



Lidera:



Aliados:



MÓDULO 2.

METODOLOGÍA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

CÁMARA DE COMERCIO DE MANIZALES

2025

1. LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Tomando en cuenta la importancia de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida y sus aplicaciones específicas discutidas en el capítulo anterior, este capítulo se enfoca en la historia y la estructura de la metodología. Los ejercicios al final, introducen la primera fase de la aplicación del ACV en un caso real.

1.1 La historia de la metodología ACV

El término Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es todavía joven. El primer estudio en este terreno fue desarrollado por Coca-Cola en 1969 con el objetivo de analizar sus empaques de gaseosas. A pesar que el ACV se ha tomado en cuenta con especial atención desde el principio de los años 90, los primeros desarrollos metodológicos datan de los años 60. Los primeros trabajos de esta época se enfocaban básicamente en la demanda de energía en los sistemas productivos y fueron llevados a cabo por compañías privadas que no presentaron los resultados al público. Esta clase de estudios relacionados con la energía recibió mayor atención a partir de la crisis energética en los años 70. El término utilizado en el momento fue “Análisis de Perfil Ambiental y de Recursos” (REPA).

En Europa, los primeros estudios de comparación ecológica de productos, que en ese entonces eran llamados ecobalance, fueron realizados en 1974 en Suiza. Luego, en 1984 la agencia Suiza de Protección al Medio Ambiente publicó un boletín de ecobalance para materiales de empaque. Este estudio también presentaba una propuesta de una metodología que evaluaba las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de empaque.

Los ecobalances dan una estructura para el cálculo de los datos dentro de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV). En cada fase del ciclo de vida hay una balanza que pesa el “input” y “output” de materiales, energía, y emisiones. No todos los componentes tienen la misma unidad o contribución. Pero a través de los ecobalances se elabora una estructura para inventariar, calcular y comparar datos.

Uno de los países en donde se desarrollaron más casos de ACV fue Alemania. La fuerza generadora de esto, fue el problema de los desechos sólidos que ha venido ubicándose como uno de los centros de atención de la opinión pública desde el principio de los años 80. Por tal motivo, en esta época, las estrategias del manejo de los desechos estaban dirigidas hacia una reducción de recursos que presionaba la producción de bienes desechables como pañales, paquetes y toallas de papel. Los fabricantes, sin embargo, alegaban que no solo había que contabilizar la cantidad de desecho final, sino que también era importante tener en cuenta que la carga ambiental podría ser disminuida a través del control de los pasos intermedios de la producción durante del ciclo de vida de los productos. Los primeros casos de ACV desarrollados en Alemania, datan de 1984/85, fueron acerca de los envases de bebidas y papel higiénico.

Más de 3000 estudios fueron publicados antes de 1994. Algunas de las estadísticas sobre estos estudios se muestran en las figuras 2.1 y 2.2.

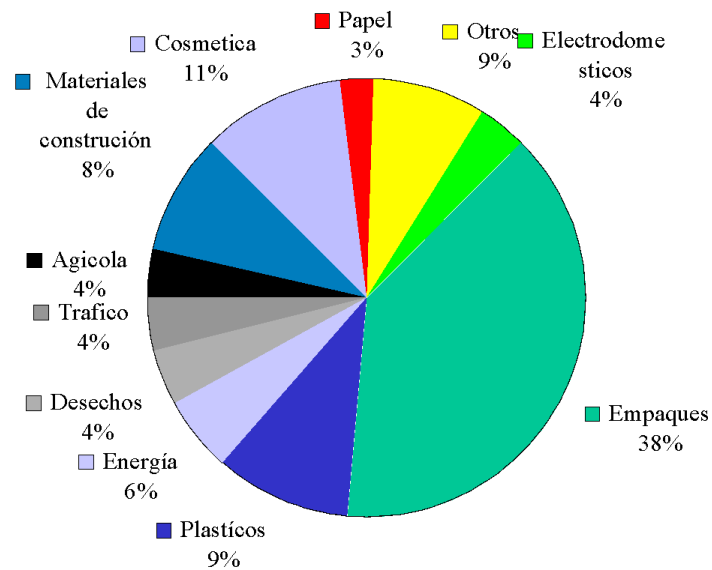


Figura2.1. Productos analizados en estudios de LCA

La figura 2 muestra el porcentaje de participación de los países en los cuales los estudios de LCA fueron iniciados.

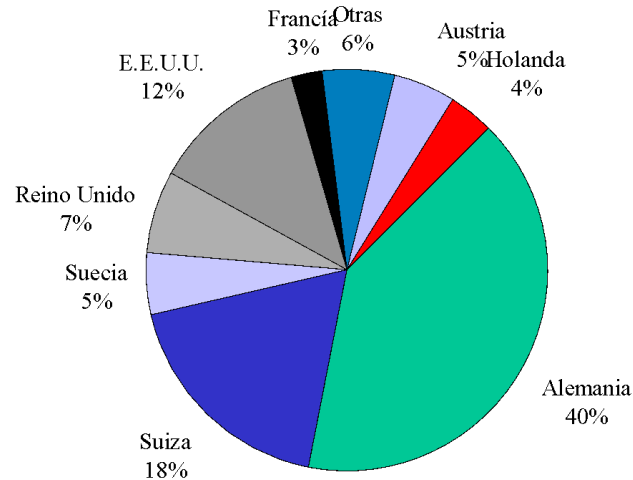


Figura 2.2 Contribución individual de cada país al número de estudios de ACV

En la segunda mitad de los años 80, el ACV se había convertido en una herramienta competitiva muy usada en las áreas de producción y mercadeo. Como resultado se llevaron a cabo varios estudios de LCA sobre las mismas áreas, pero generaron resultados contradictorios. Este evento, puso en tela de juicio la confiabilidad de la aproximación del ACV, generando una discusión intensiva sobre la metodología.

El primer taller de metodología de ACV fue iniciado por la Sociedad de Química y Toxicología Ambiental (SETAC) en Vermont (1990), seguido por un taller de esta misma organización en Leiden Holanda (1991). El LCA se consolidó en un tema de investigación en el Centrum Van Milieukunde y en las universidades. La universidad de Leiden se convirtió en una de las instituciones líderes en la metodología de ACV. Dentro de las actividades que realizó el SETAC, se puede destacar la creación de un círculo de apoyo de miembros industriales llamado SPOLD. En general, el desarrollo de la metodología ocurrió de manera paralela en diferentes países.

A continuación, se citan algunos de los documentos más importantes que proveen una contribución significativa para las discusiones metodológicas:

- **Países Nórdicos:** Product Life Cycle Assesment – Principles and Methodology [NORD 1992]
- **E.E.U.U:** Guidelines to ACV [EPA]
- **Canadá:** From Framenwork to Standard [HUSSEINI 1992]
- **Alemania:** Ökbalanzen zu Verpackungsmaterialen Ein Methodenbericht [ILV IFEU GVM 1992]

- **Holanda:** Environmental Life Cycle Assesment of Products – Guide and Backgrounds [CML 1992], Beginning LCA ; A Guide to Environmental Life Cycle Assesment [NOH 1995]

Después que se aclararon ciertos principios metodológicos, el siguiente paso fue ajustar los diferentes conceptos involucrados. Una vez más, fue el SETAC quien tomó la iniciativa para establecer reglas para el ACV aprobadas internacionalmente y de esta forma se creó el “código de práctica” en 1993 en Sessimbra (Portugal). Esto fue un incentivo importante para la Organización Internacional de Estandarización (ISO), la cual se responsabilizó, a partir de ese momento, de la generación de un consenso internacional basado en el entendimiento científico.

Luego de varios años de trabajo continuo, en mayo de 1997, el grupo 5 del comité técnico ISO/TC 207 pasó la norma ISO 14040: Análisis del Ciclo de Vida, Principios y Aplicaciones, la cual fue aprobada por 60 países. El ACV es ahora la herramienta de análisis ambiental más utilizada que posee un estándar internacional.

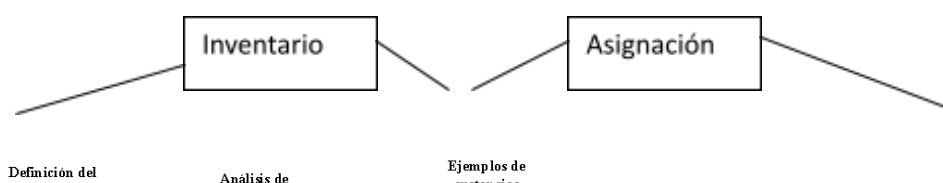
2.2 La estructura general de la metodología de ACV y el cálculo de eco-indicadores

El concepto de Análisis de Ciclo de Vida ofrece una estructura que integra todos los impactos ambientales de una industria y los relaciona con problemas ambientales específicos. Utilizando el concepto “desde la cuna hasta la tumba”, el análisis no se encuentra en los productos, procesos productivos o patrones de consumo de manera aislada, sino que estudia el sistema del producto que se amplía a todos los procesos y actividades que conforman su ciclo de vida, y su efecto sobre los problemas ambientales.

Relacionar los impactos cuantificables de los procesos y productos con problemas ambientales requiere en general determinar sus orígenes, así, se obtiene el Ciclo de Vida completo del sistema. A través del cálculo de las entradas y salidas de todos los procesos de ciclo de vida, se obtienen los impactos. Relacionar cada uno de estos impactos con los problemas ambientales definidos en la metodología, abre la posibilidad de interpretar el desempeño ambiental de la unidad analizada, de una manera relevante.

La estructura de la metodología de ACV consiste básicamente de dos partes. El inventario de ciclo de vida ("Life Cycle Inventory") en donde se calculan todos los impactos durante el ciclo de vida y el modelo de asignación ("Assessment method") en donde se relacionan los impactos con los problemas ambientales con el fin de obtener un eco-indicador. Con esta metodología de asignación se relaciona primero el impacto con un factor de contribución al problema ambiental definido en la metodología y en la segunda parte del modelo de asignación se prioriza entre los problemas ambientales. La figura 2.3 muestra el cálculo de un indicador basado en el concepto de ciclo de vida de forma esquemática.

Figura 2.3 La estructura de Análisis de Ciclo de Vida [7]



Cuando se aplica la estructura de ACV, el valor del indicador ambiental se basa en tres variables:

1. Valor específico del impacto (inventario): Estos valores se calculan o se miden por proceso específico, estableciendo las entradas y salidas.
2. Factor de contribución entre el valor del impacto y los problemas ambientales definidos (caracterización); Los problemas estándar se definen en la metodología. Los factores de contribución, se determinan con base en estudios ecológicos.
3. Prioridades entre los problemas ambientales definidos (evaluación): El valor del impacto depende de la prioridad entre los problemas. La valoración de los problemas ambientales siempre es una evaluación subjetiva.

La variable 1 se especifica por proceso. Las variables 2 y 3 están definidas en la metodología de asignación. El indicador es el resultado de la multiplicación de estas variables.

Los procedimientos para aplicar esta estructura están uniformados en el marco de la ISO 14040. Aparte de la norma ISO 14040, ya se está desarrollando un arreglo de documentos ISO que también trata cada uno de los pasos enumerados anteriormente:

- A Análisis de Ciclo de Vida - Principios y Estructura; ISO 14040; Pasada en mayo de 1997
- B Análisis de Ciclo de Vida - Análisis de Inventario; ISO Borrador de la Norma Internacional 14041
- C Análisis de Ciclo de Vida –Ejemplos y Prácticas de Análisis de Inventarios; Reporte técnico del Borrador de la Norma ISO 14041
- D Análisis del Impacto del Ciclo de Vida; Borrador del comité para la norma 14042
- E Análisis del Ciclo de Vida – Interpretación; Borrador del comité para la norma 14043

La importancia de la uniformidad en los procedimientos es necesaria para asegurar transparencia en la interpretación de los resultados finales. Un estudio de ACV se puede hacer para diferentes niveles de profundidad. Desde un “scan” global del ciclo de vida utilizando datos estándares, hasta un estudio detallado. En general un Análisis de Ciclo de Vida completa consiste de 4 pasos:

1. Definición del objetivo y alcance,
2. Inventario,
3. Cálculo de impactos,
4. Definición de mejoramientos.

En la figura 2.4 se muestra los 4 componentes de la metodología LCA.

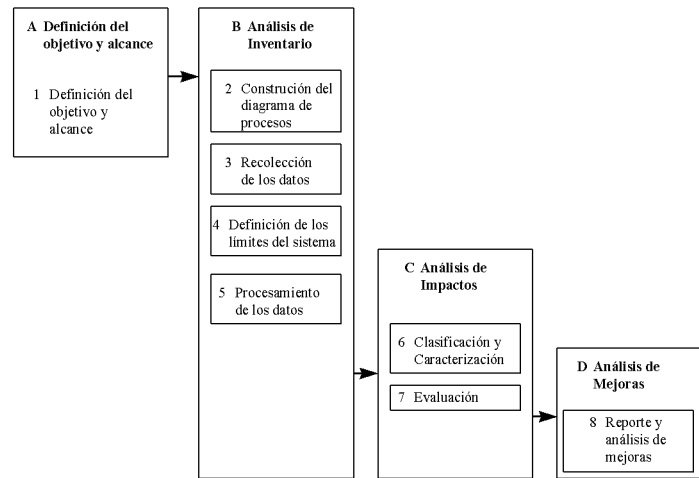


Figura 2.4 Los 4 pasos de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida

1. Objetivo y alcance del estudio: se definen el o los productos a ser analizados. Se escoge una unidad básica de comparación y se define el nivel de detalle necesario,
- 2-5. Análisis de Inventario: La energía, las materias primas utilizadas, las emisiones a la atmósfera, agua y tierra se cuantifican para cada proceso y se combinan en el diagrama de procesos,
- 6-7. Análisis de Impactos: Los efectos de la utilización de recursos y emisiones generadas se agrupan y cuantifican en un número limitado de categorías de impactos ambientales que luego serán pesadas de acuerdo con su importancia,
8. Implementación de las mejoras: Los resultados se reportan de la manera más informativa posible y las necesidades y oportunidades de reducir el impacto del o los productos en el ambiente se evalúan sistemáticamente.

2.3 Definición del objetivo y el alcance (Paso 1)

Antes de empezar un estudio de ACV es importante tener claro el motivo de por qué hacerlo. Este motivo forma la base para la definición del objetivo y el alcance del estudio. Con esta perspectiva se debe distinguir entre motivo y objetivo. El objetivo identifica “hasta donde llegar” para “satisfacer” el motivo. Algunos motivos para hacer un ACV pueden ser, por ejemplo, identificar estrategias del mejoramiento de procesos, determinar alternativas para la sustitución de un material, o definir alternativas para el manejo de desechos. El objetivo en este caso es “Determinar las prioridades ambientales durante el ciclo de vida del producto X”.

Una vez que el objetivo del ACV está claro, se define la base de cálculo durante el estudio, la **Unidad Funcional**. Todos los resultados al final del estudio van estar relacionados con esta unidad

funcional. En el caso de una comparación entre dos alternativas diferentes, la definición de la unidad funcional es un paso especialmente crítico, para llegar a obtener una comparación honesta.

Unidades funcionales típicas son por ejemplo la distribución de 1000 litros de agua mineral para envases de bebidas o 1000 secadas de manos para toallas de papel versus toallas de algodón. La Unidad funcional se define a partir de las funciones que cumple el producto. Para una definición correcta, se siguen los siguientes pasos:

- Identificación de las funciones del producto,
- Selección de una función,
- Determinación la unidad funcional,
- Identificación del desarrollo del producto,
- Determinación del flujo de referencia.

Un ejemplo de esto se muestra en la figura 2.5. En el caso de una empresa de impresiones, la unidad funcional podría ser, por ejemplo, una edición de 1000 revistas.

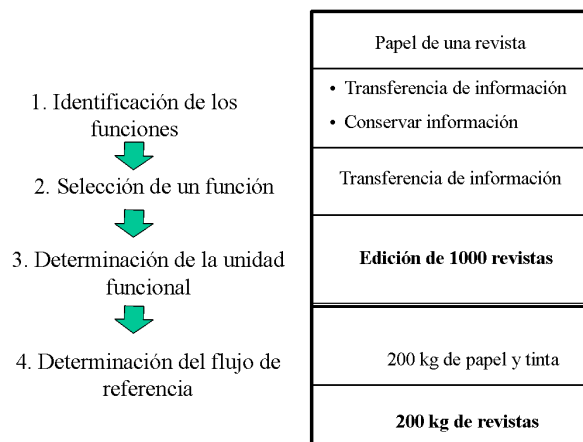


Figura 2.5 Identificación de las unidades funcionales y el flujo de referencia

La Unidad funcional es también una de las bases para la definición del alcance del ACV. En el caso de análisis de productos es importante definir claramente si los empaques o sobre empaques serán incluidos en el estudio o no. Otras fronteras importantes son las fuentes de información y el nivel de detalle de los datos a recolectar. Por definición es necesario analizar todo el sistema desde la materia prima hacia el fin de vida. Sin embargo, el sistema completo se puede considerar en 5 sub-procesos o en más de 100.

2.4 El Inventario del Ciclo de Vida (Paso 2)

El Inventario del Ciclo de Vida (LCI) es el segundo paso de un ACV, seguido por la definición de las metas y el enfoque. Básicamente, consiste en la recolección y procesamiento de datos relacionados con la producción y uso de un producto específico. Para esto, el Análisis de Inventarios debe, en primera instancia, describir y simular el modelo particular del sistema del producto, luego permitir la adquisición de los datos requeridos y los cálculos subsecuentes de las figuras de entrada y salida para el sistema en sí o para cualquier otro subsistema definido. Por lo tanto, el LCI es el núcleo del ACV. En la figura 2.6 se muestra el principio del inventario.

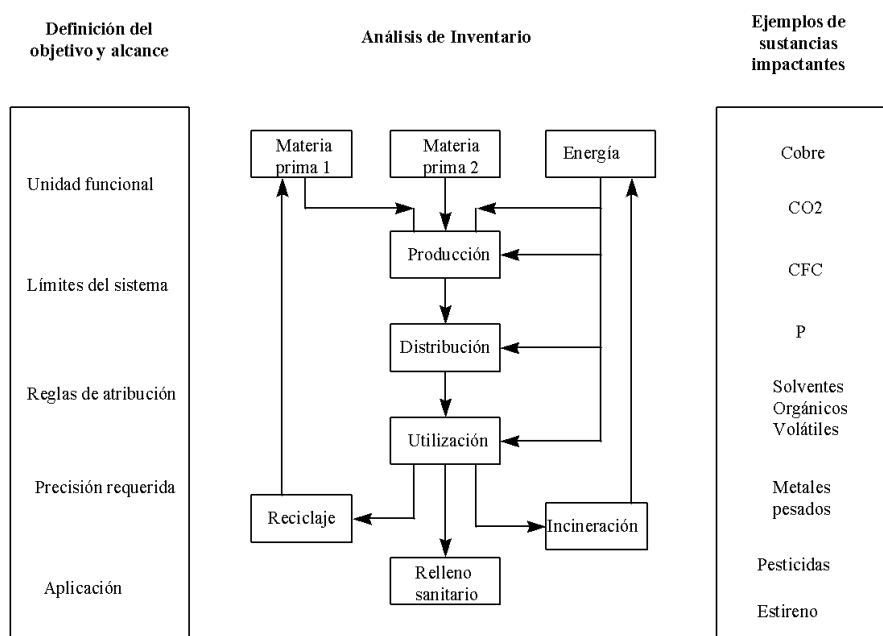


Figura 2.6 El inventario y los balances de masa [14]

El árbol de proceso es la guía para la recolección de datos. El árbol se diseña en un proceso iterativo, hasta el nivel de detalle requerido. Para cada proceso del árbol se determina cuantitativamente las entradas y salidas. El resultado final del Inventario del Ciclo de Vida es una lista completa de todos los materiales y fuentes de energía que entran y los productos, emisiones y desechos que salen del sistema del producto analizado. En el capítulo 3 de este documento se explica con mayor profundidad este paso considerado como uno de los factores más importantes para la calidad de los resultados finales.

2.5 La Asignación de datos o Análisis de impactos (Paso 3)

El propósito de la fase de la asignación es “traducir” los diferentes impactos (emisiones, materias primas, energía) calculados en la fase del inventario, en un(os) eco-indicador(es) integral(es). Por este fin es necesario calcular el efecto que tienen estos impactos sobre los problemas ambientales.

La interpretación de los impactos ambientales hace indispensable la clasificación de los problemas para obtener una unidad de expresión de los impactos, sin embargo, cualquier clasificación de los problemas es un limitante. La crisis ambiental está conformada por diferentes problemas ambientales todos interrelacionados. Bajo este punto de vista la interpretación correcta de los problemas ambientales se hace de manera holística. Bajo esta perspectiva el propósito de la metodología de ACV es buscar la mejor aproximación a la realidad. La figura 2.7 muestra el principio de la caracterización en los problemas definidos de la metodología de CLM en Leiden, Holanda.

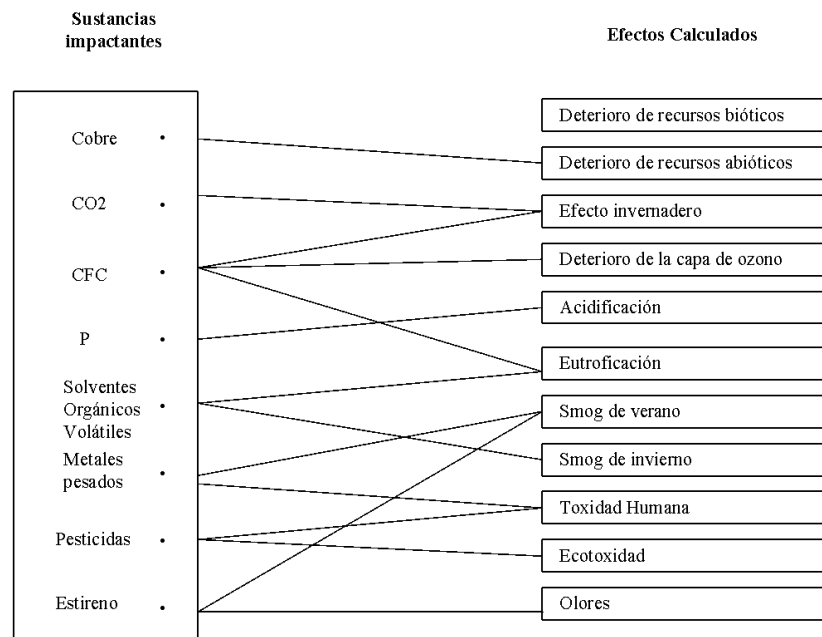


Figura 2.7 Estructura de la caracterización y los problemas estándar [12]

Para llegar, de estas 11 categorías (problemas ambientales) propuestas, a un indicador “one-score” se aplica una evaluación, por paneles de expertos, para determinar la importancia de las categorías supuestas. Es allí donde se centran las críticas a los diferentes modelos de “one-score” por ser modelos de carácter subjetivo. Existen diferentes modelos reconocidos para la asignación de datos para diferentes categorías. Uno de los más utilizados es de CML de la Universidad de Leiden Holanda al lado de modelos desarrollados en Alemania, Suiza, Dinamarca. En Colombia el modelo más utilizado es el de PRE consultancy de Holanda (<http://www.pre.nl>) quienes desarrollaron un

modelo para un eco-indicador “one-score” basado en la metodología de CML. En el capítulo 5 de este documento se discute este modelo más detalladamente y se muestran los primeros desarrollos de un modelo colombiano.

Por su carácter complejo y específico, los diferentes modelos de asignación se trabajan con software especializado. Es por esto que para la mayoría de los practicantes del ACV este paso de la asignación es como una caja negra.

2.6 La Interpretación de los resultados (Paso 4)

El paso de interpretación compila toda la información obtenida en los pasos anteriores del ACV para formar un juicio final. El resultado del ACV solamente ofrece un apoyo a la decisión, y es, por lo tanto, parte del proceso de toma de decisiones, adicionalmente podría ser necesario utilizar otra herramienta ambiental. Por supuesto, todos los aspectos no ambientales (sociales, económicos, etc.) también deben ser considerados como parte del proceso de toma de decisiones.

La interpretación debe ser consistente con las metas y el alcance propuesto y con los resultados obtenidos. La validez de los datos usados debe ser verificada, lo cual incluye al menos el conocimiento sobre la exactitud y la calidad de la base de datos. Los hallazgos en la fase de interpretación deben reflejar el resultado de cualquier análisis de sensibilidad e incertidumbre que este implementado. Los resultados deben también tomar en consideración que:

- La naturaleza de las selecciones y supuestos hechos es subjetiva. Las conclusiones deben ser enmarcadas con respecto a los límites establecidos para el sistema, la fuente de datos seleccionada y las categorías de impacto escogidas.
- Los resultados del ACV muestran impactos potenciales.
- La precisión y confiabilidad de los resultados están afectadas por la calidad de los datos utilizados. (ausencia de datos, agregación, promedios, referencias regionales.)
- El tiempo y el alcance del estudio dependen del personal y los recursos financieros disponibles.
- La misma interpretación incluye pasos de valoración y estos introducen criterios subjetivos y no científicos.