agua producida por el escenario alternativo SC4 no se ve reflejada en los resultados. Sin embargo, el uso de los indicadores de EC en las etapas anteriores sí refleja estos fenómenos y evita la subestimación del consumo de agua.

Los efectos ambientales y económicos producidos por los escenarios alternativos fueron bastante moderados. Las reducciones máximas alcanzadas fueron del 11 % para ODP (SC8) y del 2,5 % para TAC (SC6), respectivamente. Sin embargo, estos resultados son significativos en valores absolutos porque la perspectiva organizacional tiene en cuenta todos los impactos y costos de toda la organización desde un enfoque de ciclo de vida. En los efectos sociales se identificaron mejoras importantes. Los escenarios SC6 y SC8 presentaron mejoras del 150 % para el indicador ACL. En el indicador PIC el SC1 presentó una mejora del 100 % y en el indicador CL los escenarios SC1 y SC7 presentaron mejoras del 100 %. Es necesario remarcar que estos valores se obtuvieron a partir de una valoración cualitativa en base a una escala arbitraria lo cual justifica los valores tan altos obtenidos. Por ejemplo, el indicador PIC solo permite dos valores (0 o -100) por lo que cualquier mejora en el mismo es de gran magnitud.

Un análisis más profundo revela que de todos los escenarios alternativos, solo los pares SC2-SC3 y SC4-SC5 son mutuamente excluyentes, mientras que el resto podría implementarse al mismo

tiempo. Las combinaciones de escenarios alternativos de hecho son recomendadas por Acerbi y Taisch (2020). Algunas combinaciones podrían producir mejoras más significativas en el desempeño ambiental y económico. Por ejemplo, se podrían lograr reducciones en los impactos ambientales de alrededor del 15% si se implementaran SC1, SC3, SC5, SC6, SC7 y SC8. Se podría lograr un ahorro de alrededor del 5% de los costos anuales totales si se combinaran SC1, SC2, SC3, SC5 y SC6. La combinación de escenarios no se estudió para los efectos sociales por identificarse mejoras de importancia y porque algunos indicadores alcanzan su valor de saturación (no pueden ser mejores) con un escenario alternativo. El análisis completo de las combinaciones de escenarios alternativos y los efectos de estas combinaciones está más allá del alcance de este análisis.

Se realizó un análisis de la calidad de datos de los inventarios y se obtuvo un NGCD BUENO para el inventario ambiental y EXCELENTE para los inventarios económico y social. A partir de estos resultados se profundizó el análisis para los datos ambientales y se realizó un análisis de incertidumbre mediante simulación de Montecarlo para el inventario ambiental. Se identificó que todas las comparaciones analizadas presentan incertidumbre aceptable a excepción de SC1 (en las categorías de GWP, EP), SC2 (para ADP) y SC3 (para ADP). A partir de este análisis se recomienda mejorar la calidad de los datos de hierro y cemento ya que en ambos casos se emplearon datos de inventario procedentes de promedios mundiales de Ecoinvent (2021) con adaptaciones para la matriz energética de Argentina. Se concluye que el análisis de calidad de datos y el análisis de incertidumbre permiten obtener resultados con transparencia y credibilidad orientados a la toma de decisiones.

#### **5.4.4. Etapa 4**

Se logró aplicar la teoría POSET al caso de estudio y obtener el diagrama de Hasse para representar el orden parcial de los escenarios en análisis. Los resultados hallados no permitieron priorizar los escenarios por lo que fue necesario aplicar restricciones para obtener resultados útiles para la toma de decisiones. La primera restricción consideró el valor de SC0 como valor crítico para cada indicador y la segunda restricción excluyó del análisis los valores con incertidumbre alta. Luego de estas restricciones se logró una priorización y se calculó el rango promedio considerando el cálculo estadístico de las probabilidades de que cada escenario tome un orden dentro del conjunto. Se identificó que el SC5 (Automatización del curado) es el mejor escenario seguido por SC6 (Eficiencia energética). Los demás escenarios no lograron ser valorados como mejores que el escenario actual (SC0).

Los resultados de esta etapa fueron validados a través de un análisis gráfico que permite obtener una tabla para clasificar cada escenario según ocho áreas de sostenibilidad previamente definidas. Este análisis gráfico permitió validar los resultados obtenidos mediante POSET con la primera restricción incorporada. A pesar de su utilidad, esta tabla no muestra diferencias entre escenarios ubicados en una misma área.

#### **5.4.5. Conclusiones generales del capítulo**

En el presente capítulo se ha aplicado la metodología desarrollada en los capítulos anteriores a un caso de estudio de una organización industrial de Mendoza, Argentina. Fue posible identificar y seleccionar estrategias de EC, definir escenarios alternativos para la OI en base a ellas, evaluar la sostenibilidad de los mismos y, finalmente, priorizar estos escenarios alternativos en función de su efecto sobre la sostenibilidad de la organización.

Se concluye que la metodología cumplió su objetivo y que los resultados son de gran utilidad para la OI involucrada. La evaluación de criterios de sostenibilidad junto con criterios de circularidad permitió un análisis integral que evitó la sub o sobreestimación de los impactos de los escenarios alternativos sobre la organización. La priorización de escenarios lograda permite a la organización tomar decisiones informadas a la hora de elegir qué escenario llevar a cabo y, por lo tanto, eficientizar el uso de sus recursos. Esto último es de gran importancia en cualquier OI y sobre todo en PyMEs.

## Capítulo 6 Conclusiones

En el presente capítulo se resumen las conclusiones del trabajo realizado y se presentan las futuras investigaciones que pueden dar continuidad a esta tesis.

### 6.1. Introducción

Al comienzo de la presente tesis se identificó la necesidad de que las OI incorporen la EC en sus actividades diarias para lograr un desarrollo sostenible. La selección y priorización de estrategias de EC en OI es un gran desafío debido a la variedad de enfoques de EC, la amplia gama de tipos de OI, la falta de consenso sobre métodos e indicadores y la cantidad de variables involucradas en el proceso de decisión. Como solución a este problema se planteó el objetivo general: *contribuir a la incorporación de la EC en OI mediante la identificación y selección de estrategias de EC, y la evaluación y priorización de las mismas a través de los aportes a la circularidad y de los impactos ambientales, económicos y sociales.*

Para lograr el objetivo planteado se utilizó una metodología deductiva. Se realizaron análisis estructurados de antecedentes de rigor científico, como publicaciones en revistas indexadas o reportes de organizaciones especializadas. A partir de los resultados de estos análisis, se propusieron técnicas y procedimientos, que combinados dieron lugar a una metodología para la selección y priorización de estrategias de EC en OI con perspectiva de sostenibilidad del ciclo de vida. Como parte de esta metodología se elaboró un procedimiento de identificación y selección de estrategias de EC en OI que permite proponer escenarios alternativos de mejoras: se desarrolló una técnica para evaluar la sostenibilidad de los escenarios alternativos de EC en todo el ciclo de vida de la OI; y se propuso un procedimiento para integrar los impactos de sostenibilidad que permite priorizar los escenarios de EC propuestos. Finalmente, se aplicó la metodología desarrollada a un caso de estudio de una OI.

Se presentan a continuación las principales conclusiones relacionadas con los objetivos particulares, la relación de las mismas con la hipótesis planteada, y las propuestas para futuras investigaciones.

### 6.2. Conclusiones relativas al procedimiento de identificación y selección de estrategias de EC en OI

Se logró construir un listado de treinta y ocho estrategias que permiten la aplicación de la EC en los productos de las organizaciones, sus modelos de negocio y sus procesos. Todas las estrategias identificadas son importantes, porque los antecedentes que se consideraron son representativos del conocimiento actual del tema. Se observó que las mismas son muy variadas y numerosas. Se concluye que el listado de estrategias de EC obtenido es una base completa y un excelente punto de partida para las OI que deseen transitar hacia la EC. A pesar de lo anterior, dicho listado no debe considerarse como exhaustivo, ya que la EC se encuentra en pleno desarrollo y transformación y dependiendo de la actividad y contexto de cada organización se pueden incorporar nuevas estrategias.

También se identificaron y estudiaron nueve herramientas de evaluación de circularidad para aplicar a organizaciones industriales, todas ellas de reciente creación (2015 -2022). Este estudio arrojó como principal conclusión que ha habido un aumento apreciable en el interés en esta

temática, sin embargo, existe una falta de estandarización, unicidad y uniformidad en las herramientas existentes. Como consecuencia, no están siendo utilizadas efectivamente por dichas organizaciones.

Por otra parte, se analizaron indicadores de EC para OI, algunos de ellos incluidos en las nueve herramientas de circularidad existentes y otros identificados a partir de los antecedentes científicos en el tema. Se consiguió recabar un conjunto de más de sesenta indicadores cualitativos y cuantitativos. Los indicadores se agruparon en once categorías según su temática. Se observó que existe gran variabilidad y falta de consenso en los mismos, a pesar de ello, el listado es muy útil para conocer la situación actual de una OI en cuanto a su desempeño circular, así como comparar los efectos sobre la circularidad de una OI debido a la implementación de diferentes estrategias de EC.

A partir de los resultados previamente mencionados se desarrolló un procedimiento para la identificación y selección de estrategias de EC en OI. Este procedimiento parte del listado general de estrategias de EC confeccionado, selecciona las estrategias aplicables para la OI a partir de los veinticuatro indicadores de EC más representativos y de la experiencia de las partes interesadas de la OI (trabajadores, dirección, clientes, proveedores, etc.), y finalmente, define los escenarios alternativos a partir de la aplicación de las estrategias seleccionadas.

### **6.3. Conclusiones relativas a la técnica para evaluar sostenibilidad en OI**

Fue necesario estudiar el estado del arte del ASCV de productos, del ACV-O, del ACV-SO y de la evaluación y gestión de impacto social en organizaciones.

Se analizó el marco normativo y se realizó una revisión de más de un centenar de casos de estudio publicados en los últimos trece años respecto al ASCV. Esta cantidad de antecedentes tan recientes permitió concluir que la comunidad científica está reconociendo la importancia y utilidad de dicha técnica. Del estudio de tales antecedentes se extrajeron las siguientes conclusiones: en relación con el alcance, se concluye que se necesitan más investigaciones para garantizar la coherencia necesaria entre las evaluaciones ambientales, económicas y sociales; respecto a la construcción de los inventarios se observó que los datos primarios para las dimensiones económica y social son fundamentales para llevar a cabo estudios de ASCV, ya que los datos secundarios presentan grandes limitaciones; en referencia a los indicadores se concluye que se debe profundizar la investigación de indicadores sociales, ya que son los más recientes y presentan menor consenso. Finalmente, se determinó que el desarrollo de un enfoque organizacional para ASCV representaría un importante aporte, ya que gran parte de los indicadores sociales en uso son más adecuados para organizaciones que para productos.

En relación a la técnica de ACV-O, se estudió el marco normativo y los veintidós casos de estudio publicados en la literatura hasta la fecha. Este estudio permitió advertir que el ACV-O es una alternativa al ACV de productos y servicios para estudiar los efectos ambientales de una organización completa. Se observó que la metodología está en una etapa inicial de su desarrollo, siendo el año 2017 donde más casos de estudio se identificaron. Se puntualizaron las fortalezas y debilidades del ACV-O, así como las oportunidades y amenazas externas que enfrenta esta técnica (**Tabla 6.1**). Se concluyó que el enfoque organizacional es de gran utilidad para la evaluación integral de organizaciones industriales desde una perspectiva de ciclo de vida.



**Tabla 6.1** Análisis FODA de ACV-O.

*Fuente: Elaboración propia*

| Fortalezas   | Oportunidades  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen diferentes procedimientos según la experiencia previa de la organización.</li> <li>• Útil para identificar puntos críticos y seguir desempeño en el tiempo.</li> <li>• Flujo y periodo de reporte permiten contextualizar los resultados si los productos o procesos cambian.</li> <li>• Proceso de asignación de cargas simple.</li> <li>• Existen diferentes enfoques de recolección de datos para aprovechar datos previos.</li> <li>• No requiere modificaciones en métodos y categorías de evaluación de impactos.</li> <li>• Complementa a ACV cuando la mejora el desempeño de un producto podría perjudicar el desempeño de la organización.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad con otros enfoques de evaluación ambiental de organizaciones (ej. Huella de carbono) y sistemas de gestión ambiental (ISO 14001).</li> <li>• ACV tiene problemas en sectores como industria (gran cantidad de productos) y servicios (sin producto físico).</li> <li>• Experiencias positivas en definición del alcance, a pesar de las diferencias con ACV.</li> <li>• ACV no contempla las actividades de soporte, que en algunos sectores son de gran importancia.</li> </ul> |
| Debilidades  | Amenazas   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede ser utilizada en comparación de organizaciones orientadas a hacer públicos los resultados.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expertos han demostrado dificultades para clasificar los datos de inventario según actividades directas e indirectas.</li> <li>• No se identificaron antecedentes de evaluación de calidad de datos de inventario.</li> <li>• No se identificaron antecedentes de análisis de incertidumbre y pocos casos de análisis de sensibilidad.</li> <li>• Pocos antecedentes de casos de estudio en los últimos tres años.</li> </ul>   |

En referencia al ACV-SO, se realizó un análisis de los antecedentes normativos y del único caso de estudio publicado a la fecha. Además, se encontró que las organizaciones UNEP, SETAC y Social LC Alliance están trabajando en nuevos casos de estudio. Se concluyó que uno de los mayores desafíos son los indicadores a utilizar, ya que el único caso de estudio existente consideró muy pocos indicadores, y que se requieren mayores investigaciones para fortalecer esta técnica y sistematizar su aplicación.

Para complementar los antecedentes de evaluación y gestión de impacto social en organizaciones se analizaron siete referencias y se identificaron doce categorías y 33 subcategorías que permiten evaluar el impacto de la organización sobre 5 partes interesadas. Para las mismas se hallaron gran cantidad de indicadores tanto cuantitativos como cualitativos. Los principales desafíos identificados fueron la gran variedad de aspectos a considerar y la falta de consenso sobre los indicadores.

A partir de los hallazgos mencionados en párrafos precedentes, y con el fin de dar respuesta a la necesidad de contar con una técnica de evaluación de sostenibilidad de OI se desarrolló el Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida de Organizaciones (ASCV-O). El ASCV-O combina y adapta tres técnicas: dos ya existentes en los antecedentes ACV-O y ACV-SO, y una tercera nueva, CCV-O. Esta última ha sido desarrollada en la presente tesis y constituye uno de los principales aportes. El ASCV-O presenta los aportes novedosos que se mencionan en los párrafos siguientes.

Como parte de la técnica de ASCV-O se propuso un procedimiento de evaluación de calidad de datos del inventario basado en una evaluación cualitativa de los mismos a partir de matrices de

Pedigree o genealogía de datos. Este aporte es de gran novedad, ya que no se identificó en ningún antecedente de procedimiento para ASCV ni para ACV-O y, además, permite la toma de acciones en caso de que los datos no presenten la calidad necesaria.

Otro aporte relativo al ASCV-O es la definición de indicadores para la evaluación de impactos. Se seleccionaron los diez indicadores ambientales del método de evaluación de impactos CML-IA baseline, con amplia trayectoria y se desarrollaron cuatro indicadores económicos y treinta y ocho indicadores sociales para evaluar el impacto sobre cinco partes interesadas, a partir de los antecedentes analizados. Para estos últimos también se propusieron criterios, definiciones, ecuaciones y gráficas necesarios para su cálculo.

Finalmente, dada la necesidad identificada en los antecedentes, se incorporó el análisis de incertidumbre de los datos a los resultados del ASCV-O mediante Simulación de Montecarlo. Se obtuvieron resultados que siguen una distribución log-normal con una determinada desviación estándar, en lugar de un valor determinístico, lo cual es un gran aporte para ASCV-O porque se representa con mayor exactitud la realidad y se brinda información de importancia para la toma de decisiones.

Como conclusión general, se desarrolló una técnica de ASCV-O con importantes aportes específicos. La misma tiene como propósito principal ser utilizada por las organizaciones industriales para la comparación de escenarios obtenidos a partir de estrategias de EC, aunque puede tener otros objetivos.

#### **6.4. Conclusiones relativas al procedimiento para integrar los impactos de sostenibilidad**

En relación a este objetivo de investigación, se realizaron dos análisis de antecedentes. En primer lugar, se analizaron los métodos de integración identificados en los casos de estudio de ASCV y, en segundo lugar, antecedentes de casos de estudio de sostenibilidad en los cuales se aplicó la teoría matemática POSET para obtener resultados orientados a la toma de decisiones.

Se identificaron cincuenta y cuatro antecedentes de ASCV que utilizaron métodos de investigación operativa para integrar los resultados. Se identificó que, de estos, los métodos de toma de decisiones de atributos múltiples (MADM) fueron los más utilizados. Se analizaron las ventajas y desventajas de estos métodos. Las principales desventajas del empleo de estos métodos para ASCV son la pérdida del sentido original de cada indicador, la compensación entre los mismos y la incorporación de juicios de valor subjetivos. Se concluyó que era necesario buscar otras alternativas para integrar los resultados en ASCV.

Como alternativa a MADM se identificó una teoría matemática para la integración de resultados en problemas ligados a sostenibilidad, la POSET. Se analizaron treinta y nueve antecedentes de casos de estudio de problemas ligados a sostenibilidad donde se utilizó esta teoría. A partir de este análisis fue posible extraer importantes conclusiones. En primer lugar, que se requieren más casos de estudio donde se aplique esta teoría en evaluaciones de aspectos ambientales, sociales y económicos a la vez; en segundo lugar, que esta teoría permite trabajar con sistemas de indicadores múltiples con amplia variedad en el número de alternativas e indicadores, y con indicadores tanto cuantitativos como cualitativos, como es el caso de ASCV y ASCV-O; en tercer lugar, que la aplicación de restricciones es de gran utilidad para obtener resultados para la toma de decisiones; que la representación gráfica de resultados es de gran utilidad en este tipo de problemas y por último, que POSET brinda otras herramientas, como el análisis de sensibilidad

y la evaluación de incomparabilidades cuando se requiere analizar con mayor profundidad el orden obtenido.

A fin de integrar impactos en sostenibilidad, se propuso un procedimiento para aplicar a los resultados de ASCV-O. Este procedimiento se basa en la teoría POSET, en una herramienta informática (Maximales) y en el cálculo estadístico del rango promedio de cada escenario alternativo. La herramienta Maximales ha sido desarrollada en conjunto con otros investigadores como parte de un proyecto relacionado con la presente tesis y ha sido testeada con los datos de la presente tesis. A la fecha el desarrollo de la herramienta y su aplicación al caso de estudio está en proceso de revisión para publicación (Ibáñez-Forés et al., en revisión). Se concluye que el procedimiento desarrollado constituye una novedad en el marco de ASCV-O. Este procedimiento de integración de impactos de sostenibilidad permitió lograr un orden parcial en problemas de sostenibilidad con indicadores múltiples, sin caer en la compensación de indicadores ni en la incorporación de elecciones subjetivas; y obtener resultados orientados a la toma de decisiones.

### **6.5. Conclusiones relativas a la metodología para la selección y priorización de estrategias de EC en OI con perspectiva de sostenibilidad del ciclo de vida**

Los estudios y análisis de antecedentes realizados, y los procedimientos y técnicas propuestos y detallados del ítem 6.2 al 6.4 permitieron desarrollar una metodología para la selección y priorización de estrategias de EC en OI con perspectiva de sostenibilidad del ciclo de vida. Esta metodología responde directamente a uno de los objetivos particulares y constituye el principal aporte novedoso de la presente tesis. La misma consta de cuatro etapas que se describen a continuación.

La etapa 1 consiste en el diagnóstico inicial de la circularidad de la OI para analizar la situación actual e identificar puntos críticos donde se podrían aplicar estrategias de EC. Para esto se aplica un conjunto de veinticuatro indicadores de circularidad para OI seleccionados y adaptados a partir del análisis del capítulo 2.

La etapa 2 parte de un listado de treinta y ocho estrategias de EC elaborado en la presente tesis. Para la selección de estrategias de este listado se propone un proceso basado en tres criterios: la aplicabilidad de las estrategias a la organización en estudio, la disposición de la misma a implementar las estrategias y si las estrategias mejoran la circularidad de la organización. Finalmente se proponen y definen escenarios alternativos para la OI a partir de implementación de las estrategias seleccionadas.

La etapa 3 compara los impactos de los escenarios alternativos previamente definidos sobre el desempeño de sostenibilidad de la organización mediante la técnica ASCV-O desarrollada en el capítulo 3 de la presente tesis.

En la etapa 4 se priorizan los escenarios alternativos según sus efectos sobre la sostenibilidad de la OI. Para lograr esto se propuso la utilización de la teoría matemática POSET, una herramienta informática (Maximales) desarrollada en conjunto con otros investigadores y en proceso de publicación (Ibáñez-Forés et al., en revisión) y el cálculo estadístico del rango promedio de cada escenario alternativo.

La importancia de la metodología propuesta radica principalmente en que combina criterios de EC y de sostenibilidad al mismo tiempo para priorizar las estrategias de EC en el ámbito de las OI con perspectiva de ciclo de vida. Asimismo, dicha metodología integra la técnica de ASCV-O desarrollada, y un procedimiento para identificar y seleccionar estrategias de EC en una OI en particular.

La metodología es de carácter amplio, con flexibilidad para adaptarse a diversos sectores de las OI y en diferentes regiones o países, siendo los indicadores listados en cada caso la base inicial de su aplicación.

## **6.6. Conclusiones relativas al caso de estudio**

En la presente tesis se seleccionó como caso de estudio a una organización industrial de Mendoza, Argentina. La organización es una fábrica de productos premoldeados para la construcción. Esta es una industria que tiene un importante consumo de recursos materiales y energía, y generación de residuos y, por lo tanto, es causante de generar importantes impactos ambientales y a la vez ofrece oportunidades hacia una transición circular en su modelo de negocio. Por estas razones fue un sector de interés para la incorporación de estrategias de EC. Se destacan los aportes de datos locales a partir del caso de estudio, a partir de los cuales se confeccionaron numerosas fichas de datos e inventarios de gran utilidad para el medio productivo local.

Se logró aplicar exitosamente la metodología para la selección y priorización de estrategias de EC en OI con perspectiva de sostenibilidad del ciclo de vida al caso de estudio, cumpliendo las cuatro etapas de la misma. Como resultado, se identificaron once estrategias de EC aplicables a la organización y se definieron ocho escenarios alternativos en base a ellas: uso de materiales reciclados, reciclaje de residuos, recirculación de materiales, recirculación de efluentes, automatización del curado, eficiencia energética, proveedores más cercanos y movilidad de trabajadores. Se priorizaron estos escenarios alternativos en función de su efecto sobre la sostenibilidad de la organización mediante la técnica ASCV-O. Se identificó que el escenario de automatización del curado fue el más beneficioso respecto al escenario inicial (actual), seguido por el de eficiencia energética. Los demás escenarios no mostraron una valoración superadora en relación con el escenario actual. Se concluye que la metodología cumplió su objetivo y que los resultados son de gran utilidad para la OI involucrada. La evaluación de criterios de sostenibilidad junto con criterios de circularidad permitió un análisis integral que evitó la sub o sobreestimación de los efectos de los escenarios alternativos de la organización sobre el escenario inicial. La priorización de escenarios lograda permitirá a la organización tomar decisiones informadas a la hora de elegir qué escenario llevar a cabo y, por lo tanto, optimizar el uso de sus recursos humanos, económicos y temporales. Esto último es de gran importancia en cualquier OI y sobre todo en PyMEs, como es el caso de la OI seleccionada en el caso de estudio.

## **6.7. Relación de las conclusiones con la hipótesis**

Se concluye que se logró cumplir la hipótesis planteada, a saber, *“es posible desarrollar una metodología que permita una evaluación integrada de circularidad y sostenibilidad para seleccionar y priorizar estrategias de economía circular en organizaciones industriales”*, ya que se desarrolló una metodología que:

- Tiene como punto de partida el diagnóstico de circularidad de la organización a partir de indicadores de circularidad.
- Mediante un procedimiento, desarrollado específicamente, identifica y selecciona estrategias de EC para la OI en estudio.
- Propone y define escenarios alternativos tomando como base las estrategias de EC seleccionadas.
- A partir de la técnica de ASCV-O evalúa y compara los impactos ambientales, sociales y económicos de los escenarios alternativos de EC en todo el ciclo de vida de la OI.
- Integra los impactos de sostenibilidad para priorizar los escenarios de EC propuestos mediante la teoría POSET.
- La aplicación de la metodología desarrollada a un caso de estudio de una OI tipo PYME de la región ha demostrado la aplicación, utilidad y relevancia de la misma.

### **6.8. Principales aportes e importancia**

A continuación, se presentan las principales innovaciones de la presente tesis, las cuales se pueden dividir en cuatro grandes aportes. En primer lugar, los aportes relativos a ASCV-O que incluyen el desarrollo de las técnicas de ASCV-O y de CCV-O, el procedimiento de evaluación de calidad de datos de inventario, la definición de indicadores para evaluar la sostenibilidad de una organización bajo enfoque de ciclo de vida y el procedimiento para incorporar la incertidumbre en los resultados mediante Simulación de Montecarlo. En segundo lugar, los aportes relativos a la EC en OI donde destacan el conjunto de indicadores ad hoc presentado, el listado de estrategias desarrollado y el procedimiento propuesto para identificación y selección de estrategias para formulación de escenarios alternativos. En tercer lugar, los aportes relativos a la toma de decisiones en ASCV-O con múltiples escenarios donde se propone por primera vez el uso de la teoría matemática POSET mediante la aplicación de una herramienta desarrollada en conjunto con otros investigadores y el cálculo estadístico del rango promedio de cada escenario. Finalmente, se destacan los aportes locales desarrollados a partir del caso de estudio, donde se desarrollaron numerosas fichas de datos que podrían ser de utilidad para el medio productivo local.

La importancia del tema en estudio se ve reflejada en la actualidad del mismo. La mayor parte de los antecedentes analizados y que han servido como base para los desarrollos de la presente tesis tienen una antigüedad menor a cinco años. Además, se han analizado antecedentes científicos, normativos y técnicos a nivel mundial lo que corrobora la vigencia e importancia del tema.

Como conclusión final se destaca que se logró desarrollar una metodología que cumple con los objetivos de investigación e hipótesis planteadas y que constituye una herramienta de apoyo para lograr una transición eficaz y eficiente de las OI hacia una EC. La aplicación a gran escala de esta metodología en las organizaciones industriales contribuiría en gran medida a lograr una economía circular y a alcanzar un desarrollo sostenible.

### **6.9. Futuras investigaciones**

Los resultados obtenidos pueden servir como base para futuras investigaciones. Entre las posibles líneas de investigación a seguir se pueden destacar:

- a) Desarrollar nuevos casos de estudios para aplicar la metodología de selección y priorización de estrategias de EC en OI. La aplicación de la metodología desarrollada a organizaciones con características diferentes a la utilizada en la presente tesis permitiría identificar si se requieren adaptaciones o mejoras a la metodología. Además, nuevos casos de estudio permitirán revisar los indicadores de EC y el listado de estrategias, así como desarrollar nuevas fichas de datos específicas para actividades industriales en Argentina.
- b) Desarrollar otros estudios de caso de ASCV-O en distintos sectores de la industria para constatar la utilidad de esta técnica. Aplicarlo a otras organizaciones y utilizarlo para otros objetivos. Futuras investigaciones podrían colaborar en el conocimiento de cómo se comporta esta técnica en organizaciones de diferentes características y para diferentes objetivos. Además, sería importante la revisión de los indicadores de impacto propuestos para otros objetivos y otras organizaciones. Respecto a esta línea ya se ha establecido contacto con otra OI dedicada a servicios industriales de climatización que está interesada en la aplicación de ASCV-O a su empresa. A partir de este contacto se ha presentado un proyecto a la convocatoria 2022 de la Secretaría de Investigación y Posgrado de la UNCUYO y se está a la espera de la adjudicación.
- c) Mejorar la evaluación de la calidad de datos y la incorporación de incertidumbre a los resultados propuesta para ASCV-O. Este proceso tan novedoso puede verse mejorado con el estudio estadístico de las distribuciones obtenidas como resultado. Podría obtenerse más información al aplicar otras herramientas estadísticas.
- d) Respecto a la teoría POSET, sería interesante estudiar las herramientas de esta técnica no abordadas en la presente tesis como el análisis de peculiaridad, el análisis de alternativas por clústeres o la incorporación de incertidumbre a los resultados. Estas herramientas podrían realizar aportes a la metodología desarrollada. Además, podrían desarrollarse otras aplicaciones para POSET en el campo de la solución de problemas de sistema de múltiples indicadores en sostenibilidad dentro de la actividad industrial.

## Referencias

- Acerbi, F., Taisch, M., 2020. A literature review on circular economy adoption in the manufacturing sector. *J. Clean. Prod.* 273, 123086. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123086>
- Ahmad, S., Wong, K.Y., Rajoo, S., 2019. Sustainability indicators for manufacturing sectors: a literature survey and maturity analysis from the triple-bottom line perspective. *J. Manuf. Technol. Manag.* 30, 312–334. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0091/FULL/XML>
- Akber, M.Z., Thaheem, M.J., Arshad, H., 2017. Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan : Policy regime for a sustainable energy mix. *Energy Policy* 111, 111–126. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.09.022>
- Akhtar, S., Reza, B., Hewage, K., 2014. Life cycle sustainability assessment (LCSA) for selection of sewer pipe materials. *Clean Technol. Environ. Policy* 17, 973–992. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0849-x>
- Alaimo, L.S., Arcagni, A., Fattore, M., Maggino, F., 2020a. Synthesis of multi-indicator system over time: a poset-based approach. *Soc. Indic. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02398-5>
- Alaimo, L.S., Arcagni, A., Fattore, M., Maggino, F., Quondamstefano, V., 2020b. Measuring equitable and sustainable well-being in Italian regions: the non-aggregative approach. *Soc. Indic. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02388-7>
- Alaimo, L.S., Ciacci, A., Ivaldi, E., 2020c. Measuring sustainable development by non-aggregative approach. *Soc. Indic. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02357-0>
- Alaimo, L.S., Fiore, M., Galati, A., 2021. Measuring consumers' level of satisfaction for online food shopping during COVID-19 in Italy using POSETs. *Socioecon. Plann. Sci.* 101064. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101064>
- Alejandrino, C., Mercante, I., Bovea, M.B., Cereda, M., 2019a. Aspectos metodológicos de Análisis de Ciclo de Vida de Organizaciones (ACV-O) para reciclaje de plásticos, in: Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción (Ed.), III Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Sólidos. pp. 210–217. <https://doi.org/978-99967-670-2-9>
- Alejandrino, C., Mercante, I., Bovea, M.D., 2021. Life cycle sustainability assessment: lessons learned from case studies. *Environ. Impact Assess. Rev.* 87, 106517. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106517>
- Alejandrino, C., Mercante, I., Cereda, M., 2019b. Perfil ambiental de ladrillo fabricado a partir de plástico reciclado, in: Gitto, J., Soengas, C., Biondi, L. (Eds.), X EnIDI. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael, Mendoza, pp. 94–99. <https://doi.org/ISBN 978-950-42-0197-7>
- Alejandrino, C., Mercante, I.T., 2020. Importancia de la evaluación de aportes de organizaciones al desarrollo sostenible. Plataforma Información para políticas públicas la Univ. Nac. Cuyo. [http://www.politicaspUBLICAS.uncu.edu.ar/articulos/index/importancia-de-la-evaluacion-de-  
aportes-de-organizaciones-al-desarrollo-sostenible](http://www.politicaspUBLICAS.uncu.edu.ar/articulos/index/importancia-de-la-evaluacion-de-aportes-de-organizaciones-al-desarrollo-sostenible)

- 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>
- Alkire, S., Foster, J., 2007. Counting and multidimensional poverty measurement, OPHI Working Paper. University of Oxford.
- Al-Yafei, H., AlNouss, A., Aseel, S., Kucukvar, M., Onat, N.C., Al-Ansari, T., 2022. How sustainable is liquefied natural gas supply chain? An integrated life cycle sustainability assessment model. *Energy Convers. Manag.* X 15, 100246. <https://doi.org/10.1016/J.ECMX.2022.100246>
- 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>
- Annoni, P., Brüggemann, R., Carlsen, L., 2015. A multidimensional view on poverty in the European Union by partial order theory. *J. Appl. Stat.* 42, 535–554. <https://doi.org/10.1080/02664763.2014.978269>
- Arcagni, A., Barbiano di Belgiojoso, E., Fattore, M., Rimoldi, S.M.L., 2019. Multidimensional analysis of deprivation and fragility patterns of migrants in Lombardy, using partially ordered sets and self-organizing maps. *Soc. Indic. Res.* 141, 551–579. <https://doi.org/10.1007/s11205-018-1856-9>
- Arcagni, A., Cavalli, L., Fattore, M., 2021. Partial order algorithms for the assessment of Italian cities sustainability. *FEEM Work. Pap. No. 1.2021*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3778559>
- Atilgan, B., Azapagic, A., 2016. An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey. *Energy Policy* 93, 168–186. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.055>
- Ávila-Gutiérrez, M.J., Martín-Gómez, A., Aguayo-González, F., Córdoba-Roldán, A., 2019. Standardization framework for sustainability from circular economy 4.0. *Sustainability* 11, 6490. <https://doi.org/10.3390/SU11226490>
- Azapagic, A., Stamford, L., Youds, L., Barteczko-hibbert, C., 2016. Towards sustainable production and consumption: a novel DEcision-Support Framework IntegRating Economic , Environmental and Social Sustainability (DESIREs). *Comput. Chem. Eng.* 91, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.03.017>
- Aziz, R., Chevaki dagarn, P., Danteravanich, S., 2016. Life cycle sustainability assessment of community composting of agricultural and agro industrial wastes. *J. Sustain. Sci. Manag.* 11, 57–69.
- Backes, J.G., D'Amico, A., Pauliks, N., Guarino, S., Traverso, M., Lo Brano, V., 2021. Life cycle sustainability assessment of a dish-stirling concentrating solar power plant in the Mediterranean area. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 47, 101444. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.101444>
- Badinger, H., Reuter, W.H., 2015. Measurement of fiscal rules: introducing the application of partially ordered set (POSET) theory. *J. Macroecon.* 43, 108–123. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2014.09.005>
- Balasbaneh, A.T., Marsono, B.K.A., Khaleghi, S.J., 2018. Sustainability choice of different hybrid timber structure for low medium cost single-story residential building : *Environmental ,*



- economic and social assessment. *J. Build. Eng.* 20, 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.07.006>
- Barros, B., Carmo, T. do, Margni, M., Baptiste, P., 2018. Propagating uncertainty in life cycle sustainability assessment into decision-making problems: a multiple criteria decision aid approach, in: Benetto, E., Gericke, K., Guiton, M. (Eds.), *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*. Springer Open, pp. 317–326.
- Batunacun, Wieland, R., Lakes, T., Yunfeng, H., Nendel, C., 2019. Identifying drivers of land degradation in Xilingol, China, between 1975 and 2015. *Land use policy* 83, 543–559. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.013>
- Ben Hnich, K., Martín-Gamboa, M., Khila, Z., Hajjaji, N., Dufour, J., Iribarren, D., 2021. Life cycle sustainability assessment of synthetic fuels from date palm waste. *Sci. Total Environ.* 796, 148961. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148961>
- Benachio, G.L.F., Freitas, M. do C.D., Tavares, S.F., 2020. Circular economy in the construction industry: a systematic literature review. *J. Clean. Prod.* 260, 121046. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121046>
- Bengtsson, M., Alfredsson, E., Cohen, M., Lorek, S., Schroeder, P., 2018. Transforming systems of consumption and production for achieving the sustainable development goals: moving beyond efficiency. *Sustain. Sci.* 2018 136 13, 1533–1547. <https://doi.org/10.1007/S11625-018-0582-1>
- Bertranou, F., Casanova, L., 2014. *Informalidad laboral en Argentina: Segmentos críticos y políticas para la formalización*. Buenos Aires.
- Betancourt Morales, C.M., Sossa Zartha, J.W., 2020. Circular economy in Latin America: a systematic literature review. *Bus. Strateg. Environ.* 29, 2479–2497. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bse.2515>
- Beycan, T., Vani, B.P., Bruggemann, R., Suter, C., 2019. Ranking Karnataka districts by the multidimensional poverty index (MPI) and by applying simple elements of partial order theory. *Soc. Indic. Res.* 143, 173–200. <https://doi.org/10.1007/s11205-018-1966-4>
- BLab, 2021. Sistema B [WWW Document]. URL <https://sistemab.org/> (accessed 4.26.21).
- Blundo, S.D., García-Muiña, F.E., Pini, M., Volpi, L., Siligardi, C., Ferrari, A.M., 2019. Sustainability as source of competitive advantages in mature sectors: the case of ceramic district of Sassuolo (Italy). *Smart Sustain. Built Environ.* 8, 53–79. <https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2018-0038>
- Brüggemann, R., Carlsen, L., 2011. An improved estimation of averaged ranks of partial orders. *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.* 65, 383–414.
- Brüggemann, R., Carlsen, L., 2014. Incomparable – what now ? *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.* 71, 699–716.
- Brüggemann, R., Carlsen, L., Lerche, D.B., Sørensen, P., 2006. A comparison of partial order technique with three methods of multi-criteria analysis for ranking of chemical substance, in: Brüggemann, R., Carlsen, L. (Eds.), *Partial Order in Environmental Sciences and Chemistry*. Springer, pp. 241–260.

- Brüggemann, R., Halfen, E., Welzl, G., Voigt, K., Steinberg, C.E.W., 2001. Applying the concept of partially ordered sets on the ranking of near-shore sediments by a battery of tests. *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 41, 918–925. <https://doi.org/10.1021/ci000055k>
- Bruggemann, R., Kerber, A., Restrepo, G., 2011. Ranking objects using fuzzy orders , with an application to refrigerants. *MATCH Commun.Math.Comput.Chem.* 66, 581–603.
- Brüggemann, R., Pudenz, S., Voigt, K., Kaune, A., Kreimes, K., 1999. An algebraic/graphical tool to compare ecosystems with respect to their pollution. IV: Comparative regional analysis by Boolean arithmetics. *Chemosphere* 38, 2263–2279. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(98\)00445-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(98)00445-7)
- Brüggemann, R., Voigt, K., 1995. An evaluation of online databases by methods of lattice theory. *Chemosphere* 31, 3585–3594. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(95\)00207-O](https://doi.org/10.1016/0045-6535(95)00207-O)
- Brüggemann, R., Voigt, K., 2011. A new tool to analyze partially ordered sets application: ranking of polychlorinated biphenyls and alkanes/alkenes in river Main, Germany. *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.* 66, 231–251.
- Brüggemann, R., Voigt, K., Restrepo, G., Simon, U., 2008. The concept of stability fields and hot spots in ranking of environmental chemicals. *Environ. Model. Softw.* 23, 1000–1012. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.11.001>
- BSI, 2017. BS 8001 –Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide, BSI Group.
- Carlsen, L., 2015. Data analysis by partial order methodology. *Chem. Bull. Kazakh Natl. Univ.* 78, 22–34. <https://doi.org/dx.doi.org/10.15328/cb632>
- Carlsen, L., 2017. An alternative view on distribution keys for the possible relocation of refugees in the European Union. *Soc. Indic. Res.* 130, 1147–1163. <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1234-4>
- Carlsen, L., 2018. Happiness as a sustainability factor. The world happiness index: a posetic-based data analysis. *Sustain. Sci.* 13, 549–571. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0482-9>
- Carlsen, L., 2020. Gender inequality and development. *Sustain. Sci.* 15, 759–780. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00767-9>
- Carlsen, L., 2021. Responsible consumption and production in the European Union. A partial order analysis of Eurostat SDG 12 data. *Green Financ.* 3, 28–45. <https://doi.org/10.3934/gf.2021003>
- Carlsen, L., Brüggemann, R., 2013. An analysis of the ‘failed states index’ by partial order methodology. *J. Soc. Struct.* 14, 1–31. <https://doi.org/10.21307/joss-2019-025>
- Carlsen, L., Brüggemann, R., 2017. Fragile state index: trends and developments. A partial order data analysis. *Soc. Indic. Res.* 133, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1353-y>
- Carlsen, L., Brüggemann, R., 2020. Environmental perception in 33 European countries: an analysis based on partial order. *Environ. Dev. Sustain.* 22, 1873–1896. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0267-z>
- Carlsen, L., Brüggemann, R., 2021. Inequalities in the European Union—a partial order analysis of the main indicators. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su13116278>

- Carlsen, L., Brüggemann, R., 2021a. Inequalities in the European Union: a partial order analysis of the main indicators. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su13116278>
- Carlsen, L., Brüggemann, R., 2021b. Gender equality in Europe: the development of the Sustainable Development Goal No5 illustrated by exemplary cases. *Soc. Indic. Res.* 158, 1127–1151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11205-021-02732-5>
- Carlsen, L., Brüggemann, R., Kenessov, B., 2018. Use of partial order in environmental pollution studies demonstrated by urban BTEX air pollution in 20 major cities worldwide. *Sci. Total Environ.* 610–611, 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.029>
- Carlsen, L., Brüggemann, R., Sailaukhanuly, Y., 2013. Application of selected partial order tools to analyze fate and toxicity indicators of environmentally hazardous chemicals. *Ecol. Indic.* 29, 191–202. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.028>
- Chen, W., Holden, N.M., 2018. Tiered life cycle sustainability assessment applied to a grazing dairy farm. *J. Clean. Prod.* 172, 1169–1179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.264>
- Chowdhury, S., Dey, P.K., Rodríguez-Espíndola, O., Parkes, G., Tuyet, N.T.A., Long, D.D., Ha, T.P., 2022. Impact of organisational factors on the circular economy practices and sustainable performance of small and medium-sized enterprises in Vietnam. *J. Bus. Res.* 147, 362–378. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2022.03.077>
- Cihat Onat, N., Gumus, S., Kucukvar, M., Tatari, O., 2016a. Application of the TOPSIS and intuitionistic fuzzy set approaches for ranking the life cycle sustainability performance of alternative vehicle technologies. *Sustain. Prod. Consum.* 6, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.12.003>
- Cihat Onat, N., Kucukvar, M., Tatari, O., 2014. Integrating triple bottom line input – output analysis into life cycle sustainability assessment framework: the case for US buildings. *Int. J. Life Cycle Assess.* 19, 1488–1505. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0753-y>
- Cihat Onat, N., Kucukvar, M., Tatari, O., 2016b. Uncertainty-embedded dynamic life cycle sustainability assessment framework: An ex-ante perspective on the impacts of alternative vehicle options. *Energy* 112, 715–728. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.129>
- Cihat Onat, N., Kucukvar, M., Tatari, O., Phil, Q., 2016c. Combined application of multi-criteria optimization and life-cycle sustainability assessment for optimal distribution of alternative passenger cars in U. S. the International Council on Clean Transportation. *J. Clean. Prod.* 112, 291–307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.021>
- Codina Jiménez, A., 2011. Deficiencias en el uso de FODA causas y sugerencias. *Rev. Ciencias Estratégicas* 19, 89–100.
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo., 1987. Informe Brundtland: Nuestro futuro común.
- Corona, B., San Miguel, G., 2019. Life cycle sustainability analysis applied to an innovative configuration of concentrated solar power. *Int. J. Life Cycle Assess.* 24, 1444–1460. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11367-018-1568-z>
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreón, J., Worrell, E., 2019. Towards sustainable development through the circular economy - a review and critical assessment on current

- circularity metrics. *Resour. Conserv. Recycl.* 151, 104498. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498>
- Costa, D., Quinteiro, P., Dias, A.C., 2019. A systematic review of life cycle sustainability assessment: Current state, methodological challenges, and implementation issues. *Sci. Total Environ.* 686, 774–787. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.435>
- Cucchi, M., Lucrezia Volpi, , Anna, , Ferrari, M., Fernando, , García-Muiña, E., Settembre-Blundo, D., 2022. Industry 4.0 real-world testing of dynamic organizational life cycle assessment (O-LCA) of a ceramic tile manufacturer. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022 1, 1–20. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-20601-7>
- D'Eusanio, M., Lehmann, A., Finkbeiner, M., Petti, L., 2020. Social Organizational Life Cycle Assessment: an approach for identification of relevant subcategories for wine production in Italy. *Int. J. Life Cycle Assess.* 25. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01746-4>
- De Barba, D.J., De Oliveira Gomes, J., Bork, C.A.S., 2014. Reliability of the sustainability assessment, in: *Procedia CIRP*. Elsevier B.V., pp. 361–366. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.034>
- De Luca, A.I., Falcone, G., Stillitano, T., Iofrida, N., Gulisano, G., 2018. Evaluation of sustainable innovations in olive growing systems : A Life Cycle Sustainability Assessment case study in southern Italy. *J. Clean. Prod.* 171, 1187–1202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.119>
- Dhouib, D., 2014. An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes. *Omega* 42, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.02.003>
- Di Brisco, A.M., Farina, P., 2018. Measuring gender gap from a poset perspective. *Soc. Indic. Res.* 136, 1109–1124. <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1582-8>
- Diaz, A., Schögl, J.P., Reyes, T., Baumgartner, R.J., 2021. Sustainable product development in a circular economy: Implications for products, actors, decision-making support and lifecycle information management. *Sustain. Prod. Consum.* 26, 1031–1045. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2020.12.044>
- Dong, Y.H., Ng, S.T., 2016. A modeling framework to evaluate sustainability of building construction based on LCSA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 21, 555–568. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1044-6>
- Dorini, G., Kapelan, Z., Azapagic, A., 2011. Managing uncertainty in multiple-criteria decision making related to sustainability assessment. *Clean Technol. Environ. Policy* 12, 133–139. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0291-7>
- Ecoinvent, 2021. Ecoinvent Database version 3.7.1 [WWW Document]. URL <https://www.ecoinvent.org/>
- Ekener, E., Hansson, J., Larsson, A., Peck, P., 2018. Developing Life Cycle Sustainability Assessment methodology by applying values-based sustainability weighting - Tested on biomass based and fossil transportation fuels. *J. Clean. Prod.* 181, 337–351. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.211>
- Elagouz, N., Onat, N.C., Kucukvar, M., Sen, B., Kutty, A.A., Kagawa, S., Nansai, K., Kim, D., 2022. Rethinking mobility strategies for mega-sporting events: A global multiregional input-output-

- based hybrid life cycle sustainability assessment of alternative fuel bus technologies. *Sustain. Prod. Consum.* 33, 767–787. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.07.031>
- Elia, V., Gnoni, M.G., Tornese, F., 2017. Measuring circular economy strategies through index methods: a critical analysis. *J. Clean. Prod.* 142, 2741–2751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>
- Elia, V., Gnoni, M.G., Tornese, F., 2020. Evaluating the adoption of circular economy practices in industrial supply chains: an empirical analysis. *J. Clean. Prod.* 273, 122966. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122966>
- 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>
- Ellen MacArthur Foundation, 2017. MCI - Material Circularity Indicator [WWW Document]. URL <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator> (accessed 4.25.22).
- Ellen MacArthur Foundation, 2020. Circulytics - measuring circularity [WWW Document]. URL <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/circulytics-measuring-circularity> (accessed 4.25.22).
- Ertz, M., Leblanc-Proulx, S., Sarigöllü, E., Morin, V., 2019. Advancing quantitative rigor in the circular economy literature: new methodology for product lifetime extension business models. *Resour. Conserv. Recycl.* 150, 104437. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104437>
- European Commission, 2006. Integrated pollution prevention and control - economics and cross-media effects.
- European Commission, 2019. COM (2019) 640 final - The european green deal.
- 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 Commitee for Standarization (CEN), 2014. EN 15804:2012 + A1:2013 Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.
- EUROSTAT, 2021. Circular economy indicators [WWW Document]. URL <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators> (accessed 4.8.21).
- Fattore, M., 2016. Partially Ordered Sets and the Measurement of Multidimensional Ordinal Deprivation. *Soc. Indic. Res.* 128, 835–858. <https://doi.org/10.1007/s11205-015-1059-6>
- Fattore, M., Arcagni, A., Barberis, S., 2014. Visualizing partially ordered sets for socioeconomic analysis. *Rev. Colomb. Estad.* 37, 437–450. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.098>
- Fattore, M., Maggino, F., Colombo, E., 2012. Quality of life in Italy 48, 41–68. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-3898-0>
- Fattore, M., Maggino, F., Greselin, F., 2011. Socio-economic evaluation with ordinal variables: integrating counting and poset approaches. *Stat. Appl.* 31–42.

- Fauzi, R.T., Lavoie, P., Sorelli, L., Heidari, M.D., Amor, B., 2019. Exploring the Current Challenges and Opportunities of Life Cycle Sustainability Assessment. *Sustain.* 11, 636. <https://doi.org/10.3390/su11030636>
- Feng, C., Mai, Y., 2015. Sustainability assessment of products based on fuzzy multi-criteria decision analysis. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 85, 695–710. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7978-1>
- Ferrari, L., Filippi, G., Córdoba, E., Cebeý, M.C., Napoli, M.L., Trotta, M.F., 2015. Cuestionario de evaluación de estilos, modalidades y tipos de acoso laboral (CEMTAL): estructura y propiedades psicométricas. *Anu. Investig. Univ. Buenos Aires XXII*, 61–70.
- Figueiredo, K., Pierott, R., Hammad, A.W.A., Haddad, A., 2021. Sustainable material choice for construction projects: A Life Cycle Sustainability Assessment framework based on BIM and Fuzzy-AHP. *Build. Environ.* 196, 107805. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.107805>
- Finkbeiner, M., König, P., 2013. Carbon footprint and life cycle assessment of organizations. *J. Environ. Account. Manag.* 1, 55–63. <https://doi.org/10.5890/JEAM.2013.01.005>
- Florindo, T.J., Bom de Medeiros Florindo, G.I., Ruviaro, C.F., Pinto, A.T., 2020. Multicriteria decision-making and probabilistic weighing applied to sustainable assessment of beef life cycle. *J. Clean. Prod.* 242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118362>
- Foolmaun, R.K., Ramjeawon, T., 2013. Life cycle sustainability assessments (LCSA) of four disposal scenarios for used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius. *Env. Dev Sustain* 15, 783–806. <https://doi.org/10.1007/s10668-012-9406-0>
- Forin, S., Martínez-Blanco, J., Finkbeiner, M., 2019. Facts and figures from road testing the guidance on organizational life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 24, 866–880. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1533-x>
- Galán-martín, Á., Guillén-gosálbez, G., Stamford, L., 2016. Enhanced data envelopment analysis for sustainability assessment: A novel methodology and application to electricity technologies. *Comput. Chem. Eng.* 90, 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.04.022>
- García-Muiña, F., Medina-Salgado, M.S., González-Sánchez, R., Huertas-Valdivia, I., Ferrari, A.M., Settembre-Blundo, D., 2021. Industry 4.0-based dynamic social organizational life cycle assessment to target the social circular economy in manufacturing. *J. Clean. Prod.* 327, 129439. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129439>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., 2017. The circular economy – a new sustainability paradigm? *J. Clean. Prod.* 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geissdoerfer, M., Vladimirova, D., Evans, S., 2018. Sustainable business model innovation: a review. *J. Clean. Prod.* 198, 401–416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.240>
- Gemechu, E.D., Sonnemann, G., Young, S.B., 2017. Geopolitical-related supply risk assessment as a complement to environmental impact assessment: the case of electric vehicles. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22, 31–39. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0917-4>
- Gencturk, B., Hossain, K., Lahourpour, S., 2016. Life cycle sustainability assessment of RC buildings in seismic regions. *Eng. Struct.* 110, 347–362. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.11.037>



- Geronazzo, F.N., Almeida, M.F.L., Calili, R.F., 2021. A strategic measurement framework to monitor and evaluate circularity performance in organizations from a transition perspective. *Sustain. Prod. Consum.* 27, 1165–1182. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.02.017>
- Ghadimi, P., Azadnia, A.H., Yusof, N.M., Muhamad Zamari, S.M., 2012. A weighted fuzzy approach for product sustainability assessment: a case study in automotive industry. *J. Clean. Prod.* 33, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.010>
- Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., 2016. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *J. Clean. Prod.* 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- GIIN, 2021. IRIS+ [WWW Document]. URL <https://iris.thegiin.org/metrics/> (accessed 4.26.21).
- Goedkoop, M.J., de Beer, I., Harmens, R., Saling, P., Morris, D., Florea, A., Hettinger, A.L., Indrane, D., Visser, D., Morao, A., Musoke-Flores, E., Alvarado, C., Rawat, I., Schenker, U., Head, M., Collotta, M., Andro, T., Viot, J.-F., Whatelet, A., 2020. Product social impact assessment handbook. Roundtable for product social metrics, Amersfoort.
- 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.
- GRI, 2018. Consolidated Set of GRI Sustainability Reporting Standards, GRI Standards.
- Guinée, J., 2016. Life cycle sustainability assessment: What is it and what are its challenges?, in: *Taking Stock of Industrial Ecology*. Springer International Publishing, pp. 45–68. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7_3)
- Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. de, Oers, L. van, Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., Bruijn, H. de, Duin, R. van, Huijbregts, M.A.J., 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Dordrecht, The Netherlands.
- Gumus, S., Kucukvar, M., Tatari, O., 2016. Intuitionistic fuzzy multi-criteria decision making framework based on life cycle environmental, economic and social impacts: The case of U. S. wind energy. *Sustain. Prod. Consum.* 8, 78–92. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.06.006>
- Guo, Z., Ge, S., Yao, X., Li, H., Li, X., 2019. Life cycle sustainability assessment of pumped hydro energy storage. *Int. J. Energy Res.* 1–13. <https://doi.org/10.1002/er.4890>
- Hake, J., Christian, J., Kuckshinrichs, W., Schreiber, A., Wulf, C., Zapp, P., Ketelaer, T., 2017. Towards a life cycle sustainability assessment of alkaline water electrolysis. *Energy Procedia* 105, 3403–3410. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.779>
- Halfon, E., Reggiani, M.G., 1986. On Ranking Chemicals for Environmental Hazard. *Environ. Sci. Technol.* 20, 1173–1179. <https://doi.org/10.1021/es00153a014>
- Hall, M.R., 2019. The sustainability price: expanding environmental life cycle costing to include the costs of poverty and climate change. *Int. J. Life Cycle Assess.* 24, 223–236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11367-018-1520-2>
- Hannouf, M., Assefa, G., 2017. Life Cycle Sustainability Assessment for Sustainability Improvements : A Case Study of High-Density Polyethylene Production in Alberta, Canada. *Sustain.* 9, 2332. <https://doi.org/10.3390/su9122332>

- Hannouf, M., Assefa, G., 2018. A life cycle sustainability assessment-based decision-analysis framework. *Sustain.* 10, 3863. <https://doi.org/10.3390/su10113863>
- Hapuwatte, B., Seevers, K.D., Badurdeen, F., Jawahir, I.S., 2016. Total Life Cycle Sustainability Analysis of Additively Manufactured Products. *Procedia CIRP* 48, 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.016>
- Helbig, C., Gemechu, E.D., Pillain, B., Young, S.B., Thorenz, A., Tuma, A., Sonnemann, G., 2016. Extending the geopolitical supply risk indicator: Application of life cycle sustainability assessment to the petrochemical supply chain of polyacrylonitrile-based carbon fibers. *J. Clean. Prod.* 137, 1170–1178. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.214>
- Herczeg, G., Akkerman, R., Hauschild, M.Z., 2018. Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. *J. Clean. Prod.* 171, 1058–1067. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.10.046>
- Homrich, A.S., Galvão, G., Abadia, L.G., Carvalho, M.M., 2018. The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.064>
- Hoque, N., Biswas, W., Mazhar, I., Howard, I., 2019. LCSA framework for assessing sustainability of alternative fuels for transport sector. *Chem. Eng. Trans.* 7, 103–108. <https://doi.org/10.3303/CET1972018>
- Hossain, M.U., Ng, S.T., Antwi-Afari, P., Amor, B., 2020. Circular economy and the construction industry: existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 130, 109948. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948>
- Hossaini, N., Reza, B., Akhtar, S., Sadiq, R., Hewage, K., 2014. AHP based life cycle sustainability assessment (LCSA) framework: a case study of six storey wood frame and concrete frame buildings in Vancouver. *J. Environ. Plan. Manag.* 0, 1–25. <https://doi.org/10.1080/09640568.2014.920704>
- Huang, B., Mauerhofer, V., 2016. Life cycle sustainability assessment of ground source heat pump in Shanghai, China. *J. Clean. Prod.* 119, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.048>
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., van Zelm, R., 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int. J. Life Cycle Assess.* <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- Hunkeler, D., Lichtenvort, K., Rebitzer, G., 2008. *Environmental life cycle costing*, 1st. ed. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420054736>
- Iacovidou, E., Busch, J., Hahladakis, J., Ng, K.S., Herbert, B.M.J., 2017a. A Parameter Selection Framework for Sustainability Assessment. *Sustain.* 9, 1497. <https://doi.org/10.3390/su9091497>
- Iacovidou, E., Velis, C.A., Purnell, P., Zwirner, O., Brown, A., Hahladakis, J., Millward-Hopkins, J., Williams, P.T., 2017b. Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.100>



- Ibáñez-Forés, V., Alejandrino, C., Bovea, M.D., Mercante, I. (En revisión). Prioritising circular economy strategies by applying the Partial Order Set Theory: tool and case study. *J. Clean. Prod.*
- Ibáñez-Forés, V., Bovea, M.D., Azapagic, A., 2013. Assessing the sustainability of best available techniques (BAT): methodology and application in the ceramic tiles industry. *J. Clean. Prod.* 51, 162–176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.020>
- Ibáñez-forés, V., Bovea, M.D., Coutinho-nóbrega, C., Medeiros, H.R. De, 2019. Assessing the social performance of municipal solid waste management systems in developing countries: Proposal of indicators and a case study. *Ecol. Indic.* 98, 164–178. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.031>
- Iglesias, K., Suter, C., Beycan, T., Vani, B.P., 2017. Exploring multidimensional well-being in Switzerland: comparing three synthesizing approaches. *Soc. Indic. Res.* 134, 847–875. <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1452-9>
- Ihobe, 2018. Economía circular en la industria del País Vasco - Diagnóstico. Bilbao.
- Inedit Innova, 2020. Inedit Innova [WWW Document]. URL <https://circular.ineditinnova.com/index/es> (accessed 4.25.22).
- IRAM, 2016. IRAM 1531 - Agregado grueso para hormigón de cemento. Requisitos y métodos de ensayo. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- ISO, 2006a. ISO 14040: Environmental management—life cycle assessment—Principles and framework, International Organization for Standardization (ISO).
- ISO, 2006b. ISO 14044: Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines, International Organization for Standardization (ISO).
- ISO, 2006c. ISO 14025 environmental labels and declarations. Type III environmental declarations. Principles and procedures, International Organization.
- ISO, 2010. ISO 26000:2010 Guía de responsabilidad social.
- ISO, 2014. ISO/TS 14072 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment. International Organization for Standardization (ISO).
- Ivaldi, E., Ciacci, A., Soliani, R., 2020. Urban deprivation in Argentina: a poset analysis. *Pap. Reg. Sci.* 99, 1723–1747. <https://doi.org/10.1111/pirs.12555>
- Janjua, S.Y., Sarker, P.K., Biswas, W.K., 2019. Sustainability assessment of a residential building using a life cycle assessment approach. *Chem. Eng. Trans. Eng. Trnasactions* 7, 19–24. <https://doi.org/10.3303/CET1972004>
- Jørgensen, M.S., Remmen, A., 2018. A methodological approach to development of circular economy options in businesses. *Procedia CIRP* 69, 816–821. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2017.12.002>
- JRC, 2011. Analysis of Existing Environmental Footprint Methodologies for Products and Organizations: Recommendations, Rationale, and Alignment.

- Kalbar, P.P., Karmakar, S., Asolekar, S.R., 2016. Life cycle-based decision support tool for selection of wastewater treatment alternatives. *J. Clean. Prod.* 117, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.036>
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., Rosado, L., 2018. Circular economy - from review of theories and practices to development of implementation tools. *Resour. Conserv. Recycl.* 135, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>
- Kanda, W., Geissdoerfer, M., Hjelm, O., 2021. From circular business models to circular business ecosystems. *Bus. Strateg. Environ.* 30, 2814–2829. <https://doi.org/10.1002/BSE.2895>
- Kardaetz, S., Strube, T., Brüggemann, R., Nützmänn, G., 2008. Ecological scenarios analyzed and evaluated by a shallow lake model. *J. Environ. Manage.* 88, 120–135. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.037>
- Keller, H., Rettenmaier, N., Reinhardt, G.A., 2015. Integrated life cycle sustainability assessment – A practical approach applied to biorefineries. *Appl. Energy* 154, 1072–1081. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.095>
- Kempen, E.A. Van, Spiliotopoulou, E., Stojanovski, G., Leeuw, S. De, 2017. Using life cycle sustainability assessment to trade off sourcing strategies for humanitarian relief items. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22, 1718–1730. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1245-z>
- Kim, S., Moon, S.K., 2017. Sustainable platform identification for product family design. *J. Clean. Prod.* 143, 567–581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.073>
- 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>
- Klöpffer, W., Renner, I., 2008. Life-Cycle Based Sustainability Assessment of Products. pp. 91–102. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8913-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8913-8_5)
- Kouloumpis, V., Azapagic, A., 2018. Integrated life cycle sustainability assessment using fuzzy inference: A novel FELICITA model. *Sustain. Prod. Consum.* 15, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.03.002>
- Kowalski, Z., Makara, A., 2021. The circular economy model used in the polish agro-food consortium: a case study. *J. Clean. Prod.* 284, 124751. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124751>
- Kravchenko, M., Pigosso, D.C.A., McAloone, T.C., 2020. A procedure to support systematic selection of leading indicators for sustainability performance measurement of circular economy initiatives. *Sustainability* 12, 951. <https://doi.org/10.3390/su12030951>
- Kristensen, H.S., Mosgaard, M.A., Remmen, A., 2021. Integrating circular principles in environmental management systems. *J. Clean. Prod.* 286, 125485. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125485>
- Kucukvar, M., Gumus, S., Egilmez, G., Tatari, O., 2014. Automation in Construction Ranking the sustainability performance of pavements: An intuitionistic fuzzy decision making method. *Autom. Constr.* 40, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.009>

- Lahane, S., Kant, R., 2022. Investigating the sustainable development goals derived due to adoption of circular economy practices. *Waste Manag.* 143, 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2022.02.016>
- Lenfers, U.A., Bruggemann, R., Clemen, T., 2017. Exploring survival strategies of African Savanna trees by partial ordering techniques. *Ecol. Inform.* 42, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.08.008>
- Lerche, D., Sorensen, P.B., Larsen, H.S., Carlsen, L., Nielsen, O.J., 2002. Comparison of the combined monitoring-based and modelling-based priority setting scheme with partial order theory and random linear extensions for ranking of chemical substances. *Chemosphere* 49, 637–649. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00390-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00390-9)
- Li, T., Roskilly, A.P., Wang, Y., 2017. A Regional Life Cycle Sustainability Assessment Approach and its Application on Solar Photovoltaic. *Energy Procedia* 105, 3320–3325. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.757>
- Li, T., Roskilly, A.P., Wang, Y., 2018. Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic power generation: A case study of Northeast England. *Appl. Energy* 227, 465–479. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.021>
- Lindgreen, E.R., Salomone, R., Reyes, T., 2020. A critical review of academic approaches, methods and tools to assess circular economy at the micro level. *Sustain.* 2020, Vol. 12, Page 4973–4973. <https://doi.org/10.3390/SU12124973>
- Liu, S., Qian, S., 2019. Towards sustainability - oriented decision making : Model development and its validation via a comparative case study on building construction methods. *Sustain. Dev.* 27, 860–872. <https://doi.org/10.1002/sd.1946>
- Lo-Iacono-Ferreira, V.G., Torregrosa-López, J.I., Capuz-Rizo, S.F., 2017. Organizational life cycle assessment: suitability for higher education institutions with environmental management systems. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22, 1928–1943. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1289-8>
- Lopes de Sousa Jabbour, A.B., Rojas Luiz, J.V., Rojas Luiz, O., Jabbour, C.J.C., Ndubisi, N.O., Caldeira de Oliveira, J.H., Junior, F.H., 2019. Circular economy business models and operations management. *J. Clean. Prod.* 235, 1525–1539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.349>
- López Ruiz, L.A., Roca Ramón, X., Gassó Domingo, S., 2020. The circular economy in the construction and demolition waste sector – a review and an integrative model approach. *J. Clean. Prod.* 248, 119238. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119238>
- Lu, B., Li, B., Wang, L., Yang, J., Liu, J., Wang, X.V., 2014. Reusability based on life cycle sustainability assessment: Case study on WEEE. *Procedia CIRP* 15, 473–478. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.046>
- Luu, L., Halog, A., 2016. Life cycle sustainability assessment: a holistic evaluation of social, economic, and environmental impacts, in: *Sustainability in the Design, Synthesis and Analysis of Chemical Engineering Processes*. Elsevier Inc. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802032-6.00014-1>
- Ma, J., Okudan, G.E., 2015. A fuzzy logic-based approach to determine product component end-of-life option from the views of sustainability and designer's perception. *J. Clean. Prod.* 108, 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.029>

- Mahbub, N., Oyedun, A.O., Zhang, H., Kumar, A., Pogonietz, W.-R., 2019. A life cycle sustainability assessment (LCSA) of oxymethylene ether as a diesel additive produced from forest biomass. *Int. J. life cycle Assess.* 24, 881–899. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11367-018-1529-6>
- Manfredi, S., Allacker, K., Chomkhamri, K., Pelletier, N., Souza, D.M. de, 2012. Product Environmental Footprint (PEF) Guide, European Commission (EC), Joint Research Centre (JRC) & Institute for Environment and Sustainability (IES).
- Manzardo, A., Loss, A., Jingzheng, R., Zuliani, F., Scipioni, A., 2018a. Definition and application of activity portfolio and control/influence approaches in organizational life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 184, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.262>
- Manzardo, A., Loss, A., Mazzi, A., Scipioni, A., 2016. Organization Life cycle assessment (OLCA): methodological issues and case studies in the beverage-packaging sector, in: S.S. Muthu (Ed.), *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*. Springer, pp. 47–63. [https://doi.org/10.1007/978-981-287-913-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-287-913-4_3)
- Manzardo, A., Loss, A., Niero, M., Vianello, C., Scipioni, A., 2018b. Organizational Life Cycle Assessment: The Introduction of the Production Allocation Burden, in: *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.002>
- Manzardo, A., Ren, J., Mazzi, A., Scipioni, A., 2012. A grey-based group decision-making methodology for the selection of hydrogen technologies in life cycle sustainability perspective. *Int. J. Hydrogen Energy* 37, 17663–17670. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.08.137>
- Marendra, F., Prasetya, A., Cahyono, R.B., Ariyanto, T., 2019. A Sustainability assessment of biogas plant based on fruit waste in Indonesia: case study of Biogas Plant Gamping, Yogyakarta. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. Pap.* 543, 012059. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012059>
- Martínez-Blanco, J., Forin, S., Finkbeiner, M., 2020. Challenges of organizational LCA: lessons learned from road testing the guidance on organizational life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 25, 311–331. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01699-3>
- Martínez-Blanco, J., Inaba, A., Finkbeiner, M., 2015. Scoping organizational LCA—challenges and solutions. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20, 829–841. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0883-x>
- Martínez-Blanco, J., Inaba, A., Finkbeiner, M., 2016. Life cycle assessment of organizations, in: Finkbeiner, M. (Ed.), *Special Types of Life Cycle Assessment*. Springer Science+Business Media Dordrecht, pp. 333–394. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7610-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7610-3_8)
- Martínez-blanco, J., Lehmann, A., Chang, Y.-J., Finkbeiner, M., 2015. Social organizational LCA (SOLCA) — a new approach for implementing social LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20, 1586–1599. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0960-1>
- Martínez-blanco, J., Lehmann, A., Muñoz, P., Antón, A., Traverso, M., Rieradevall, J., Finkbeiner, M., 2014. Application challenges for the social Life Cycle Assessment of fertilizers within life cycle sustainability assessment. *J. Clean. Prod.* 69, 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.044>

- Marx, H., Forin, S., Finkbeiner, M., 2020. Organizational life cycle assessment of a service providing SME for renewable energy projects (PV and wind) in the United Kingdom. *Sustainability* 12, 4475. <https://doi.org/10.3390/su12114475>
- Masilela, P., Pradhan, A., 2021. A life cycle sustainability assessment of biomethane versus biohydrogen – For application in electricity or vehicle fuel? Case studies for African context. *J. Clean. Prod.* 328, 129567. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129567>
- Menikpura, S.N.M., Gheewala, S.H., Bonnet, S., 2012. Framework for life cycle sustainability assessment of municipal solid waste management systems with an application to a case study in Thailand. *Waste Manag. Res.* 30, 708–719. <https://doi.org/10.1177/0734242X12444896>
- 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>
- Mondragón University, 2020. CircularTRANS [WWW Document]. URL <https://www.mondragon.edu/circulartrans/es/login> (accessed 4.25.22).
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G.A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., Dewulf, J., 2019. Circular economy indicators: What do they measure? *Resour. Conserv. Recycl.* 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.03.045>
- Moreira de Camargo, A., Forin, S., Macedo, K., Finkbeiner, M., Martínez-Blanco, J., 2019. The implementation of organizational LCA to internally manage the environmental impacts of a broad product portfolio: an example for a cosmetics, fragrances, and toiletry provider. *Int. J. Life Cycle Assess.* 24, 104–116. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1502-4>
- Moriizumi, Y., Matsui, N., Hondo, H., 2010. Simplified life cycle sustainability assessment of mangrove management: a case of plantation on wastelands in Thailand. *J. Clean. Prod.* 18, 1629–1638. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.07.017>
- Moslehi, S., Arababadi, R., 2016. Sustainability assessment of complex energy systems using life cycle approach- case study: Arizona State University Tempe Campus. *Procedia Eng.* 145, 1096–1103. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.142>
- Moslehi, S., Reddy, T.A., 2019. A new quantitative life cycle sustainability assessment framework: application to integrated energy systems. *Appl. Energy* 239, 482–493. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.237>
- Myllyviita, T., Leskinen, P., Lähtinen, K., Pasanen, K., Sironen, S., Kähkönen, T., Sikanen, L., 2013. Sustainability assessment of wood-based bioenergy - A methodological framework and a case-study. *Biomass and Bioenergy* 9, 293–299. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.010>

- Nieder-heitmann, M., Haigh, K.F., Johann, F.G., 2019. Life cycle assessment and multi-criteria analysis of sugarcane biore fi nery scenarios: Finding a sustainable solution for the South African sugar industry. *J. Clean. Prod.* 239, 118039. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118039>
- Norouzi, M., Chàfer, M., Cabeza, L.F., Jiménez, L., Boer, D., 2021. Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *J. Build. Eng.* 44, 102704. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102704>
- Nudurupati, S.S., Budhwar, P., Pappu, R.P., Chowdhury, S., Kondala, M., Chakraborty, A., Ghosh, S.K., 2022. Transforming sustainability of Indian small and medium-sized enterprises through circular economy adoption. *J. Bus. Res.* 149, 250–269. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2022.05.036>
- Nzila, C., Dewulf, J., Spanjers, H., Tuigong, D., Kiriamiti, H., Langenhove, H. Van, 2012. Multi criteria sustainability assessment of biogas production in Kenya. *Appl. Energy* 93, 496–506. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.020>
- OCDE, 2018. Guía de debida diligencia para una conducta empresarial responsable.
- Ojeda, J.P., Mercante, I.T., 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>
- Oliveira, M., Miguel, M., van Langen, S.K., Ncube, A., Zucaro, A., Fiorentino, G., Passaro, R., Santagata, R., Coleman, N., Lowe, B.H., Ulgiati, S., Genovese, A., 2021. Circular economy and the transition to a sustainable society: integrated assessment methods for a new paradigm. *Circ. Econ. Sustain.* 2021 11 1, 99–113. <https://doi.org/10.1007/S43615-021-00019-Y>
- Opher, T., 2019. Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales. *Int. J. Life Cycle Assess.* 24, 1319–1332. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11367-018-1469-1>
- Ostermeyer, Y., Wallbaum, H., Reuter, F., 2013. Multidimensional Pareto optimization as an approach for site-specific building refurbishment solutions applicable for life cycle sustainability assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 1762–1779. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0548-6>
- Pashaei Kamali, F., Meuwissen, M.P.M., Boer, I.J.M. De, Middelaar, C.E. Van, Moreira, A., Oude, A.G.J.M., 2017. Evaluation of the environmental, economic, and social performance of soybean farming systems in southern Brazil. *J. Clean. Prod.* 142, 385–394. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.135>
- Pask, F., Lake, P., Yang, A., Tokos, H., Sadhukhan, J., 2017. Sustainability indicators for industrial ovens and assessment using Fuzzy set theory and Monte Carlo simulation. *J. Clean. Prod.* 140, 1217–1225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.038>
- Pauliuk, S., 2018. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resour. Conserv. Recycl.* 129, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.019>
- Pavan, M., Todeschini, R., 2004. New indices for analysing partial ranking diagrams. *Anal. Chim. Acta* 515, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.11.019>



- Pearce, D., Turner, R., 1989. *Economics of Natural Resources and the Environment*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- 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>
- Peukert, B., Benecke, S., Clavell, J., Neugebauer, S., Nissen, N.F., Uhlmann, E., Lang, K., Finkbeiner, M., 2015. Addressing sustainability and flexibility in manufacturing via smart modular machine tool frames to support sustainable value creation. *Procedia CIRP* 29, 514–519. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.181>
- Pieroni, M.P.P., Mcaloone, T.C., Pigosso, D.C.A., 2019. Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. *J. Clean. Prod.* 215, 198–216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036>
- Pizzirani, S., McLaren, S.J., Forster, M.E., Pohatu, P., Tangi, T., Porou, W., Warmenhoven, T.A., 2018. The distinctive recognition of culture within LCSA: realising the quadruple bottom line. *Int. J. Life Cycle Assess.* 23, 663–682. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1193-7>
- Popien, J.L., Thies, C., Spengler, T.S., 2022. Exploring recycling options in battery supply chains – a life cycle sustainability assessment. *Procedia CIRP* 105, 434–439. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2022.02.072>
- PRé Sustainability B. V., 2020. SimaPro database manual - Methods library V.4.15.
- PRé Sustainability B. V., 2022. SimaPro software. <https://simapro.com/>
- Ren, J., Manzardo, A., Mazzi, A., Zuliani, F., Scipioni, A., 2015. Prioritization of bioethanol production pathways in China based on life cycle sustainability assessment and multicriteria decision-making. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20, 842–853. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0877-8>
- Ren, J., Ren, X., Liang, H., Dong, L., Zhang, L., Luo, X., Yang, Y., Gao, Z., 2017. Multi-actor multi-criteria sustainability assessment framework for energy and industrial systems in life cycle perspective under uncertainties. Part 2: improved extension theory. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22, 1406–1417. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1252-0>
- Ren, J., Toniolo, S., 2018. Life cycle sustainability decision-support framework for ranking of hydrogen production pathways under uncertainties: An interval multi-criteria decision making approach. *J. Clean. Prod.* 175, 222–236. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.070>
- Ren, J., Xu, D., Cao, H., Wei, S., Dong, L., Goodsite, M.E., 2016. Sustainability Decision Support Framework for Industrial System Prioritization. *Am. Institute Chem. Eng.* 62, 108–130. <https://doi.org/10.1002/aic>
- Resta, B., Gaiardelli, P., Pinto, R., Dotti, S., 2016. Enhancing environmental management in the textile sector: an organisational-life cycle assessment approach. *J. Clean. Prod.* 135, 620–632. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.135>
- Rimoldi, S.M.L., Arcagni, A., Fattore, M., Terzera, L., 2020. Social and material vulnerability of the Italian municipalities: comparing alternative approaches. *Soc. Indic. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02330-x>

- Risse, M., Weber-blaschke, G., Richter, K., 2019. Eco-efficiency analysis of recycling recovered solid wood from construction into laminated timber products. *Sci. Total Environ.* 661, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.117>
- Rochat, D., Binder, C.R., Diaz, J., Jolliet, O., 2013. Combining material flow analysis, life cycle assessment, and multiattribute utility theory: assessment of end-of-life scenarios for polyethylene terephthalate in Tunja, Colombia. *J. Ind. Ecol.* 17, 642–655. <https://doi.org/10.1111/jiec.12025>
- Roth, S., Hirschberg, S., Bauer, C., Burgherr, P., Dones, R., Heck, T., Schenler, W., 2009. Sustainability of electricity supply technology portfolio. *Ann. Nucl. Energy* 36, 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2008.11.029>
- Sacco, P., Vinante, C., Borgianni, Y., Orzes, G., Pieroni, P., Kravchenko, M., Pigosso, D.C.A., Mcalooone, T.C., 2021. Circular economy at the firm level: a new tool for assessing maturity and circularity. *Sustainability* 13, 5288. <https://doi.org/10.3390/SU13095288>
- Sadhukhan, J., Sen, S., Gadkari, S., 2021. The Mathematics of life cycle sustainability assessment. *J. Clean. Prod.* 309, 127457. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127457>
- Sánchez Berriel, S., Ruiz, Y., Sánchez, I.R., Martirena, J.F., Rosa, E., 2018. Introducing Low Carbon Cement in Cuba - A Life Cycle, in: F. Martirena et al. (Ed.), *Calcined Clays for Sustainable Concrete*. pp. 415–421. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-024-1207-9\\_67](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-024-1207-9_67)
- 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)
- Schmitt, E., Galli, F., Menozzi, D., Maye, D., Touzard, J., Marescotti, A., Six, J., Brunori, G., 2017. Comparing the sustainability of local and global food products in Europe. *J. Clean. Prod.* 165, 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.039>
- Silva, S., Nuzum, A., Schaltegger, S., 2019. Stakeholder expectations on sustainability performance measurement and assessment. A systematic literature review. *J. Clean. Prod.* 217, 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.203>
- Simon, U., Brüggemann, R., Pudenz, S., 2004a. Aspects of decision support in water management - example Berlin and Potsdam (Germany) II - improvement of management strategies. *Water Res.* 38, 4085–4092. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.07.016>
- Simon, U., Brüggemann, R., Pudenz, S., 2004b. Aspects of decision support in water management - example Berlin and Potsdam (Germany) I - spatially differentiated evaluation. *Water Res.* 38, 1809–1816. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.12.037>
- Sou, W.I., Chu, A., Chiueh, P.T., 2016. Sustainability assessment and prioritisation of bottom ash management in Macao. *Waste Manag. Res.* 34, 1275–1282. <https://doi.org/10.1177/0734242X16665914>
- Sousa-Zomer, T.T., Magalhães, L., Zancul, E., Campos, L.M.S., Cauchick-Miguel, P.A., 2018. Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: evidence from a home appliance manufacturer. *J. Clean. Prod.* 185, 740–748. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.03.006>
- Stahel, W., 1982. The product life factor, in: Orr, G.S. (Ed.), *An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies. The Role of Private Sector*. Houston, pp. 72–105.



- Stamford, L., Azapagic, A., 2012. Life cycle sustainability assessment of electricity options for the UK. *Int. J. Energy Res.* 36, 1263–1290. <https://doi.org/10.1002/er.2962>
- Stamford, L., Azapagic, A., 2014. Energy for sustainable development life cycle sustainability assessment of UK electricity scenarios to 2070. *Energy Sustain. Dev.* 23, 194–211. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.09.008>
- Svensson, N., Funck, E.K., 2019. Management control in circular economy. Exploring and theorizing the adaptation of management control to circular business models. *J. Clean. Prod.* 233, 390–398. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.089>
- Swarr, T.E., Hunkeler, D., Klöpffer, W., Pesonen, H.L., Ciroth, A., Brent, A.C., Pagan, R., 2011. Environmental life-cycle costing: a code of practice. SETAC.
- Technical University of Denmark, 2021. MATCHe Readiness assessment [WWW Document]. URL <https://ready2loop.org/> (accessed 4.25.22).
- Thies, C., Kieckhäfer, K., Spengler, T.S., Sodhi, M.S., 2019. Operations research for sustainability assessment of products: A review. *Eur. J. Oper. Res.* 274, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.039>
- Touceda, M.I., Neila, F.J., Degrez, M., 2018. Modeling socioeconomic pathways to assess sustainability : a tailored development for housing retrofit. *Int. J. Life Cycle Assess.* 23, 710–725. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1194-6>
- Traverso, M., Asdrubali, F., Annalisa, F., Finkbeiner, M., 2012a. Towards life cycle sustainability assessment: an implementation to photovoltaic modules. *Int. J. Life Cycle Assess.* 17, 1068–1079. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0433-8>
- Traverso, M., Finkbeiner, M., Jørgensen, A., Schneider, L., 2012b. Life Cycle Sustainability Dashboard. *J. Ind. Ecol.* 16, 680–688. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00497.x>
- Trigkas, M., Karagouni, G., Mpyrou, K., Papadopoulos, I., 2020. Circular economy. The Greek industry leaders' way towards a transformational shift. *Resour. Conserv. Recycl.* 163, 105092. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105092>
- UN Environment, 2017. Road testing organizational life cycle assessment all over the world: applications, experiences and lessons learned 1–75.
- UN, 2013. Política de comunicación de progreso sobre Pacto Mundial de ONU.
- 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).
- UNEP, 2020. Guidelines for social life cycle assessment of products and organizations. United Nations Environment Programme (UNEP).
- UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2009. Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme.
- UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011. Towards a Life Cycle Sustainability Assessment. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative.

- UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2013. The Methodological Sheets for Sub - Categories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8825-6>
- UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2015. Guidance on organizational life cycle assessment. United Nations Environment Programme (UNEP) and Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- UNEP/SETAC, 2013. The Methodological Sheets for Sub. Categories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA). Life Cycle Initiative at United Nations Environment Programme - Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- Universidad de Navarra, 2017. TECNUN Circular economy diagnostic questionnaire [WWW Document]. URL <https://economiecircular.wixsite.com/economiecircular/cuestionario> (accessed 4.25.22).
- Valdivia, S., Ugaya, C.M.L., Sonnemann, G., 2013. LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT: FROM LCA TO LCSA A UNEP / SETAC approach towards a life cycle sustainability assessment — our contribution to Rio + 20. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 1673–1685. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0529-1>
- Valente, A., Iribarren, D., Dufour, J., 2019. Life cycle sustainability assessment of hydrogen from biomass gasification: a comparison with conventional hydrogen. *Int. J. Hydrogen Energy* 44, 21193–21203. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.105>
- Valls-Val, K., Ibáñez-Forés, V., Bovea, M.D., 2022. HOW can organisations measure their level of circularity? A review of available tools. *J. Clean. Prod.* 131679. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.131679>
- Venkatesh, G., 2019. Critique of selected peer - reviewed publications on applied social life cycle assessment: focus on cases from developing countries. *Clean Technol. Environ. Policy* 21, 413–430. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10098-018-1644-x>
- 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>
- Vinyes, E., Oliver-solà, J., Ugaya, C., Rieradevall, J., Gasol, C.M., 2013. Application of LCSA to used cooking oil waste management. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 445–455. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0482-z>
- Vogt, Y., Marques, P., Dias, L.C., Freire, F., 2019. Life beyond the grid: a life-cycle sustainability assessment of household energy needs. *Appl. Energy* 255, 113881. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113881>
- Voigt, K., Welzl, G., Brüggemann, R., 2004. Data analysis of environmental air pollutant monitoring systems in Europe. *Environmetrics* 15, 577–596. <https://doi.org/10.1002/env.653>
- Volkart, K., Bauer, C., Burgherr, P., Hirschberg, S., Schenler, W., Spada, M., 2016. International journal of greenhouse gas control interdisciplinary assessment of renewable, nuclear and fossil power generation with and without carbon capture and storage in view of the new Swiss energy policy. *Int. J. Greenh. Gas Control* 54, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2016.08.023>
- Wafa, W., Sharaai, A.H., Matthew, N.K., Ho, S.A.J., Akhundzada, N.A., 2022. Organizational life cycle sustainability assessment (OLCSA) for a higher education institution as an organization: a

- systematic review and bibliometric analysis. *Sustain.* 2022, Vol. 14, Page 2616 14, 2616. <https://doi.org/10.3390/SU14052616>
- Wang, J., Maier, S.D., Horn, R., Holländer, R., Aschemann, R., 2018. Development of an ex-ante sustainability assessment methodology for municipal solid waste management innovations. *Sustain.* 10, 3208. <https://doi.org/10.3390/su10093208>
- Wang, J., Wang, Y., Sun, Y., Tingley, D.D., Zhang, Y., 2017. Life cycle sustainability assessment of fly ash concrete structures. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80, 1162–1174. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.232>
- Wang, Y., Zhou, G., Li, T., Wei, X., 2019. Comprehensive Evaluation of the Sustainable Development of Battery Electric Vehicles in China. *Sustain.* 11, 5635. <https://doi.org/doi:10.3390/su11205635>
- WBCSD, 2020. CTI - Circular transition indicators V1.0. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Switzerland.
- WBCSD, BCG, 2018. The new big circle. Geneva.
- WBCSD, WRI, 2004. The greenhouse gas protocol: a corporate accounting and reporting standard. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>
- Weidema, B.P., 1998. Multi-user test of the data quality matrix for product life cycle inventory data. *Int. J. Life Cycle Assess.* <https://doi.org/10.1007/BF02979832>
- Weidema, B.P., Bauer, C., Hischier, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., Vadenbo, C.O., Wernet, G., 2013. Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3., *Ecoinvent Report 1 (v3)*.
- Weidema, B.P., Wesnæs, M.S., 1996. Data quality management for life cycle inventories-an example of using data quality indicators. *J. Clean. Prod.* 4, 167–174. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(96\)00043-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(96)00043-1)
- Wulf, C., Werker, J., Ball, C., Zapp, P., Kuckshinrichs, W., 2019. Review of Sustainability Assessment Approaches Based on Life Cycles. *Sustain.* 11, 5717. <https://doi.org/doi:10.3390/su11205717>
- Wulf, C., Werker, J., Zapp, P., Schreiber, A., Schlör, H., Kuckshinrichs, W., 2018. Sustainable development goals as a guideline for indicator selection in Life Cycle Sustainability Assessment. *Procedia CIRP* 69, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.144>
- Xu, D., Lv, L., Ren, J., Shen, W., Wei, S., Dong, L., 2017. Life cycle sustainability assessment of chemical processes: a vector-based three-dimensional algorithm coupled with AHP. *Ind. Eng. Chem. Res.* 56, 11216–11217. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b02041>
- 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.jobbe.2018.02.009>
- Yıldız-Geyhan, E., Yılan, G., Altun-Çiftçiöğlü, G.A., Neşet Kadirgan, Mehmet Arif, 2019. Environmental and social life cycle sustainability assessment of different packaging waste collection systems. *Resour., Conserv. Recycl.* 143, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.028>

- Yu, M., Halog, A., 2015. Solar photovoltaic development in Australia — a life cycle sustainability assessment study. *Sustainability* 7, 1213–1247. <https://doi.org/10.3390/su7021213>
- Zajáros, A., Szita, K., Matolcsy, K., Horváth, D., 2018. Life cycle sustainability assessment of DMSO solvent recovery from hazardous waste water. *Period. Polytech. Chem. Eng.* 62, 305–309. <https://doi.org/https://doi.org/10.3311/PPch.11097>
- Zamagni, A., Pesonen, H.L., Swarr, T., 2013. From LCA to Life Cycle Sustainability Assessment: Concept, practice and future directions. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 1637–1641. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0648-3>
- Zheng, X., Easa, S.M., Yang, Z., Ji, T., Jiang, Z., 2019. Life-cycle sustainability assessment of pavement maintenance alternatives: Methodology and case study. *J. Clean. Prod.* 213, 659–672. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.227>
- Zhou, Z., Chi, Y., Dong, J., Tang, Y., Ni, M., 2019. Model development of sustainability assessment from a life cycle perspective: A case study on waste management systems in China. *J. Clean. Prod.* 210, 1005–1014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.074>

# Anexos

|   |     |
|---|-----|
| Anexo I: Teoría POSET .....                               | 148 |
| Anexo II: Fichas técnicas de escenarios alternativos..... | 150 |
| Anexo III: Publicaciones.....                             | 155 |

## ANEXO I: Teoría POSET

### Descripción teórica

Un grupo parcialmente ordenado (POSET)  $P = (X, \leq)$  es un conjunto  $X$  equipado con un orden parcial  $\leq$ , es decir, con una relación binaria que satisface las propiedades de reflexividad, antisimetría y transitividad (Davey and Priestley, 2002):

- Reflexividad:

$$x \leq x \quad \forall x \in X$$

- Antisimetría:

$$\text{si } x \leq y \text{ e } y \leq x \Rightarrow x = y \quad \forall x, y \in X$$

- Transitividad:

$$\text{si } x \leq y \text{ e } y \leq z \Rightarrow x \leq z \quad \forall x, y, z \in X$$

La teoría POSET se basa en conceptos matemáticos sólidos para ordenar un conjunto de elementos según una serie de criterios. Esta teoría permite obtener la información directamente de los datos originales sin tratamientos previos (agregación aritmética, uso de escalas arbitrarias o ponderaciones subjetivas). Como resultado consigue un orden parcial, no total. En este orden dos o más elementos son incomparables cuando un elemento presenta mejores valores para algunos indicadores, pero peores para otros. Al no existir compensación o ponderación de los indicadores el modelo simplemente reconoce como incomparables estos dos elementos.

Sus principales ventajas son:

- Posibilita la comparación de elementos valorados por indicadores de diferente naturaleza (cuantitativos y/o cualitativos), con diferentes unidades y diferentes escalas de valoración.
- Evita las compensaciones entre indicadores diferentes (Alaimo et al., 2020).
- Tiene la capacidad de identificar qué pares de elementos son comparables o incomparables, y generan la peculiaridad en el orden del conjunto (Arcagni et al., 2021).

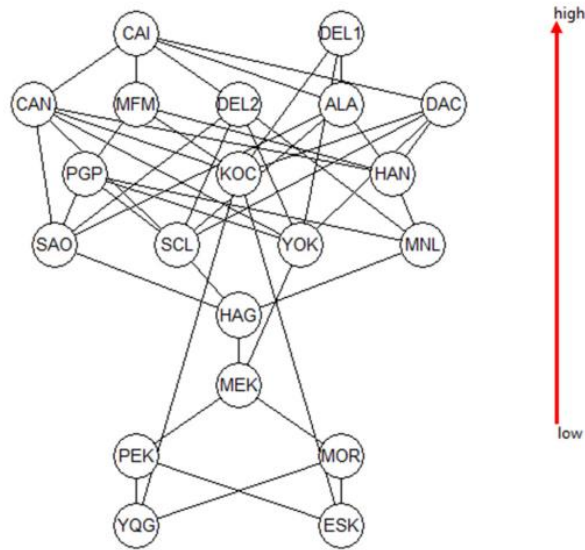
### Diagrama de Hasse.

Es la representación fundamental de un POSET y permite conocer la estructura del conjunto y extraer conclusiones importantes. En este diagrama cada elemento está representado por un nodo y las relaciones entre los elementos se dibujan de acuerdo con las siguientes reglas:

- (i) Si  $x \leq y$ , entonces el nodo  $y$  se coloca encima del nodo  $x$ .
- (ii) Si no hay otro nodo entre  $x$  e  $y$ , ambos están vinculados por una línea.

La **Figura A1** presenta un ejemplo de Diagrama de Hasse para los datos de contaminación de aire en 20 ciudades del mundo. Las ciudades en la parte inferior del diagrama son las que presentan

menores niveles de niveles de contaminación y las de la parte superior mayor contaminación. Este ejemplo presenta 190 relaciones entre los 20 objetos de estudio (ciudades) de las cuales 142 son comparables (están unidas por una línea) y 48 son incomparables (no existe unión).



**Figura A1:** Ejemplo de Diagrama de Hasse.

*Fuente: Extraído de (Carlsen et al., 2018).*

El diagrama de Hasse se caracteriza por una estructura que comprende niveles, cadenas y anti-cadenas (Carlsen et al., 2015). Este diagrama representa las comparabilidades e incomparabilidades, pero no la magnitud de las diferencias de los indicadores para dos elementos (Fattore, Arcagni & Barberis, 2014).

## ANEXO II: Fichas técnicas de escenarios alternativos

|                    |  |        |  |
|--------------------|--|--------|--|
| Escenario          | SC1 Uso de material reciclado  |        |  |
| Objetivo           | Reemplazo parcial de materias primas por materiales reciclados con el objeto de disminuir las cargas ambientales sin afectar las prestaciones del producto   |        |  |
| Descripción        | <p><b>1.a</b> Incorporación de plástico triturado como reemplazo de una porción del árido. Permite mejorar las propiedades aislantes del producto, reciclar un residuo (plástico), disminuir la cantidad de áridos extraídos de la naturaleza y, además, disminuir la proporción de cemento utilizada. Se utiliza el plástico producido por Municipalidad de Junin que ya es empleado para la fabricación de ladrillos.</p> <p><b>1.b</b> Reemplazar un porcentaje del árido grueso virgen por árido grueso reciclado. Se propone sustituir 20% que es lo aceptado por norma IRAM 1531 y estudios demuestran que no tiene efectos sobre resistencia. Se supuso una planta de reciclaje de baja tecnología a ubicarse en la zona más cercana con suficiente densidad de población y construcciones para justificar su instalación. Las cargas ambientales del proceso de reciclaje se obtuvieron a partir de plantas similares (Mercante, 2014). Los precios del árido reciclado se supusieron iguales que para el árido virgen</p> |        |  |
| Efectos            | <p><b>1.a</b> Modificación de dosificación empleada para morteros celulares que corresponden al 20% de la producción. Plástico reciclado es nueva materia prima. Menor consumo de cemento, árido fino y agua.</p> <p><b>1.b</b> Árido reciclado no reduce resistencia para porcentajes de sustitución menores al 20% (Gonzalez-Fonteboa). Consume más agua</p>   |        |  |
| Equipos necesarios | <p>Se analizará la compra del material ya triturado por lo que no se requieren nuevos equipamientos.</p> <p>Se requiere adaptar la mezcladora de concreto celular. Salida de 3" 4000 y la manguera 28000 (20 metros). <a href="https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-813799438-manguera-pvc-azul-hidrocarburo-3-pulgadas-76mm-cloaca-x-10mt-">https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-813799438-manguera-pvc-azul-hidrocarburo-3-pulgadas-76mm-cloaca-x-10mt-</a></p>  |        |  |
| Datos económicos   | Inversión inicial  | \$     | 35000  |
|                    | Costo de O&M   | \$/año | Costos de plástico y árido reciclado y transporte de ambos                             |
|                    | Costos evitados  | \$/año | Materiales evitados: cemento, árido fino y espumígeno para 1.a y árido virgen para 1.b |
| Referencias        | Mercante et al., 2018, Ojeda et al., 2020, IRAM 2016, González-Fonteboa and Martínez-Abella, 2005  |        |  |



|                    |   |        |  |
|--------------------|---|--------|--|
| Escenario          | SC2 Reciclaje de residuos   |        |  |
| Objetivo           | Reciclar los residuos de demolición y construcción producidos por la organización.  |        |  |
| Descripción        | La organización recicla sus residuos de hierro actualmente sin embargo los RCD son dispuestos en rellenos sanitarios. Los RCD de la organización están compuestos mayoritariamente por hormigón por lo que pueden ser gestionados mediante trituración y uso como árido reciclado. Se supuso una planta de reciclaje de baja tecnología a ubicarse en la zona más cercana con suficiente densidad de población y construcciones para justificar su instalación (15 km). |        |  |
| Equipos necesarios | No requiere   |        |  |
| Efectos            | Reciclaje de RCD, trituración de áridos según datos de Mercante 2014. Cargas evitadas árido grueso virgen y parte de RCD enviados a vertedero. Eficiencia de reciclaje 90%. Tasa de sustitución de 1:1  |        |  |
| Datos económicos   | Inversión inicial   | \$     | 0  |
|                    | Costo de O&M  | \$/año | Costo de transporte. Se supone que el reciclaje es cos |
|                    | Costos evitados   | \$/año | Costo de disposición de RCD en vertedero               |
| Referencias        | Mercante et al., 2012; Mercante, 2014   |        |  |

|                    |   |        |   |
|--------------------|---|--------|---|
| Escenario          | SC3 Recirculación de materiales en planta   |        |   |
| Objetivo           | Reciclar los residuos de demolición y construcción producidos por la organización en la misma planta y utilizarlos como materia prima secundaria.   |        |   |
| Descripción        | Al igual que SC1.b solo se contempla el reciclaje de áridos para cubrir el 20% de los áridos gruesos requeridos. Se toma una eficiencia del proceso de reciclaje de 90% y una tasa de sustitución de 1:1. Se supone la adquisición de una trituradora comercial de hormigón de tamaño pequeño. Consumo eléctrico y mano de obra para trituración es despreciable frente a otras actividades de la empresa. Se requiere funcionamiento por menos de 8 hs por mes.  |        |   |
| Equipos necesarios | Trituradora capaz de procesar como mínimo 11 m <sup>3</sup> /mes. Las trituradoras encontradas superan ampliamente esa capacidad.<br><a href="https://sanicpro.com.ar/solar-palomar/product/maquina-trituradora-de-cascote-motor-trifasico-3hp-2mt3/">https://sanicpro.com.ar/solar-palomar/product/maquina-trituradora-de-cascote-motor-trifasico-3hp-2mt3/</a><br><a href="https://dimarhym.mercadoshops.com.ar/maquina-trituradora-picadora-de-cascotes-motor-tri-hp-1061672159xJM">https://dimarhym.mercadoshops.com.ar/maquina-trituradora-picadora-de-cascotes-motor-tri-hp-1061672159xJM</a> |        |   |
| Efectos            | Reduce los residuos que son enviados a relleno sanitario, reduce el consumo de materias primas. Reduce transportes.   |        |   |
| Datos económicos   | Inversión inicial   | \$     | 200000 (equipos y fletes)                               |
|                    | Costo de O&M  | \$/año | 0 (consumo eléctrico es despreciable, 16 KWh por mes)   |
|                    | Costos evitados   | \$/año | Costos de árido virgen no consumido y de gestión de RCD |

|                    |   |        |   |
|--------------------|---|--------|---|
| Escenario          | SC4 Recirculación de efluentes  |        |   |
| Objetivo           | Recircular los efluentes de lavado de equipos y de fragüado   |        |   |
| Descripción        | Se estima que la mitad del agua consumida se convierte en efluentes con restos de partículas producto de las actividades de curado y lavado de equipos. Mediante un sistema de captación y piletas de decantación puede ser recuperado y recirculado. El efluente final puede ser utilizado para el proceso de mezclado.  |        |   |
| Equipos necesarios | Suponiendo que la zona de curado ya cuenta con pendiente, se necesitan 20 m de canaleta, un recinto de sedimentación con capacidad para el efluente de un día (450 l) y una bomba para transportarlo hasta los tanques de almacenamiento de agua para mezclado. Se calcula una bomba de 4" con motor de 4HP. Capacidad de 72000 l/h, Suponemos 1 min/día de funcionamiento<br><a href="https://netools.com.ar/INICIO/453-bomba-de-agua-centrifuga-elevadora-1hp-30-mts-altura-turbina-bronce-bobinada-cobre-">https://netools.com.ar/INICIO/453-bomba-de-agua-centrifuga-elevadora-1hp-30-mts-altura-turbina-bronce-bobinada-cobre-</a> |        |   |
| Efectos            | Consumo de agua de curado y lavado de equipos se reduce a la mitad.   |        |   |
| Datos económicos   | Inversión inicial   | \$     | 40000   |
|                    | Costo de O&M  | \$/año | 0 (consumo eléctrico despreciable 11,9 kWh por año) |
|                    | Costos evitados   | \$/año | 0 (agua se paga monto fijo mensual)                 |
| Referencias        | Snadrolini & Franzoni (2001).   |        |   |

|                    |   |        |                                       |
|--------------------|---|--------|---------------------------------------|
| Escenario          | SC5 Automatización de curado  |        |                                       |
| Objetivo           | Automatizar las mediciones de humedad y temperatura para reducir el consumo de agua y de combustible.   |        |                                       |
| Descripción        | El empleo de sistema automatizado controla la humedad y temperatura y mediante un PLC acciona una válvula para los aspersores. El accionamiento de los calentadores permanece manual aunque se mide con los sensores para que el operario sepa cuando prenderlo.<br>Sensores de cemento <a href="https://lumicon.io/company/">https://lumicon.io/company/</a> |        |                                       |
| Equipos necesarios | sensores, placa electrónica y válvula esférica motorizada   |        |                                       |
| Efectos            | Reduce el consumo de agua (hasta 50%) y de combustible (30%).   |        |                                       |
| Datos económicos   | Inversión inicial   | \$     | 50000                                 |
|                    | Costo de O&M  | \$/año | 0 (consumo eléctrico despreciable)    |
|                    | Costos evitados   | \$/año | Combustible (agua se paga monto fijo) |
| Referencias        | <a href="#">Yang et al., 2018</a>   |        |                                       |

|                    |  |        |                 |
|--------------------|--|--------|-----------------|
| Escenario          | SC6 Eficiencia energética  |        |                 |
| Objetivo           | Reducir consumo de energía eléctrica y utilizar fuentes renovables en lugar de fuentes fósiles.  |        |                 |
| Descripción        | <p>Se analizaron numerosas alternativas de eficiencia energética para la industria. Los equipos ya cuentan con medidas de eficiencia pero el sector de oficinas representa un gran consumo. Se proponen el empleo de sensores fotovoltaicos para el encendido de luces exteriores, el cambio de lámparas fluorescentes por tecnología LED y el cambio de los equipos de aire acondicionado por equipos con tecnología inverter. También se propone el reemplazo de una porción de la energía de red utilizada (proveniente en su mayoría de fuentes fósiles) por energía solar fotovoltaica generada in situ. Se instalarán equipos de generación de energía eléctrica fotovoltaica para producir el 90% del total consumido por la planta. Se seleccionará un sistema conectado a la red por lo que no se utilizarán baterías.</p> <p><a href="https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-751372227-kit-solar-paneles-8-x-330w-on-grid-trifasico-inyeccion-3on-_JM#position=1&amp;type=item&amp;tracking_id=6b3ad340-c286-4664-bd41-6a495e2ef04a">https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-751372227-kit-solar-paneles-8-x-330w-on-grid-trifasico-inyeccion-3on-_JM#position=1&amp;type=item&amp;tracking_id=6b3ad340-c286-4664-bd41-6a495e2ef04a</a></p> |        |                 |
| Equipos necesarios | Aire acondicionado, lámparas LED, paneles e inversores.  |        |                 |
| Efectos            | Reducción de consumo. Se estima una reducción del 40% del consumo de las oficinas. Cambio en la fuente de energía eléctrica. 20% se mantiene de red y 80% solar.   |        |                 |
| Datos económicos   | Inversión inicial  | \$     | 3000000         |
|                    | Costo de O&M   | \$/año | 0               |
|                    | Costos evitados  | \$/año | Consumo energía |
| Referencias        | (Thumann et al., 2003)(European Commission 2009) (Doty, 2016) Entrevistas organización, mails.   |        |                 |

|                    |   |        |   |
|--------------------|---|--------|---|
| Escenario          | SC7 Proveedores cercanos  |        |   |
| Objetivo           | Cambio proveedores más cercanos con el objeto de disminuir las cargas ambientales del transporte de materias primas.  |        |   |
| Descripción        | Se modificará el proveedor de cemento. No se hallaron proveedores más cercanos para las otras materias primas.  |        |   |
| Efectos            | <p>Modificación en distancia de transporte de cemento. Proveedor actual se ubica a 260 km pero existe uno a 80km de distancia.</p> <p><a href="https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-607329651-cemento-holcim-minetti-y-otros-en-obra-mejor-precio-_JM#position=5&amp;type=item&amp;tracking_id=7aefa1eb-c276-43b0-855a-e86bb4c77d79">https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-607329651-cemento-holcim-minetti-y-otros-en-obra-mejor-precio-_JM#position=5&amp;type=item&amp;tracking_id=7aefa1eb-c276-43b0-855a-e86bb4c77d79</a></p> |        |   |
| Equipos necesarios | No se requieren.  |        |   |
| Datos económicos   | Inversión inicial   | \$     | 0                                       |
|                    | Costo de O&M  | \$/año | Diferencia de costos de nuevo proveedor |
|                    | Costos evitados   | \$/año | 0                                       |
| Referencias        | <a href="#">Entrevistas organización, mails.</a>  |        |   |

|                    |   |        |                                       |
|--------------------|---|--------|---------------------------------------|
| Escenario          | SC8 Movilidad de los trabajadores   |        |                                       |
| Objetivo           | Mitigar los efectos de los desplazamientos diarios de los trabajadores desde sus casas a la organización.   |        |                                       |
| Descripción        | bicicletas y transporte público en conjunto con la posibilidad de que trabajadores con residencias cercanas compartan vehículos. Se implementará a través de una plataforma virtual y aplicación que mide los aportes de cada trabajador y le permite acceder a los incentivos. |        |                                       |
| Equipos necesarios | No requiere   |        |                                       |
| Efectos            | Reducción de 30% de desplazamiento de empleados.  |        |                                       |
| Datos económicos   | Inversión inicial   | \$     | 0                                     |
|                    | Costo de O&M  | \$/año | costos de aplicación y de incentivos. |
|                    | Costos evitados   | \$/año | 0                                     |
| Referencias        | <a href="https://www.desafiomovilidadsustentable.com/">(Vanoutrive et al. 2012). https://www.desafiomovilidadsustentable.com/</a><br><a href="https://www.ciclogreen.com/">https://www.ciclogreen.com/</a>  |        |                                       |

## ANEXO II: Publicaciones relacionadas con el tema de tesis

### Publicaciones en revistas indexadas

Alejandrino, C., Mercante, I., Bovea, M.B. (2022) "Combining O-LCA and O-LCC to support circular economy strategies in organizations: Methodology and case study". Journal of cleaner production. Vol 336, 130365 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130365>

Alejandrino, C., Mercante, I., Bovea, M.B. (2021) "Life cycle sustainability assessment: lessons learned from case studies". Environmental Impact Assessment Review. 87, 106517. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106517>

Ibáñez-Forés, V., Alejandrino, C., Bovea, M.D., Mercante, I. (2023). Prioritising organizational circular economy strategies by applying the Partial Order Set Theory: tool and case study. J. Clean. Prod. In press.

### Publicaciones en eventos científicos

**Alejandrino, C., Mercante, I.** (2021) LCA as tool to achieve a circular industry. Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment. 1a ed.- Ciudad Autónoma de Buenos Aires. edUTecNe, 2021. Roxana Piastrellini (ed). ISBN 978-987-4998-77-4 <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/5403>

**Alejandrino, C., Ojeda, J. P., Mercante, I.** (2021) Evaluación de ecoeficiencia del uso de plástico reciclado en paneles constructivos. Libro de actas de IX Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Universidad Tecnológica de Panamá. ISBN 978-9962-698-80-7

**Alejandrino, Clarisa.** (2020). Evaluación de costos de ciclo de vida en el marco del desarrollo sostenible. Jornadas de Ciencias Económicas 2020: investigación y vinculación. Jornada. Mendoza, 7,8 y 9 de septiembre de 2020. ISBN: 978-987-575-214-6. Dirección URL: <https://bdigital.uncu.edu.ar/fichas.php?idobjeto=15482>.

**Alejandrino, C., Mercante, I., Bovea, M.B., Cereda, M.** "Aspectos metodológicos de Análisis de Ciclo de Vida de Organizaciones (ACV-O) para reciclaje de plásticos". VIII Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Sólidos. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción 2019. ISBN: 978-99967-670-2-9.

**Alejandrino, C., Mercante, I., Cereda, M.** "Perfil ambiental de ladrillo fabricado a partir de plástico reciclado". X Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería. Universidad Tecnológica Nacional 1ed 2019. ISBN: 978-950-42-0197-7.