

# La relevancia del Análisis del Ciclo de Vida de los Sistemas Energéticos, para la Sostenibilidad

## The relevance of life cycle assessment of energy systems for sustainability

**Benigno A. Rodríguez-Gómez**

Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de A Coruña, Coruña, España

Autor de contacto: [benigno@udc.es](mailto:benigno@udc.es)

Vol. 02, Issue 02 (2023): December  
Special Issue:  
Energy efficiency and sustainability  
ISSN 2953-6634  
Submitted: November 12, 2023  
Revised: December 07, 2023  
Accepted: December 12, 2023

Engineering and Applied  
Sciences in Industry  
University of Guayaquil. Ecuador  
Frequency/Year: 2  
Web:  
[revistas.ug.edu.ec/index.php/easi](http://revistas.ug.edu.ec/index.php/easi)  
Email:  
[easi-publication.industrial@ug.edu.ec](mailto:easi-publication.industrial@ug.edu.ec)

How to cite this article:

Rodríguez-Gómez, B. (2023). La relevancia del Análisis del Ciclo de Vida de los Sistemas Energéticos, para la Sostenibilidad. *EASI: Engineering and Applied Sciences in Industry*, 2(2), 1-5.  
<https://doi.org/10.53591/easi.v2i2.2566>

Articles in journal repositories are freely open in digital form. Authors can reproduce and distribute the work on any non-commercial site and grant the journal the right of first publication with the work simultaneously licensed under a CC BY-NC-ND 4.0.

Desde que, en 1987, las Naciones Unidas publicaron el informe Our Common Future, popularizado como Informe Brundtland han transcurrido 36 años, durante los que se han ido adoptando diferentes acuerdos y tratados internacionales, con la intención de reconducir al planeta a un estado de Sostenibilidad, que todavía semeja seguir formando parte del horizonte de lo alcanzable, pero al que parece que no nos aproximamos lo suficiente, al menos con la premura que institucionalmente se proclama (Choy, 2015).

Entre los principales, acuerdos adoptados, en busca de soluciones, podemos hacer memoria de:

1. Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), establecido en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, para establecer una cooperación internacional contra el cambio climático.
2. Protocolo de Kioto (1997), que enunció los objetivos para la reducción de gases de efecto invernadero, con carácter legalmente vinculante.
3. Acuerdo de Copenhague (2009), de carácter político llegó a proponer la limitación del calentamiento global a menos de 2° Celsius sobre los niveles preindustriales, pero sin fijar un horizonte temporal de cumplimiento.
4. Acuerdo de Cancún (2010), estableció el Fondo Verde para el Clima con el fin de facilitar la financiación de programas de mitigación y adaptación al cambio climático en países en desarrollo.
5. Acuerdo de París (2015), busca mejorar el Acuerdo de Copenhague intentando llegar a una reducción de 1.5°C, con el valor adicional de ser legalmente vinculante.
6. Objetivo 13 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015), enunciado como Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, supone un compromiso global, aunque no tiene rango de acuerdo.
7. *Acuerdo de Kigali* (2016), enmienda el Protocolo de Montreal de 1987, incidiendo en la reducción superior al 80% de la producción y consumo de los hidrofluorocarbonos antes del 2050, buscando tecnologías alternativas de refrigeración y aire acondicionado.
8. Esquema de compensación y reducción de carbono para la aviación (CORSIA) (2016), centrado en compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación internacional.
9. Estrategia para combatir el cambio climático en el sector marítimo (2018), adoptado por la Organización Marítima internacional con el propósito de reducir los gases de efecto invernadero originados por el transporte marítimo internacional. Posteriormente en 2023, la estrategia se ha revisado con el compromiso de adoptar combustibles alternativos con emisiones nulas o casi nulas de gases de efecto invernadero de aquí al 2050, con puntos de control indicativos en 2030 y 2040.

La práctica totalidad de estos acuerdos ha causado en muchas personas e instituciones una sensación de fracaso, por falta de ambición en su planteamiento, o por su reiterado incumplimiento; pero también es necesario reconocer, que han impulsado cambios positivos en distintos niveles. Un elevado número de países ha actualizado su legislación, promulgando leyes de protección del medioambiente y la biodiversidad, la población ha adquirido un mayor nivel de

concienciación, que en algunos casos ha tenido reflejo en los hábitos de consumo, activando de esta forma la inversión privada en desarrollo sostenible. De forma tangible, se ha avanzado en implantación de energías renovables, así como en tecnologías y medidas de eficiencia energética.

Sin embargo, no se ha conseguido una reacción tan rápida y eficaz que haya sido capaz de impedir la llegada a una situación de emergencia climática, en la que ya se observan serios impactos en algunos ecosistemas por el aumento de temperaturas, se incrementa la frecuencia de los eventos climáticos extremos y con ellos aumentan las pérdidas de bienes y de vidas humanas, la biodiversidad se ve amenazada y como consecuencia de todo ello, los daños económicos y sociales se van incrementando.

Todo lo anterior refleja una especial preocupación por incidir sobre el eje ambiental de la sostenibilidad; pero la preocupación por el medio ambiente, no puede ser óbice para atender el eje social, y considerar que tampoco habrá sostenibilidad mientras no haya:

- equidad y justicia social garantizando el acceso de la población mundial a los recursos básicos y a los servicios esenciales,
- respeto a los derechos humanos fundamentales,
- inclusión y participación en la toma de decisiones,
- prevención de las enfermedades y promoción de estilos de vida saludables,
- reducción de la pobreza preferentemente mediante la creación de empleos dignos, y educación de calidad.

En cuanto al eje económico, es necesario tener en cuenta que la situación actual es heredera de forma evolucionada de la Revolución Industrial (RI), que se ha ido extendiendo globalmente pero no de forma simultánea, ni al mismo ritmo por todo el planeta. Gracias a la RI se consiguió:

- la mejora en la producción de alimentos que fue fundamental en el combate de las hambrunas (aunque sigan existiendo),
- los bienes de consumo se han vuelto más asequibles,
- avances en la higiene y la atención médica, reduciendo la tasa de mortalidad y mejorando la salud general,
- mejoras en la construcción de viviendas, infraestructuras y servicios públicos, demandando trabajadores más capacitados, incidiendo en la expansión de la educación en todos sus niveles, y facilitando la distribución de bienes.

Es necesario reconocer que no todo son luces. en la RI también abundan las sombras:

- en su etapa inicial, la explotación laboral fue exacerbada y la desigualdad económica creada era de dimensiones monumentales creando un escenario de fuerte conflictividad laboral,
- la migración del rural a lo urbano conllevó el hacinamiento en zonas con condiciones insalubres carentes de infraestructura básica, consecuencia de lo cual se produjo la propagación epidémica de enfermedades con una alta tasa de mortalidad,
- se crearon nuevos empleos, pero se originó la desaparición de muchos otros de corte artesanal que habían tenido históricamente mayor estabilidad que los que se estaban creando,
- se produjo una incipiente desconexión entre persona y naturaleza, no se puso límites a la explotación de recursos naturales, ni a la contaminación de los suelos, el agua y el aire.

Ya en la segunda mitad del siglo XX, en muchos países desarrollados se abordó la reducción de la brecha económica mediante políticas de bienestar social, al mismo tiempo que se iba generalizando la globalización, lo que contribuyó al crecimiento económico de algunos lugares, pero también a la deslocalización del empleo y a la disminución de salarios, mientras se vuelve a producir un nuevo aumento de concentración de la riqueza en las élites, que se ven menos afectadas por las crisis económicas. Esta realidad varía entre las diversas regiones del planeta, e incluso entre países dentro de la misma región.

Por todo lo anterior, aunque la economía parece regir el destino de los pueblos, para que este eje no incida negativamente en la sostenibilidad, se debe afrontar:

- la desigualdad en la distribución de la riqueza y de los recursos,
- el crecimiento continuo del consumo que es la base del modelo actual, despreciando la sobreexplotación de los recursos naturales, la RI ha supuesto el reino de los combustibles fósiles como fuente principal de energía, que por su forma de obtención y transformación tecnológica eran un elemento barato con el que crear valor añadido,
- la afectación de los ecosistemas con la pérdida de biodiversidad consecuencia de la sobreexplotación y la contaminación, que suponen un costo oculto y acaban afectando negativamente a la economía a largo plazo,

- y posiblemente el más difícil de los retos sea encarar la cooperación internacional para abordar el conjunto de desafíos globales.

Con esta visión panorámica cabe preguntarse ¿es realmente alcanzable la sostenibilidad? En lo que concierne al medioambiente, la sociedad agraria anterior a la RI presentaba una relación más armoniosa con la naturaleza, sin embargo, en lo económico y lo social, la realidad era peor para el ser humano, al menos en números relativos a la población mundial.

En la literatura han proliferado las expresiones de sostenibilidad ambiental, sostenibilidad social, sostenibilidad económica, e incluso otras sostenibilidades; pero la realidad es que la Sostenibilidad es una sola (Bermejo, 2014), y si cualquier eje falla, el estado de sostenibilidad no se da para el ser humano. Hoy en día, existen algunas tendencias eco centristas minoritarias que plantean la Sostenibilidad planetaria como algo que necesita prescindir de la especie humana, por ser la que tiene capacidad de interferir en la totalidad de ecosistemas, y por tanto la solución sería su desaparición o una amplia reducción de esta especie para la supervivencia de las demás, así como la adopción de un sistema de vida similar al de la Edad Media, o como mucho haciendo uso exclusivo de recursos renovables.

Colectivos menos radicales consideran que existe un espacio operativo seguro para la Humanidad, en el que se pueden satisfacer las necesidades básicas de los individuos sin provocar la destrucción medioambiental planetaria. Una de las condiciones para ello, es admitir que el crecimiento no puede ser ilimitado porque los recursos son limitados y la capacidad regenerativa de la naturaleza también lo es.

Esta capacidad regenerativa tiene su base en que los flujos de materia, en la biosfera, siguen un ciclo cerrado, mientras que el ciclo de la energía es abierto. El planeta capta y emite energía de forma radiativa, y es precisamente el flujo energético que permite la circularidad de los procesos de transformación de la materia.

Mientras las sociedades agrarias, anteriores a la RI, ejercitaban sus labores de cultivo y manejo de la tierra de una forma compatible con la circularidad natural, tras la RI y a medida que fue evolucionando en sus sucesivas etapas, la circularidad se rompió, y se creó de hecho lo que se conoce como modelo de economía lineal, en el que hay una producción masiva basada en la extracción de recursos naturales, su transformación, puesta en el mercado, uso y abandono en forma de residuos.

Para que este modelo resultase sostenible, sería necesario que se cumpliesen al menos dos premisas:

1. Los recursos naturales resultan inagotables, porque dada la cantidad existente su consumo no reduce significativamente su existencia.
2. Todo tipo de elemento residual, incluyendo el propio producto al finalizar su vida útil, resulta inerte, no interacciona con el ecosistema, y es almacenable o desintegrable.

Ninguna de las dos premisas se cumple, en general, y el incumplimiento de cualquiera de ellas hace que el proceso sea insostenible, por lo que en algún momento tendrá fin, de forma voluntaria o involuntaria.

La solución propuesta es recuperar la circularidad de la economía, para que los residuos se transformen, en la medida de lo posible, en nuevas materias primas, reduciendo la necesidad de extracción de recursos naturales. Adoptar este tipo de economía es indispensable para lograr un modelo sostenible, pero no está libre de inconvenientes. En general, la reconversión del residuo en materia prima puede tener mayor costo que la extracción de esta última, salvo cuando ya se esté agotando o se trate de un recurso estratégico de alto costo.

Circularizar la economía es necesario, pero no es suficiente para garantizar la sostenibilidad ya que también se han de analizar los impactos que causan los procesos de transformación (entre los que incluimos el transporte), en los ejes ambiental, social y económico. Una de las formas en que esto se puede llevar a cabo es mediante la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), si bien el ACV está pensado para ser enfocado en la dimensión ambiental, también es extensible a las otras dimensiones.

Se entiende el Ciclo de Vida de un producto como el conjunto de etapas consecutivas y relacionadas entre sí que comienza en la adquisición de materias primas y finaliza con su eliminación. Este último paso puede ser por gestión del residuo, por reciclado o por ambas vías.

El ACV es un proceso para evaluar las cargas medioambientales asociadas a un producto, proceso o actividad mediante la identificación y cuantificación de la energía, los materiales utilizados y los residuos liberados al medio ambiente; para evaluar el impacto de esos usos y liberaciones de energía y materiales en el medio ambiente; y para identificar y evaluar las oportunidades de afectar a las mejoras medioambientales. La evaluación incluye todo el ciclo de vida del producto, proceso o actividad, abarcando la extracción y procesamiento de materias primas; la fabricación transporte y distribución; uso, reutilización, mantenimiento; reciclado y eliminación final (SETAC, 1991).

Una descripción general del ACV se encuentra recogida en la norma ISO 14040:2006, (Organización Internacional de Normalización, 2006) y su aplicación consta de cuatro fases:

1. Definición de objetivo y alcance
2. El análisis de inventario
3. La evaluación del impacto

#### 4. La interpretación

La fase tres puede no llevarse a cabo y en ese caso el proceso restringido pasa a denominarse como Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (AICV).

La fase 1 es crítica puesto que es donde se han de establecer no solo los objetivos del estudio sino también la extensión, profundidad y nivel de detalle del estudio. En el objetivo se hará referencia a: la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio, el público al que se comunicarán los resultados, y si se prevé utilizar esto para realizar comparaciones y divulgarlas públicamente. El alcance tendrá en cuenta, entre otras cosas cual es la unidad funcional a la que se refiere el estudio.

En la fase 2 se lleva a cabo la recopilación de los datos técnicos que permiten cuantificar, el consumo energía, materias primas, las entradas auxiliares, y todas las emisiones al medio natural.

En caso de realizar la fase 3, en ella se seleccionan las categorías de impacto, se realiza la clasificación, caracterizarán y analizarán los efectos de las cargas medioambientales identificadas en la fase anterior. Se desglosa en tres etapas: clasificación, caracterización con cálculo de indicadores y ponderación.

La fase 4, supone la presentación comprensible de los resultados obtenidos para identificar las posibles áreas de mejora.

No hay una metodología exclusiva para aplicar el ACV, una posible forma de llevarlo a cabo es siguiendo el conjunto de normas ISO de la familia 14040:

- ISO 14041: necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio y para realizar el informe del análisis del inventario del ciclo de vida
- ISO 14042: guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto, AICV
- ISO 14043: recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un AICV.

El ACV es una técnica compleja, que requiere de programas específicos para su aplicación, así como el acceso a bases de datos de Inventario de Ciclo de Vida. En sus orígenes el ACV se orientó únicamente hacia el eje ambiental, y sigue siendo esta su principal aplicación, sin embargo, se habla de ACV extendido, cuando además se añaden los ejes social y económico.

El ACV puede aplicarse a cualquier producto, proceso o actividad, y como ya se ha establecido previamente siempre existirá necesariamente un flujo de energía, por tanto, uno de los procesos a los que se puede aplicar el ACV y además es muy conveniente hacerlo es a la generación de energía. El ACV nos permite comparar sistemas distintos para ver cuál es el más adecuado según el fin y las circunstancias.

Es ampliamente aceptado que los sistemas basados en combustibles fósiles tienen un gran impacto sobre el medioambiente, especialmente relacionado con el cambio climático, y por el contrario apenas se atribuye impacto alguno a los sistemas de energías renovables salvo el impacto visual que causan los parques eólicos con elementos de gran tamaño, o los campos fotovoltaicos de gran extensión. Generalmente este tipo de energía se etiqueta como “verde” o “limpia”, dando a entender su ausencia de impacto y esto se suele aceptar sin ningún cuestionamiento crítico.

Ha de tenerse en cuenta que no sólo se ha de evaluar el recurso energético, sino todo el sistema necesario para la transformación de energía primaria en energía final. El ACV realizado “de la cuna a la tumba” tiene en cuenta todos los elementos y por tanto permite obtener una visión objetiva de que ventajas e inconvenientes ambientales presenta un sistema frente a otro.

Como caso de este tipo de aplicación, ACODEA (2021) publicó los IMPACTOS AMBIENTALES DE LA ELECTRICIDAD EN ESPAÑA EN 2020, usando la metodología del ciclo de vida, en la cual se evaluaba el impacto del conjunto de las 14 tecnologías que componen el mix eléctrico, frente a un total de 28 categorías de impacto recomendadas por la guía International Reference Life Cycle Data System (ILCD) (European Commission, 2010), desarrollada por la Comisión Europea, que permite desplegar la información de Inventario desarrollada a través del ACV y transformarla en unos impactos ambientales reconocibles y de especial interés en el ámbito europeo. En este estudio se comparan la evolución de los impactos del mix energético entre los años 2018, 2019 y 2020, lo que permite saber qué tipo de impactos están teniendo más incidencia, cuales son las tecnologías que los están causando principalmente, cual ha sido la efectividad de las medidas tomadas en años anteriores y cuáles las políticas a desarrollar.

Un ejemplo más simple que puede ilustrar lo que puede evidenciar el ACV, lo encontramos en *Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica: Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica*, publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE,1999). Tal como indica el título fueron comparadas 8 tecnologías de generación: centrales térmicas de lignito, petróleo y carbón, centrales nucleares, solar fotovoltaica, gas natural, eólica y minihidráulica. En esta lista, se han presentado de mayor a menor impacto global, pero la información del ACV, es mucho más amplia, al tener en cuenta, las 13 categorías de impacto consideradas: calentamiento global, disminución de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, metales pesados, sustancias

cancerígenas, niebla de invierno, niebla fotoquímica, radiaciones ionizantes, residuos no radiactivos, residuos radiactivos y agotamiento de los recursos energéticos. Algunos resultados son los siguientes:

- La energía de origen fotovoltaico superaba en impacto, en la categoría de metales pesados: al lignito, a la nuclear, al gas natural, a la eólica y a la minihidráulica. En las categorías de acidificación, sustancias cancerígenas, niebla de invierno y en residuos no radiactivos; superaba a las mismas tecnologías salvo al lignito. Además, en la categoría de residuos no radiactivo su impacto era mayor que el del petróleo. Y en la categoría de residuos radiactivos solo era superada por la nuclear.
- La energía nuclear superaba en impacto a todas las demás en las categorías de radiaciones ionizantes, residuos radiactivos y agotamiento de recursos energéticos; pero no en el resto de categorías.
- La minihidráulica, presentaba el menor impacto en todas las categorías, salvo en residuos no radiactivos donde superaba a la eólica y a la nuclear. Y la siguiente tecnología de menor impacto, la eólica también presentaba menos impactos que las demás (excluida la minihidráulica) salvo en la categoría de residuos radiactivos, donde el gas natural presentaba un ligero mejor comportamiento.
- Otros muchos resultados, se derivan de este análisis.

Debe tenerse en cuenta que, estos resultados se referían al mix español en una localización temporal determinada, y que una evaluación posterior puede poner de manifiesto otra realidad, entre otras cosas debido al avance tecnológico, al origen geográfico de los recursos, o a otras causas.

### ***Declaración de Conflicto de Intereses***

No se declara ningún conflicto de intereses.

### **REFERENCIAS**

- Choy, Y. K. (2015). 28 years into “Our Common Future”: sustainable development in the post-Brundtland world. *WIT Transactions on The Built Environment*, 168, 1197-1211. Recuperado de <https://acortar.link/7GM513>.
- Bermejo, R. (2014). *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. Hegoa. Recuperado de <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0686956.pdf>
- SETAC, Fava, J. A., & Society of Environmental Toxicology and Chemistry. (1991). *A Technical Framework for Life-Cycle Assessment*. Workshop report from the Smugglers Notch, August 18-23, 1990. Vermont, USA.
- Organización Internacional de Normalización (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)*. Recuperado de <https://plataforma-aenormas-aenor-com.accedys.udc.es/pdf/UNE/N0038060>.
- ACODEA (2021). Impactos ambientales de la electricidad en España en 2020. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de [https://acodea.es/wp-content/uploads/2022/12/Actividad-4-Informe\\_Mix\\_electrico\\_Espana-2020.pdf](https://acodea.es/wp-content/uploads/2022/12/Actividad-4-Informe_Mix_electrico_Espana-2020.pdf).
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (2010). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Nomenclature and other conventions*. Luxembourg. Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://acortar.link/qeWg00>.
- IDAE (1999). *Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica: Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica*. Madrid-España.