

EVALUACIÓN DE COSTOS DE CICLO DE VIDA EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

Clarisa ALEJANDRINO

1. Introducción

A pesar de que muchas organizaciones están interesadas en ser sostenibles, la mayoría encuentra dificultades metodológicas para lograrlo (Hutchins et al., 2019). Como respuesta a este desafío, durante los últimos años la metodología de Análisis de Sostenibilidad del Ciclo de Vida (ASCV) ha tomado importancia en todo el mundo. El ASCV surge al combinar tres metodologías; Análisis Ambiental de Ciclo de Vida (ACV), Análisis Económico de Ciclo de Vida o Costo de Ciclo de Vida (CCV) y Análisis Social del Ciclo de Vida (S-ACV) (Zheng et al., 2019), según la Ecuación (1).

$$(ASCV) = (ACV) + (CCV) + (S-ACV) \quad (1)$$

Esta ecuación resulta una simple aproximación, ya que este análisis no puede ser únicamente la suma de los resultados de cada uno de los tres enfoques mencionados. En su desarrollo deberán cumplirse una serie de requisitos, tales como establecer una definición consistente de los límites del sistema considerado, evitar las dobles contabilidades, integrar los resultados sin compensaciones entre ellos, etc. A pesar de esto, la comunidad científica está de acuerdo en la utilidad y la evolución permanente del ASCV. Según Iacovidou et al. (2017), las métricas para la evaluación de la sostenibilidad poseen gran relevancia, ya que tienen el potencial de proporcionar datos útiles y medibles, y Venkatesh (2019) afirma que la ASCV no está muy lejos de convertirse en una herramienta armonizada en el futuro. En general, se considera que ASCV todavía está en sus comienzos y posee gran potencial de desarrollo lo cual se demuestra en el aumento significativo del número de artículos publicados durante los últimos años.

Particularmente, la presente investigación se centró en el análisis económico del ciclo de vida (metodología de cuantificación de Costos del Ciclo de Vida o CCV) para su incorporación en el análisis de sostenibilidad (ASCV). El CCV se ha desarrollado desde diferentes perspectivas: convencional, ambiental y social, la más apropiada para integrarse en ASCV es la ambiental (Hunkeler et al., 2008). Para evitar confusión en adelante se hablará solo de CCV pero siempre referido a la perspectiva ambiental.

La evaluación económica bajo perspectiva de ciclo de vida tiene sus orígenes en la década de 1930, sin embargo no ha logrado ser estandarizada (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011) como el ACV (ISO, 2006a, 2006b). Uno de los principales antecedentes es el libro editado por Hunkeler et al. (2008) el cual define el CCV como una 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 dicho ciclo de vida. Otro antecedente importante lo constituye el Código de Práctica de CCV publicado con el apoyo de SETAC (Swarr et al., 2011a, 2011b), sin embargo, éste solo brinda recomendaciones generales. A pesar de los antecedentes del CCV, muchos autores coinciden en la necesidad de mayores investigaciones centradas en su integración con ACV y S-ACV y en la resolución de los desencuentros entre ellas (Fauzi et al., 2019).

La presente investigación consistió en el análisis de la metodología CCV en el marco del desarrollo sostenible mediante un caso de estudio local de un ladrillo compuesto por cemento, áridos y plástico reciclado. La metodología utilizada se basa en la propuesta por UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2011), donde el CCV se conforma en uno de los pilares de ASCV.

2. Metodología

La metodología de trabajo aplicada se describe a continuación en cuatro fases.

2.1. Definición de objetivo y alcance del análisis

Se definió el objetivo del estudio y la Unidad Funcional a utilizar como base.

Se establecieron los límites del sistema, teniendo en cuenta que deben ser equivalentes entre las tres perspectivas aunque no necesariamente idénticos. Por ejemplo para el análisis económico puede ser importante considerar las actividades de diseño e investigación de un producto pero ambientalmente estas actividades pueden ser

desestimadas. La regla de corte de costos incluidos utilizada fue la exclusión de costos menores al 1% del costo total de la etapa en consideración (Hunkeler et al., 2008).

En esta fase se definió la estructura de costos a utilizar, comprendida por las categorías de costo, la estructura del producto y las diferentes etapas de ciclo de vida a considerar (Figura 1).

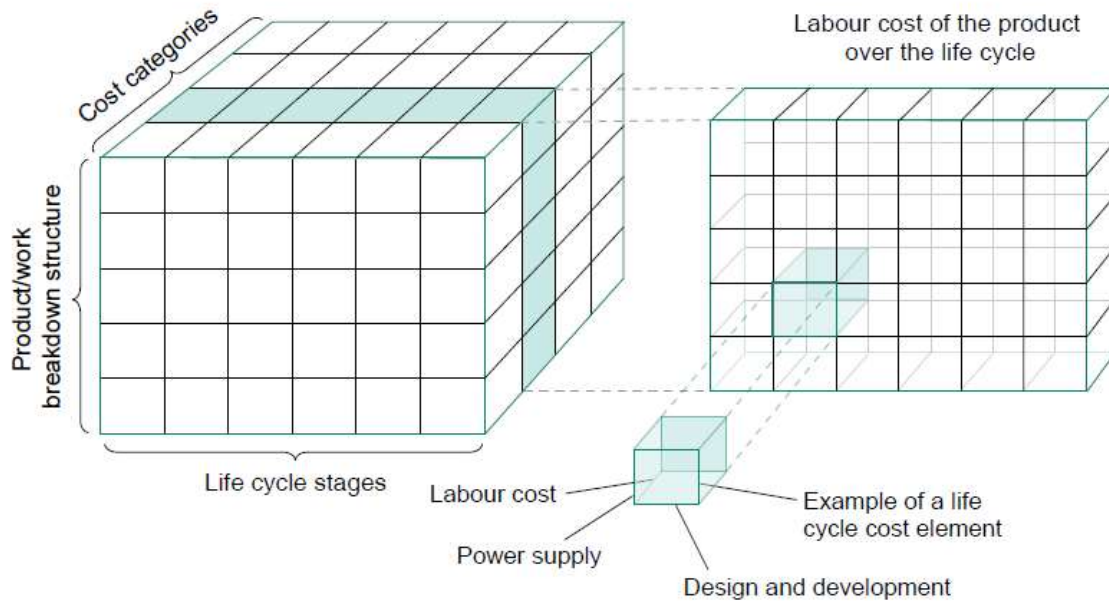


Figura 1: Estructura General de Costos de CCV Fuente: UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2011)

Se definieron los responsables de costos a considerar en el estudio, es decir los sujetos que erogan determinado costo (Hunkeler et al., 2008), ya que en un análisis pueden considerarse más de un responsable de costos (productor y consumidor por ejemplo). Los últimos aspectos a definir fueron la fuente y calidad de datos a recoger y la tasa de descuento a emplear, en concordancia con el objetivo previamente definido.

2.2. Recolección de información

La recolección de información se realizó respetando la estructura de costos previamente definida. Hunkeler et al. (2008) presenta un procedimiento específico para la recopilación de información y la identificación y cuantificación de los datos relevantes mientras que la EC (2006) ha publicado una descripción completa de las categorías de costos a considerar en este tipo de análisis. También es posible el aprovechamiento de información previamente recolectada para ACV y de S-ACV en esta fase.

Como resultado de este paso se identificaron todos los elementos de costo del modelo según la estructura de costos definida (Figura 1). Cada elemento de costo i -ésimo responde a la siguiente fórmula (Ecuación 2):

$$ec_i = cantidad_i \times costo\ unitario_i \quad (2)$$

El costo unitario se multiplicó por la cantidad de ese elemento (por ejemplo, el costo de la electricidad se multiplica por la cantidad de electricidad en un proceso determinado durante la etapa de producción).

Calidad de datos y fuentes

Los datos empleados para CCV pueden ser primarios o secundarios. Los datos primarios provienen de mediciones, entrevistas y documentos de los actores involucrados (fabricante del producto en análisis, por ejemplo) mientras que los datos secundarios pueden ser de bases de datos o de otros estudios con características similares.

Los datos primarios son considerados de mayor calidad que los datos secundarios, pero debido a las dificultades prácticas y al gran consumo de recursos que su recolección implica, muchos estudios utilizan datos secundarios. El fortalecimiento de bases de datos de CCV, tal como existen para ASCV, es uno de los desafíos que hasta la fecha no se ha logrado superar (Fauzi et al., 2019).

Para el caso de estudio se emplearon datos primarios y secundarios según las consideraciones mencionadas en los párrafos precedentes.

Enfoque de descuento

Estrictamente hablando, el descuento es inconsistente con el CCV, debido a su definición como proceso estático (Hunkeler et al., 2008). A pesar de esto, la mayoría de los antecedentes lo aplican y numerosos autores lo consideran necesario. Actualmente representa un desafío para la integración del CCV con ASCV y se requieren mayores investigaciones al respecto (Fauzi et al., 2019).

En contraposición con lo anterior, EC (2006) y Swarr et al. (2011a) recomiendan la selección de una tasa de descuento adecuada en función de la meta y el alcance del CCV. Estos autores declaran que debido a que los datos de costos pueden ser recopilados en diferentes monedas y provenir de diferentes períodos temporales, deberán actualizarse en una moneda común al valor presente utilizando las tasas de cambio y descuento adecuadas. Para este propósito es posible emplear la Ecuación (3) extraída de EC (2006):

$$cost_x = \sum_{t=0}^n \left(\frac{cost_t}{(1+r)^t} \right) \quad (3)$$

Donde

Costo_t = costo desembolsado en año t

t = años desde 0 a n

n = tiempo de vida considerado

r = tasa de descuento

EC (2006) insta a usar costos y tasas tanto nominales como reales. Particularmente para los países en desarrollo, es aconsejable usar valores reales para separar el análisis de los fenómenos inflacionarios.

2.3. Agregación de costos

En esta fase se agregan los costos según el nivel de detalle definido en el objetivo. Si, por ejemplo el objetivo es obtener el costo total del ciclo de vida de un determinado producto o servicio se debería seguir la siguiente expresión (Ecuación 4):

$$CCV = \sum_{e1}^{en} \sum_{p1}^{pi} \sum_{c1}^{cm} ec_i \quad (4)$$

Donde

e1 a en = Etapas del ciclo de vida 1 a n

p1 a pi = Procesos de 1 a i

c1 a cm = Categoría de costos de 1 a m

ec_i = Elemento de costo i – ésimo

Si el objetivo del CCV es identificar la contribución de cada etapa del ciclo de vida al CCV total, hallar los procesos críticos o las categorías de costos que mayores costos presentan, entonces la sumatoria de las etapas del ciclo de vida, de los procesos o de la categoría de costos debe excluirse de la Ecuación 4.

Empleo de otros indicadores

Si bien CCV es la evaluación económica más empleada dentro de ASCV, otros indicadores económicos pueden ser empleados para completar el análisis: ingresos, beneficios netos, precios, valor presente neto (VPN), valor agregado,

periodo de retorno, inversiones, tasa interna de retorno (TIR), contribución al PBI, riesgo, incentivos financieros o indicadores económicos adimensionales.

2.4. Interpretación de los resultados

Los resultados se interpretaron teniendo en consideración el objetivo y alcance del estudio, los supuestos y elecciones realizados durante el proceso y la calidad de los datos incluidos en el inventario.

Una buena práctica consiste en la realización de análisis de sensibilidad de las elecciones del proceso, por ejemplo de la tasa de descuento o de la modificación de la fuente de datos de inventario. Esta acción aporta a la confiabilidad de los resultados del análisis.

3. Resultados y discusión

Como caso de estudio se ha seleccionado la producción de un ladrillo conformado por cemento y plástico reciclado que es utilizado para construcción de viviendas sociales realizado por un ente estatal de la Provincia de Mendoza. El proceso analizado comienza con la recolección de residuos plásticos en puntos de recogida especialmente diseñados para este fin. A continuación el material es transportado hacia la planta donde es compactado para facilitar el almacenamiento. El proceso siguiente consiste en la trituración del plástico hasta obtener las escamas presentadas en la Figura 2a. Una vez triturado el plástico se procede a conformar la mezcla con cemento, áridos y agua y a realizar el hormigonado. La mezcla obtenida es utilizada para conformar el ladrillo (Figura 2b) con moldes especialmente diseñados. Finalmente el ladrillo debe permanecer sumergido en piletas de agua para que se realice el fraguado de la mezcla. Es importante mencionar que el proceso de fabricación de ladrillos no incluye ningún aditivo y que el plástico no requiere ser lavado.

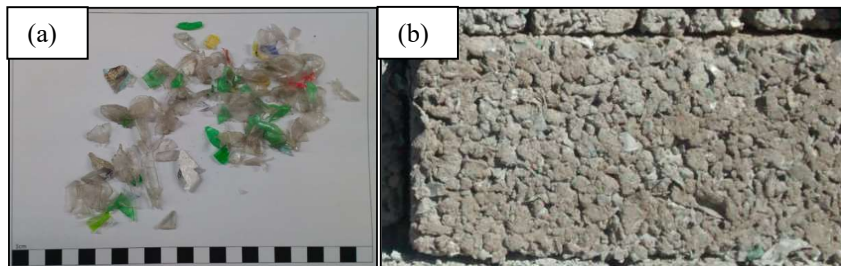


Figura 2: (a) Plástico triturado (b) Ladrillo Fuente: Elaboración propia

La razón de la selección del caso de estudio es que ya se cuenta con un ACV del mismo (Alejandrino et al., 2019). Se espera como próximos trabajos completar el ASCV mediante el análisis social faltante (S-ACV).

3.1. Definición de objetivo y alcance del análisis

Los objetivos del CCV fueron cuantificar la contribución de cada proceso y categoría de costo al costo total de un ladrillo y comparar el perfil económico obtenido con el ambiental.

Debido a que es un producto cuya etapa de uso y fin de vida no difiere de las correspondientes a otro ladrillo y a la dificultad de recolección de información en tales etapas, se tomó un alcance “de la cuna a la puerta” donde se cuantifican los impactos desde la extracción y producción de materiales, energía y recursos hasta los procesos de fabricación del producto propiamente dicho. En función del alcance se consideraron los costos erogados por el fabricante del producto e indirectamente, por los proveedores (ya que no se relevaron los costos de estos sino que se aproximaron mediante el precio de los materiales e insumos).

La Unidad Funcional utilizada para la investigación es “1 ladrillo”. En la Figura 3 se presentan los límites del sistema analizado y los flujos con el medio.

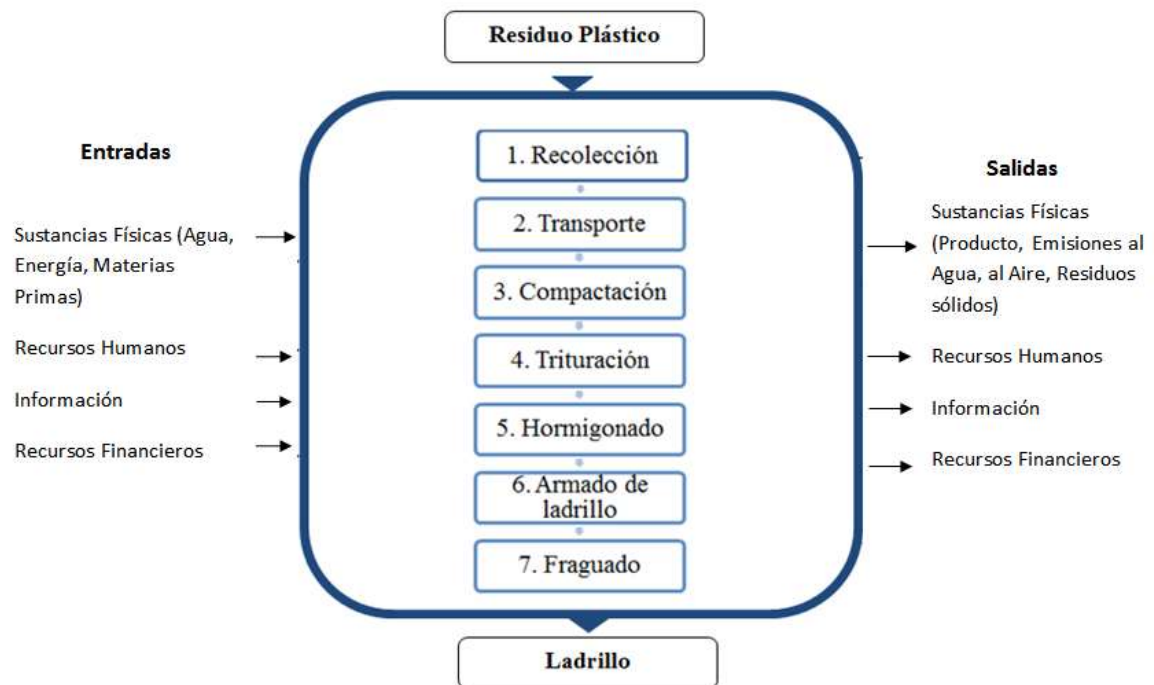


Figura 3: Límites del sistema. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Recolección de información

La determinación de los costos aguas arriba del proceso en análisis se aproximó mediante los precios de los insumos y servicios utilizados.

Para el presente caso de estudio ya se había realizado un ACV por lo que la cuantificación de entradas y salidas materiales de los procesos ya había sido obtenida. Cabe señalar que estos datos fueron adquiridos directamente de entrevistas y mediciones en la planta. Para completar el inventario de costos se utilizaron costos unitarios de cada entrada y salida. Se trabajó principalmente con datos primarios a través de consultas a proveedores, y se complementaron con datos secundarios otras organizaciones con características similares.

3.3. Agregación de costos

3.3.1. Por categoría de costo

Los costos pueden ser agregados por categoría de costo como se presenta en la Figura 4.

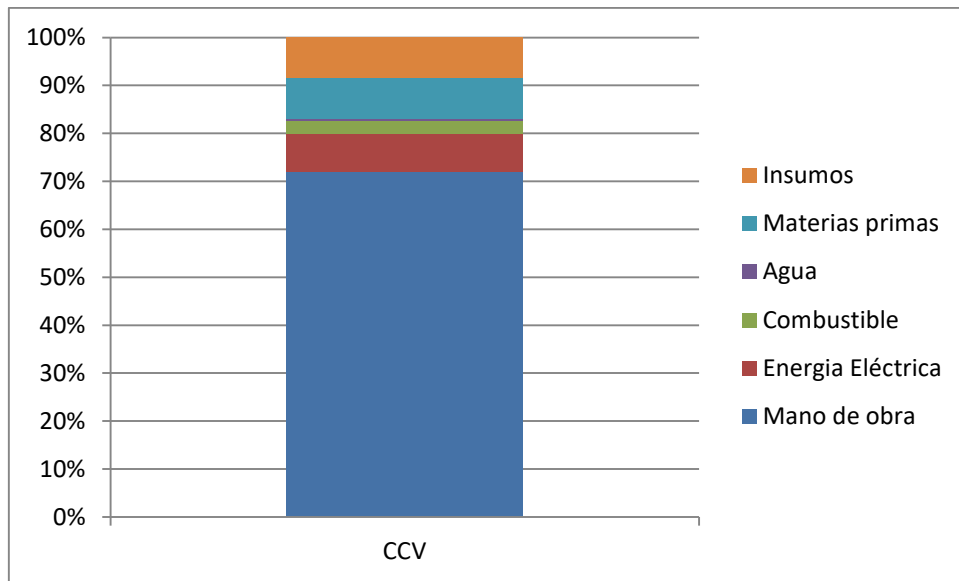


Figura 4: Contribución de categorías de costo a CCV. Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Por actividades

Se realizó una agregación de costos con el objeto de obtener los costos de cada una de las actividades indicadas en la Figura 3. Los resultados del CCV se presentan en la Figura 5 en conjunto con los de ACV correspondientes a la categoría de impacto “Potencial de Calentamiento Global”. Esta categoría fue escogida por ser una de las más difundidas y analizadas a nivel mundial, los resultados para otras categorías de impacto pueden ser consultadas en (Alejandrino et al., 2019).

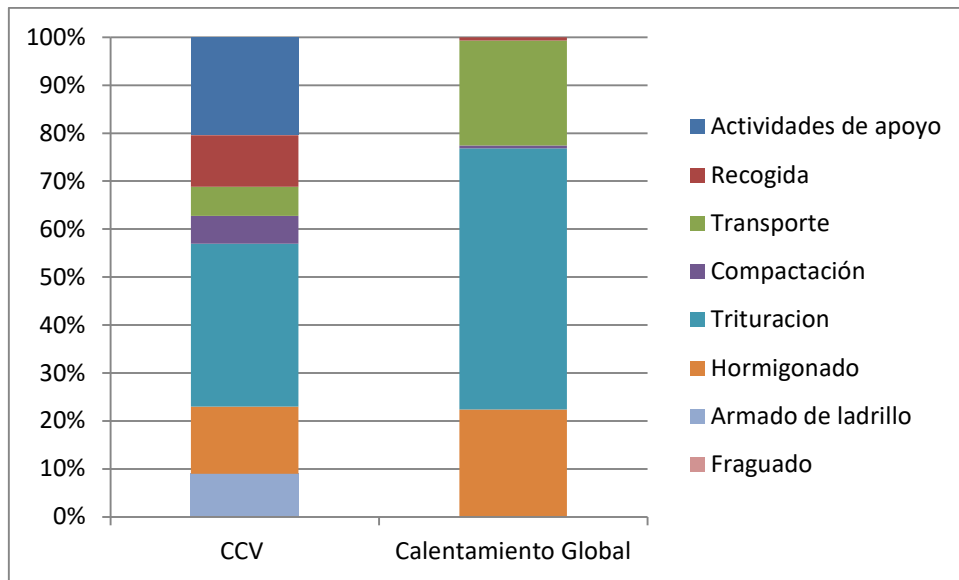


Figura 5: CCV y ACV (Calentamiento Global). Fuente: Elaboración propia

3.4. Interpretación de los resultados

Del análisis de Figura 4 se concluye que la mano de obra es la categoría con mayor influencia sobre el CCV (más del 70%). Esto se puede deber a que el producto en estudio es producido por una organización estatal donde el personal se gestiona y asigna por separado del resto de los procesos. Muchas veces por este motivo en este tipo de situaciones el personal dedicado puede estar sub-ocupado. Puede ser interesante la recomendación de acciones para mejorar el aprovechamiento del personal involucrado en el proceso.

En la Figura 6 se presentan las diferencias en los perfiles económico y ambiental del caso de estudio. En calentamiento global tres procesos son responsables de la mayor parte del impacto mientras que en CCV las cargas están más repartidas. A pesar de lo anterior se identifica al proceso de trituración como la más influyente en ambos procesos. Esta actividad debería ser considerada como prioritaria para la implementación de mejoras en el proceso.

3.4.1. Análisis de sensibilidad

Para analizar la sensibilidad de los resultados respecto a las decisiones y supuestos realizados durante el proceso se comparó el perfil de CCV obtenido con el perfil de los costos de la mano de obra. Debido a que este es el elemento que mayor incidencia tiene sobre el CCV total es importante analizar cómo se asigna ese costo a los distintos procesos. En la Figura 6 es posible comparar el perfil de los CCV de la mano de obra frente al CCV total del producto.

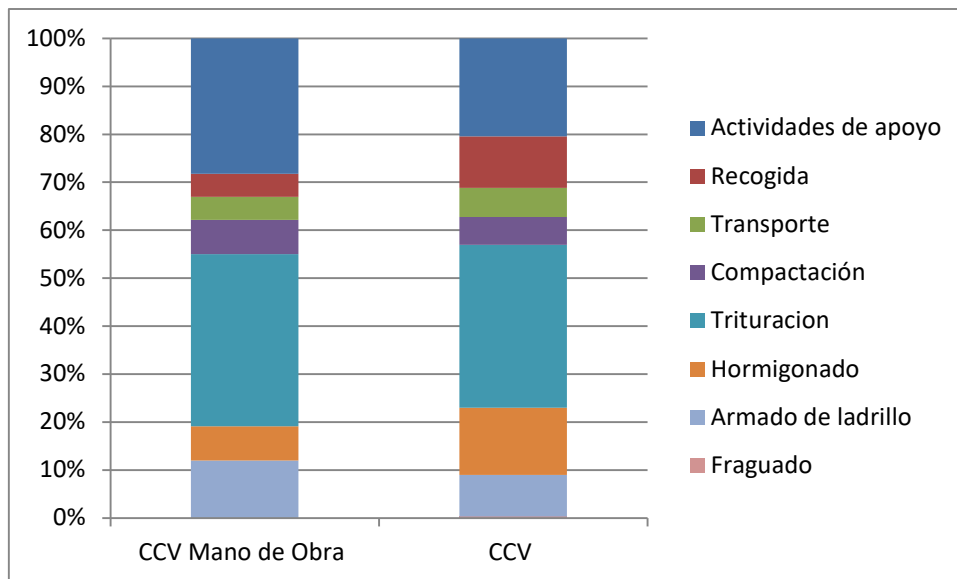


Figura 6: Análisis de sensibilidad de mano de obra. Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que ambos perfiles son similares, lo que implica que no existen diferencias apreciables cuando se incorporan todas las categorías de costo y por lo tanto los datos de inventario son aceptables. Se puede concluir que la mano de obra es la categoría de costos que define la contribución de cada etapa. En base a este resultado puede ser recomendable reforzar los datos de inventario de esta categoría de costos para mejorar su calidad y así disminuir la incertidumbre del análisis.

4. Conclusiones

La presente investigación permitió el estudio de la metodología de CCV como una parte ASCV, una herramienta de evaluación de impactos ambientales, económicos y sociales tanto positivos como negativos de un producto a lo largo de su ciclo de vida bajo un alcance determinado.

El caso de estudio permitió analizar los costos del ciclo de vida desde el punto de vista de las contribuciones de las diferentes categorías de costo así como los diferentes procesos involucrados. Además se realizó una comparativa con una categoría de impacto ambiental, el Potencial de Calentamiento Global. Como resultado se identificaron las principales contribuciones, y los puntos críticos donde la aplicación de mejoras permitiría aumentar la eficiencia del empleo de recursos. Finalmente se realizó un análisis de sensibilidad de las contribuciones de la categoría de costos con mayor influencia, la mano de obra.

Como conclusión general, el CCV es una herramienta muy útil aunque futuras investigaciones en conjunto con ACV y S-ACV son necesarias para que la evaluación sostenibilidad de ciclo de vida (ASCV) logre estandarización y consistencia.

5. Referencias bibliográficas

- Alejandrino, C., Mercante, I., Cereda, M., 2019. Perfil ambiental de ladrillo fabricado a partir de plástico reciclado, in: Libro de Actas X ENIDI. pp. 94–99. ISBN 978-950-42-0197-7
- EC, 2006. Reference Document on Cross-Media Effects. <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/economics-and-cross-media-effects>
- 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>
- Hunkeler, D., Lichtenvort, K., Rebitzer, G., 2008. Environmental life cycle costing, *Environmental Life Cycle Costing*. <https://doi.org/10.1201/9781420054736>
- Hutchins, M.J., Richter, J.S., Henry, M.L., Sutherland, J.W., 2019. Development of indicators for the social dimension of sustainability in a U . S . business context. *J. Clean. Prod.* 212, 687–697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.199>
- Iacovidou, E., Busch, J., Hahladakis, J., Ng, K.S., Herbert, B.M.J., 2017. A Parameter Selection Framework for Sustainability Assessment. *Sustain.* 9, 1497. <https://doi.org/10.3390/su9091497>
- ISO, 2006a. 14040: Environmental management–life cycle assessment—Principles and framework. *Int. Organ. Stand.*
- ISO, 2006b. ISO 14044, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, ISO 14044, International Organization for Standardization.
- Swarr, T.E., Hunkeler, D., Klöpffer, W., Pesonen, H.-L., Citroth, A., Brent, A.C., Pagan, R., 2011a. Environmental life-cycle costing: a code of practice.
- Swarr, T.E., Hunkeler, D., Klöpffer, W., Pesonen, H.L., Citroth, A., Brent, A.C., Pagan, R., 2011b. Environmental life-cycle costing: A code of practice. *Int. J. Life Cycle Assess.* <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0287-5>
- UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011. Towards a Life Cycle Sustainability Assessment. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2012/12/2011%20-%20Towards%20LCSA.pdf>
- 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>
- 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>