

METODOLOGÍA PARA LA INNOVACIÓN SOSTENIBLE DE APLICACIÓN A PYMES



Programa de doctorado:

Ingeniería de Materiales y de Procesos Sostenibles

Director:

Victoria Laura Barrio

Alumno:

Rubén Carnerero

Bilbao, noviembre 2019

Índice de Contenido

| | |
|--|-----|
| 1. ANTECEDENTES CLAVE | 8 |
| 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS..... | 10 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 12 |
| 4. LCA. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE PRODUCTO DESDE LA PERSPECTIVA AMBIENTAL | 13 |
| 4.1. El porqué del LCA de producto | 13 |
| 4.2. Proceso general de desarrollo de un LCA | 15 |
| 4.3. Metodología LCA..... | 16 |
| 4.4. Limitaciones del LCA..... | 32 |
| 4.5. Evolución de la metodología del LCA | 33 |
| 4.6. Acceso a la información..... | 37 |
| 4.7. Adaptación del LCA a la PYME..... | 40 |
| 4.8. Aplicación del LCA para PYMEs a un caso práctico | 44 |
| 5. LCC. ANÁLISIS DE COSTES DE CICLO DE VIDA DE PRODUCTO | 52 |
| 5.1. El porqué del LCC de producto..... | 52 |
| 5.2. Generalidades del LCC | 54 |
| 5.3. Descripción del LCC y su vinculación con el LCA | 56 |
| 5.4. Estado del arte de la aplicación de las metodologías LCC. LCCA..... | 58 |
| 5.5. LCC vs ELCC | 70 |
| 5.6. Proceso general de desarrollo de un ELCC | 72 |
| 5.7. Adaptación del LCC (ELCC) a la PYME | 81 |
| 5.8. Aplicación del LCC (ELCC) para PYMEs a un caso práctico..... | 85 |
| 6. S-LCA. ANÁLISIS SOCIAL DE CICLO DE VIDA DE PRODUCTO..... | 86 |
| 6.1. El porqué del S-LCA de producto..... | 86 |
| 6.2. Generalidades del S-LCA | 89 |
| 6.3. Puntos en común y diferencias con respecto al LCA..... | 91 |
| 6.4. Similitudes y diferencias con respecto al LCA. Evaluación de impactos sociales ... | 93 |
| 6.5. Estado del arte de categorías, subcategorías e indicadores sociales..... | 96 |
| 6.6. Propuesta de un marco integrado para cubrir problemas sociales en S-LCA | 108 |
| 6.7. Adaptación del S-LCA a la PYME | 110 |
| 7. LCSA. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DE CICLO DE VIDA DE PRODUCTO. PERSPECTIVA GLOBAL | 121 |
| 7.1. El porqué del LCSA de producto..... | 121 |
| 7.2. Generalidades del LCSA | 122 |
| 7.3. Metodología para el desarrollo del LCSA | 124 |
| 7.4. Perspectiva del consumidor | 129 |
| 7.5. Adaptación del LCSA a la PYME..... | 131 |
| 7.6. Aplicación del LCSA para PYMEs a un caso práctico..... | 141 |
| 8. LCSAi. INNOVACIÓN APLICADA A LA SOSTENIBILIDAD DEL CICLO DE VIDA DE PRODUCTO | 148 |
| 8.1. El porqué del LCSAi de producto..... | 148 |
| 8.2. Generalidades de la Ecoinnovación..... | 149 |
| 8.3. PASOS PARA LA IMPLEMENTACION DE LA ECOINNOVACIÓN..... | 154 |

| | |
|---|-----|
| 8.4. Adaptación del LCSAi a la PYME..... | 186 |
| 8.5. Aplicación del LCSAi para PYMEs a un caso práctico | 204 |
| 9. CONCLUSIONES..... | 206 |
| 10. Líneas futuras de desarrollo de la metodología | 208 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA | 210 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Esquema general de la tesis..... | 12 |
| Ilustración 2. Ubicación del LCA en el esquema general metodológico. | 13 |
| Ilustración 3. Enfoque Life Cycle Thinking..... | 15 |
| Ilustración 4. Esquema de una LCA según la norma ISO 14040..... | 17 |
| Ilustración 5. Procedimiento de asignación de cargas..... | 19 |
| Ilustración 6. Esquema conceptual de la aplicación del LCIA según ISO 14040..... | 25 |
| Ilustración 7. Esquemática de las relaciones entre intervenciones ambientales, impactos “midpoint”, impactos “endpoint” y áreas de protección (Udo de Haes y col., 1999b) | 26 |
| Ilustración 8. Categorías midpoint recomendadas por el ILCD Handbook..... | 26 |
| Ilustración 9. Metodologías y categorías de impacto ambiental endpoint..... | 27 |
| Ilustración 10. Software para la realización de evaluaciones ambientales..... | 29 |
| Ilustración 11. Representación esquemática de ciclo de vida de productos, mostrando cómo los materiales, la energía y el uso de recursos son consumidos y los impactos ambientales que causan sus emisiones y el uso de recursos | 30 |
| Ilustración 12. Resumen general de esquemas de revisión para los principales casos de estudios LCA..... | 31 |
| Ilustración 13. Relación del ILCD Handbook con la aplicación del concepto del ciclo de vida en diferentes áreas y sectores..... | 33 |
| Ilustración 14. Esquema documental del manual ILCD..... | 34 |
| Ilustración 15. Imagen de la web TSC | 36 |
| Ilustración 16. Esquema para la gestión progresiva del LCI para un LCA de una PYME..... | 41 |
| Ilustración 17. Indicadores LCA para PYME..... | 44 |
| Ilustración 18. Ubicación del LCC en el esquema general metodológico..... | 52 |
| Ilustración 19. Visión actual de los costes por parte de las organizaciones | 54 |
| Ilustración 20. Diagrama de flujo de la metodología LCCA de Fabrycky and Blanchard..... | 58 |
| Ilustración 21. Desglose de costes según la metodología de Fabrycky and Blanchard | 59 |
| Ilustración 22. Esquema del proceso Evaluación de costes totales..... | 63 |
| Ilustración 23. Diagrama de flujo de la metodología LCECA..... | 65 |
| Ilustración 24. Metodología propuesta de ELCC por Paulo Ricardo Santos da Silva y Fernando Gonçalves Amaral, en 2009 | 69 |
| Ilustración 25. Metodología LCA type-LCC según M.Schau, M. Traverso, A. Lehmann y M. Finkbeiner | 70 |
| Ilustración 26. Esquema de ciclo de vida con perspectiva ELCC. Rebitzer G., Hunkeler D. | 71 |
| Ilustración 27. Desglose de elementos de coste para un ELCC | 75 |
| Ilustración 28. Entradas y salidas de procesos unitarios (LCA y LCC) | 77 |
| Ilustración 29. Esquema para la gestión progresiva del LCI para un LCC (ELCC) de una PYME | 82 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 30. Ubicación del S-LCA en el esquema general metodológico | 86 |
| Ilustración 31. Posibles agentes involucrados en un estudio S-LCA | 89 |
| Ilustración 32. Ejemplo de categorías de impacto social e intermedias..... | 91 |
| Ilustración 33. Esquema de fases del LCIA..... | 94 |
| Ilustración 34. Sistema de evaluación de las categorías a la unidad de medida..... | 95 |
| Ilustración 35. Marco general metodológico de evaluación del impacto social del ciclo de vida de producto | 99 |
| Ilustración 36. Ejemplo de valoración de evaluación social..... | 100 |
| Ilustración 37. Categorías consideradas para las 4 partes interesadas | 101 |
| Ilustración 38. Relación entre los 5 capitales y el AoP..... | 101 |
| Ilustración 39. Dependencia social del negocio e impactos sociales para los trabajadores | 102 |
| Ilustración 40. Principios generales utilizados para establecer los pasos de referencia de cada tema social. | 102 |
| Ilustración 41. Tipo de información disponible por la SHDB | 104 |
| Ilustración 42. Ubicación del LCSA en el esquema general metodológico | 121 |
| Ilustración 43. Límites del sistema de un LCSA..... | 126 |
| Ilustración 44. Ejemplo de inventario de datos para un estudio LCSA de un proceso unitario | 127 |
| Ilustración 45. Ejemplos de comunicación de prestaciones de sostenibilidad..... | 129 |
| Ilustración 46. Opciones de determinación y comunicación de la sostenibilidad desde 1990 | 132 |
| Ilustración 47. Categoría de herramientas para fomentar la comunicación en sostenibilidad..... | 134 |
| Ilustración 48. El ciclo de vida de un producto de consumo y ejemplos de impactos y beneficios ambientales, sociales y económicos..... | 135 |
| Ilustración 49. Arquitectura de indicadores de sostenibilidad para productos | 139 |
| Ilustración 50. Ubicación del LCSAi en el esquema general metodológico | 148 |
| Ilustración 51. Objetivos de Desarrollo Sostenible | 150 |
| Ilustración 52. Beneficios de la incorporación de la Ecoinnovación a las organizaciones..... | 152 |
| Ilustración 53. Esquema general de implementación de la Ecoinnovación | 154 |
| Ilustración 54. Conceptos a tener en cuenta a la hora de implementar la Ecoinnovación..... | 155 |
| Ilustración 55. Tareas a realizar para la definición de la estrategia | 157 |
| Ilustración 56. Plantilla Canvas para la representación de un modelo de negocio | 159 |
| Ilustración 57. Acciones para la definición del desempeño operativo de una empresa..... | 162 |
| Ilustración 58. Matriz DAFO resumen de potencialidades de la empresa..... | 162 |
| Ilustración 59. Tareas a realizar para la definición del modelo de negocio | 165 |
| Ilustración 60. Ejemplo de aplicación de las 9 ventanas a un vehículo | 170 |
| Ilustración 61. Propuestas de aplicación de la Ecoinnovación por fases de ciclo de vida | 171 |
| Ilustración 62. Diagrama Planeta - Beneficio - Sociedad..... | 171 |
| Ilustración 63. Esquema metodológico de Ecoinnovación para una PYME..... | 186 |
| Ilustración 64. Motivaciones de una PYME para aplicar la Ecoinnovación | 187 |
| Ilustración 65. Punto de partida para dar comienzo a las mejoras en Ecoinnovación | 188 |
| Ilustración 66. Esquema de implementación de las propuestas ODS en la operativa de la PYME..... | 200 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Objetivos metodológicos de adaptación del LCA a PYMES | 15 |
| Tabla 2. Data Quality Ratio propuesta en el ILCD Handbook..... | 23 |
| Tabla 3. Parámetros de evaluación propuestos por el ILCD Handbook | 24 |
| Tabla 4. Nivel de calidad de dato propuesto por el ILCD Handbook..... | 24 |
| Tabla 5. Desglose de costes según la metodología PLCCA to Manufacturing System | 62 |
| Tabla 6. Desglose de costes según metodología TCA..... | 63 |
| Tabla 7. Categorías, subcategorías y grupos de interés indicados por la Guía para SLCA de la UNEP..... | 98 |
| Tabla 8. Indicadores contemplados por la SHDB..... | 105 |
| Tabla 9. Participantes, subcategorías e indicadores existentes y planificados con unidad de medida en la base de datos PSILCA | 107 |
| Tabla 10. Compromiso comunitario de los fabricantes. Características del indicador social..... | 113 |
| Tabla 11. Gestión de la cadena de valor de los fabricantes. Características del indicador social..... | 114 |
| Tabla 12. Salud y seguridad laboral de los trabajadores. Características del indicador social..... | 116 |
| Tabla 13. Salud y seguridad laboral de los trabajadores. Características del indicador social..... | 116 |
| Tabla 14. Discriminación de los trabajadores. Características del indicador social | 117 |
| Tabla 15. Conciliación laboral de los trabajadores. Características del indicador social..... | 119 |
| Tabla 16. Comunicación responsable a los consumidores. Características del indicador social..... | 120 |
| Tabla 17. Ejemplos de datos de un LCI para realizar un LCSA..... | 127 |
| Tabla 18. Cuestiones para la caracterización de las herramientas de comunicación de sostenibilidad | 135 |
| Tabla 19. Principios fundamentales para la realización de comunicaciones de sostenibilidad..... | 137 |
| Tabla 20. Principios deseables para la realización de comunicaciones de sostenibilidad..... | 137 |
| Tabla 21. Indicadores LCSA para el diagnóstico de una PYME | 140 |
| Tabla 22. Técnicas de captación de necesidades y requisitos de clientes | 169 |
| Tabla 23. Problemáticas y estrategias que las empresas pueden encontrarse..... | 176 |
| Tabla 24. Evaluación de la sostenibilidad de modelos de negocio | 177 |
| Tabla 25. Matriz de desarrollo de Hoja de Ruta..... | 180 |
| Tabla 26. Propuesta de estrategia de sostenibilidad para la PYME..... | 199 |
| Tabla 27. Métodos de Ecoinnovación sobre el ciclo de vida de los productos..... | 202 |
| Tabla 28. Modelos de negocio para la Ecoinnovación | 202 |

1. ANTECEDENTES CLAVE

Desde el fin de la segunda guerra mundial en el año 1945, la sociedad y la economía ha experimentado en general un importante crecimiento como nunca antes se había dado. La estabilidad mundial, el progreso técnico y económico han posicionado al ser humano en niveles de bienestar no conocidos hasta el momento. No obstante, la consecución de este nivel no ha sido del todo satisfactoria, ya que ha hecho aparecer nuevas situaciones que actualmente están siendo gestionadas:

- Por una parte, la vertiginosa evolución de la economía a escala global ha originado fenómenos nunca vistos con anterioridad. Situaciones como grandes crisis económicas, grados de competitividad extremos o actuaciones de repercusión a escala global, han obligado a las empresas a repensar su manera de trabajar, siendo cada vez más eficientes en la utilización de los recursos de los que disponen.
- La preocupación por importantes impactos ambientales de proporciones mundiales, como la disminución de la capa de ozono, el fenómeno del cambio climático o la sobreexplotación de recursos naturales... o incluso fenómenos puntuales de contaminación altamente masiva (desastre de Seveso, explosión en Bophal, vertidos de crudo por parte de petroleros..), han provocado una cada vez mayor toma de conciencia medioambiental debido a las consecuencias perjudiciales que inciden tanto en el hombre como en el entorno.
- Por último, y debido al elevado nivel de desarrollo insostenible que vive la sociedad actual, se comienza a evidenciar diferencias en la calidad de vida de difícil comprensión. Como muestra un dato: la mitad más pobre de la población mundial posee la misma riqueza que las 85 personas más ricas del mundo. (OXFAM 2014).

Problemática ambiental actual

Hoy en día, la preocupación de la repercusión de las acciones sobre el Medio Ambiente ha pasado de ser creciente a ser un aspecto crucial, tanto por parte de la sociedad como por parte de las administraciones. El motivo no es otro tan sencillo y tan complejo a la vez, que el hecho de que el Medio Ambiente es por definición el entorno en el que el ser humano realiza todas sus actividades. Hasta hace poco tiempo, la evolución a nivel mundial no tenía en cuenta esta definición, y consideraba al Medio Ambiente un entorno de infinitas posibilidades e infinitos recursos. La realidad a día de hoy demuestra lo contrario, donde la constante sobreexplotación de recursos está comenzando a hacer mella a nivel mundial:

El paso a la consideración de un mundo de recursos ilimitados a limitados es el principal problema medioambiental al que se enfrenta la sociedad actual. A nivel industrial, las empresas están comenzando a evidenciar una mayor escasez de recursos, y los próximos nuevos entornos de trabajo consecuencia de repercusiones ambientales las está obligando a toma de decisiones no consideradas hasta hoy de cara a la viabilidad económica de sus actividades:

Manteniendo el principio de no renunciar en los avances realizados dentro de la calidad de vida por parte de la ciudadanía, y de cara a una mejor organización y gestión de apoyos a la dinamización de un mercado sensibilizado, la Comisión Europea dividió, a través de la Política Integrada de Producto, los agentes participantes en el mercado en tres tipos: la industria, como responsable de lanzar al mercado productos y servicios ecológicos, la sociedad como demandante de los mismos, y la administración, con una doble responsabilidad de activador de oferta verde, y a su vez, papel ejemplarizante mediante compra pública verde. Esta propuesta realizada a finales de los 90 sigue a día de hoy en funcionamiento, eso sí, con un mayor grado de madurez, a partir de la reflexión y puesta en común realizada en el Plan de Producción y Consumo Sostenible.

Aun así, a pesar de todos esfuerzos realizados hasta el momento, no se aprecian movimientos de mercado lo suficientemente claros que provoquen la transición hacia un modelo real de sostenibilidad. A continuación, se indican algunas de las barreras que impiden el cambio:

- **Ausencia de conocimiento:** Aunque se conocen a grandes rasgos cuál es la problemática actual de la falta de sostenibilidad, existe un gran desconocimiento acerca de las repercusiones reales, y a menudo se identifica como un problema global de solución global, en la que deben participar grandes organismos. Actualmente se trabaja en trasladar este tipo de conceptos globales a conceptos locales, tanto a nivel de problemas de sostenibilidad como de soluciones a las mismas.
- **Sostenibilidad vs. Competitividad:** El concepto de sostenibilidad hacia el que se camina actualmente no está lo suficientemente valorado desde el punto de vista de competitividad. En muchas ocasiones los trabajos obtenidos tras un proceso de Ecoinnovación no responden a los resultados de mercado previstos.
- **Reactividad vs. Proactividad:** De manera general y de cara a afrontar sus propios retos de desarrollo, la sociedad actual es más reactiva que proactiva. Esta reactividad es consecuencia de la inexistencia de una cultura real de mejora continua y de innovación, salvo la relacionada con la propia supervivencia del propio agente de la sociedad, ya sea como consumidor final, como industria o como propia administración. Esta supervivencia simplifica la mejora continua a dos únicas motivaciones reales: La obtención de algún tipo de beneficio en forma de nuevos mercados, ampliación de ventas, etc. y/o la evasión de algún tipo de penalización en forma de sanciones económicas, impuestos, etc.
- **Dedicación insuficiente:** Una vez identificada la motivación real que impulsa el cambio, éste no supone un esfuerzo más allá de la consecución del objetivo previsto. Es decir, el esfuerzo y la dedicación de recursos humanos, técnicos y económicos está limitada, es puntual, y únicamente adecuada al objetivo buscado.
- **Riesgos inherentes:** Más allá de la consecución de este tipo de objetivos reactivos, habría que añadir la de por sí complicada apuesta que supone la concepción de un futuro a largo plazo en el actual contexto general de entorno cambiante. Cualquier tipo de acción planteada a medio y/o largo plazo supone una apuesta arriesgada cuyo riesgo, sobre todo en el caso de la industria, sólo está justificado si supone una alternativa claramente viable a su supervivencia.

Recursos insuficientes en PYMEs: Por el contrario, aquellos agentes denominados proactivos, dedican anualmente parte de sus recursos a la mejora continua y la innovación, con el objetivo de cumplir no solamente con las motivaciones reactivas a corto plazo, sino también a medio y largo plazo. El esfuerzo en esta dirección es factible y necesario en grandes empresas, cuya posición habitual es la de líder de mercado, y que disponen de los medios y la estructura suficiente como para poder asignar recursos a este tipo de acciones. Para el caso de PYMEs no ocurre lo mismo. La escasez de recursos impide trabajar de igual forma, siendo muy baja o nula la componente de mejora continua. Sus principales acciones vienen dadas a través de apoyos por pertenencia a asociaciones en los que se fomentan acciones de mejora continua para sus miembros, o a través de proyectos financiados económicamente por instituciones que pretenden precisamente mantener la competitividad a través de la mejora continua.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Una de las vías para alcanzar y mantener la competitividad en países desarrollados y con altos costes de mano de obra, es innovar a través de la oferta continua de productos y/o servicios, donde la investigación y desarrollo juega un papel crucial para su desarrollo (Drucker 1985). No obstante, aunque las inversiones realizadas en investigación y desarrollo son elevadas, no siempre se consigue llegar con éxito al mercado, tal como lo deja en manifiesto la denominada “paradoja europea” (Dosi, Llerena, y Labini 2006).

La problemática por lo tanto atañe tanto a empresas, que evidencian un importante déficit de innovación especialmente en el caso de las PYMEs, como a centros de investigación y universidades que, tras participar en diversos proyectos de investigación y desarrollo no consiguen innovar y cuentan a día de hoy en su cartera con resultados en forma de prototipo o producto aletargado que no han sido comercializados. Y todo ello a pesar de los esfuerzos realizados por las administraciones para la dinamización de la innovación, especialmente la ligada a la sostenibilidad ambiental, que con menor o mayor éxito pretende encauzar las nuevas bases de una economía respetuosa con el Medio Ambiente.

Según autores como Christensen y Bower (1996) y Kirzner (1997), gran parte de esta problemática no se encuentra en el proceso de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías en sí, sino en que el proceso de comercialización de las mismas, considerando que existe una carencia importante entre las dos fases del proceso de innovación. Según el estudio realizado por Van Geehuizen (2010), las principales causas de este hecho son:

- Poca alineación estratégica entre la actividad investigadora y objetivos de explotación.
- Falta de relación con empresas comercializadoras y escaso conocimiento del mercado.
- Carácter de la invención. Los resultados no están listos para ser industrializados y producidos en masa
- Escasa financiación regional para impulsar la explotación de resultados.

Por ese motivo es fundamental que durante los próximos años se establezcan medidas que permitan eliminar progresivamente todas las barreras que impiden evolucionar hacia un concepto real de sostenibilidad. Una de las posibles medidas, de carácter metódico, es el objeto de esta tesis: plantear y definir una metodología de trabajo que permita acercar la innovación sostenible y la mejora continua de una manera real y práctica a las PYMEs.

De cara al desarrollo de este trabajo se ha de tener en cuenta que éste es un campo que actualmente se encuentra en plena evolución, y en el que parámetros no tradicionales de la competitividad como son el medioambiental y el social están comenzando a integrarse y aceptarse como estratégicos al mismo nivel que los económicos. Por ello, uno de los objetivos que también se busca es el de plantear una metodología lo suficientemente flexible como para adaptar las últimas soluciones ya consideradas como validadas de cara a un mercado más concienciado.

Por último, hay que considerar el usuario final de esta metodología, que es la PYME. Tal y como se ha comentado con anterioridad y a pesar de que poco a poco comienza a darse una mayor inquietud por parte de la alta dirección de este tipo de empresas, lo cierto es que la cultura de innovación está muy por debajo de lo esperado y mucho menos de lo necesario para orientar el mercado actual hacia otro más comprometido con la sostenibilidad global. Por otra parte, ha quedado demostrado que no hay marcha atrás en este proceso, y que este cambio va a darse de manera voluntaria por parte de las industrias que promuevan el cambio, o bien de manera obligatoria por parte de las administraciones que vigilan el devenir del mercado. De esa manera, se quiere recoger como otro objetivo de la tesis la puesta en marcha del Life

Cycle Thinking en su contexto más práctico y de aplicación a la situación actual y futura de las PYMEs que tendrán que afrontar el reto de no sólo innovar, sino de hacerlo de manera sostenible.

De cara a validar la metodología planteada, se seleccionarán entre 3 y 4 empresas, todas ellas PYMEs como denominador común, pero con operativas de trabajo y ámbitos de actuación lo más diverso posible, a fin de contrastar los primeros resultados obtenidos de la investigación realizada, y sobre todo, la practicidad de la metodología planteada.

Cabe destacar que el trabajo a desarrollar en la presente tesis está centrado en la definición de una metodología orientada principalmente a la mejora de productos y servicios desde un punto de vista de sostenibilidad. Es decir, manteniendo e incluso optimizando las prestaciones técnicas actuales a través de estrategias más eficientes aplicables en las diferentes fases de su ciclo de vida, minimizando su repercusión al Medio Ambiente y las afecciones negativas al entorno social en el que se ve involucrado. No obstante, no se descarta la adaptación de la metodología a innovaciones de un carácter más radical, tales como procesos de servitización o incluso innovaciones de sistema vinculados a estrategias de Economía Circular.

3. METODOLOGÍA

Recogidos los principales problemas que impiden a las PYMEs trabajar hacia un objetivo de sostenibilidad, se procede a plantear la metodología que permita un planteamiento correcto y factible para la consecución de dicho objetivo. Se marca como dos premisas fundamentales de dicha metodología las siguientes dos características:

- La PYME no debe alterar su funcionamiento habitual más allá de lo justo y necesario. Todas aquellas soluciones que supongan un extra de dedicación de recursos económicos, técnicos y humanos por su parte, serán automáticamente descartadas.
- Necesariamente los resultados obtenidos deberán ir en consonancia con lo demandado por parte de la PYME, como por ejemplo aumento de ventas, ahorro de costes, mejoras ambientales y/o sociales, comunicaciones a agentes de interés, etc.

La primera de las premisas sirve como denominador común a todas las PYMEs, mientras que la segunda de ellas exige una especificación para la situación de cada una de ellas. Es más, esta situación será variable en el tiempo en función de la evolución y el entorno, y especialmente ligada a la estrategia de la propia dirección de cada PYME. En cualquier caso, **una de las labores indispensable** a la hora de plantear cualquier tipo de actuación por parte de la empresa, **es conocer su situación en cuanto a lo que sostenibilidad global se refiere, es decir, cómo se comporta la empresa y sus productos y/o servicios a nivel económico, a nivel medioambiental y a nivel social.** Sin duda este tipo de evaluaciones levanta todo tipo de controversias, debido sobre todo a los diferentes grados de madurez entre ellas y la inclusión de elementos de subjetividad en las mismas. En cualquier caso, el planteamiento de desarrollo de la metodología en la presente tesis pretende que esta variabilidad sea absorbida y adaptada según los nuevos futuros desarrollos de sostenibilidad que vayan apareciendo a posteriori.

En el siguiente esquema se resume el planteamiento de la metodología a seguir, y cuyos pasos serán descritos en profundidad a lo largo del desarrollo de la tesis.

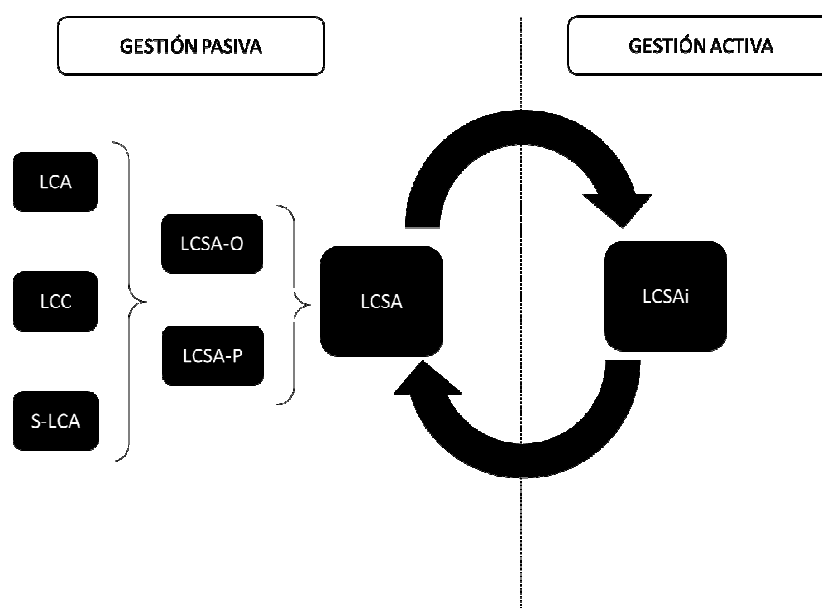


Ilustración 1. Esquema general de la tesis

4. LCA. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE PRODUCTO DESDE LA PERSPECTIVA AMBIENTAL

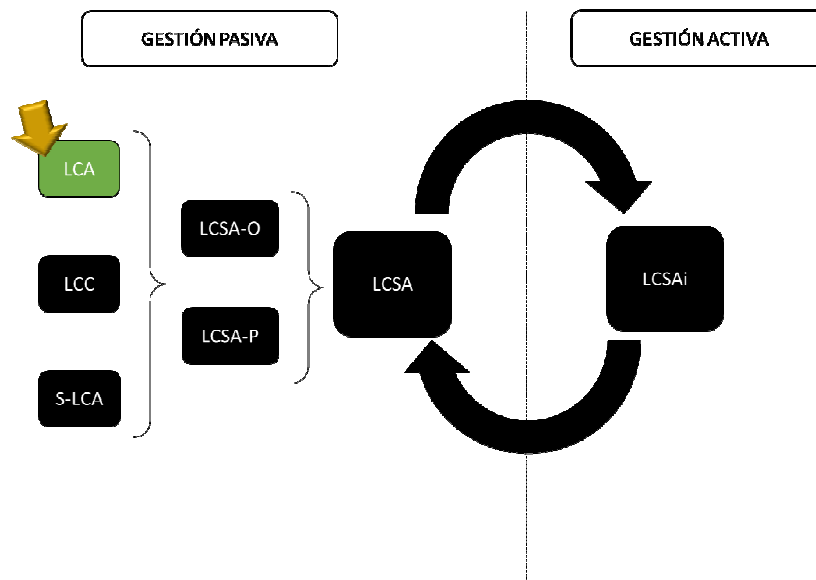


Ilustración 2. Ubicación del LCA en el esquema general metodológico.

4.1. El porqué del LCA de producto

El LCA se viene usando de manera regular en la industria desde finales de los 80. Su uso por parte de otros agentes, como ONGs de carácter ambiental y/o de derechos de consumidor) es más reciente, pero se ha visto ampliamente incrementada con el paso de los últimos años, y es con diferencia la técnica más empleada a día de hoy para conocer el comportamiento ambiental de productos y servicios a lo largo de todo su ciclo de vida, es decir, desde la extracción de materias primas necesarias para su producción hasta que el producto es finalmente desechado al final de su vida útil.

El LCA está ayudando a compañías y otros agentes a realizar una mejor toma de decisiones bien documentadas y a comunicaciones públicas. Las aplicaciones del LCA pueden ser la obtención de ecoetiquetas, ecodiseño, la obtención de la huella de carbono y/o ambiental y la gestión de residuos. El LCA además dirige con éxito las cuestiones estratégicas en impactos ambientales y potencial de mejora en el uso de recursos naturales. Es usado también por parte de la industria a la hora de guiar los nuevos desarrollos tecnológicos (por ejemplo, células de combustible) y para cuantificar la actuación medioambiental de sus lugares de producción. Cada vez más, el LCA es utilizado para evaluar el impacto ambiental de las diferentes opciones políticas para lanzar y/o modificar las ya existentes.

Desde hace unos años, el LCA ha ganado en aceptación como herramienta para el establecimiento de políticas, particularmente en Europa. El concepto de Ciclo de Vida está integrado en muchas partes de políticas de la Comisión Europea, entre las que se encuentran el Comunicado de la Política Integrada de Producto (EU, 2003), la Directiva de Ecodiseño de productos relacionados con la energía (EU, 2009c) o el Plan de Acción para la Industria Sostenible y para la Producción y Consumo Sostenible (COM(2008) 397) o (SCP/SIP):

El LCA es un método científico, estructurado y completo que está internacionalmente estandarizado en las normas ISO 14040 e ISO 14044, aunque el primer código de prácticas fue desarrollado por grupos de trabajo de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (SETAC) a principios de los 90. Un LCA se encarga de cuantificar los recursos consumidos y las emisiones, así como los impactos ambientales y de salud y otros relacionados con el agotamiento de recursos que están asociados con otros bienes y servicios. El LCA cubre el Cambio Climático, el Smog de verano, la ecotoxicidad, efectos cancerígenos humanos, los agotamientos de materiales y energía, etc. Permite la comparación directa entre productos, tecnologías y otros basados en un mismo comportamiento funcional de las alternativas a analizar.

Se recogen a continuación algunos de los problemas asociados al uso del LCA por parte de las empresas:

1. Reproducibilidad: La reproducibilidad de los resultados y las recomendaciones del LCA todavía no pueden estar garantizadas de manera satisfactoria. Esto se debe a que las principales normas ISO dejan mucho pie a la interpretación por parte de los desarrolladores de los estudios.
2. Disponibilidad y calidad de los datos LCI: La alcanzable calidad de un LCA y, de ahí, la robustez en la toma de decisiones, ha sido limitada por la relativa baja disponibilidad de datos de calidad y consistentes.
3. Incertidumbre de los métodos de evaluación de impactos y sus factores: Los métodos LCIA tienen a menudo un alto grado de incertidumbre y para algunas áreas importantes (p.e. uso de tierra, uso excesivo de agua) no hay todavía métodos robustos y testeados a fondo.
4. Aseguramiento de la calidad: No hay requerimientos claros sobre cómo seleccionar revisores independientes y cualificados, cómo llevar a cabo el proceso de revisión, su alcance exacto y los métodos de revisión a emplear para llevar a cabo un aseguramiento de la calidad aceptado ampliamente de los datos del ciclo de vida y su evaluación.
5. Coste y complejidad/falta de practicidad: A menudo los LCAs fiables son considerados como grandes consumidores de recursos y de tiempo, que además requieren de expertos en la materia, de ahí su limitada practicidad.

En cualquier caso, de los tres pilares en los que se basa la sostenibilidad, el LCA es con diferencia el que mayor evolución ha mostrado frente a los pilares económico y social, en todo lo relativo a repercusión no organizativa (producto, tecnología, estrategia, etc.).

De cara a facilitar la aceptación de esta metodología de evaluación por parte de las pequeñas empresas, se ha tratado de alcanzar los siguientes objetivos:

Identificar fuentes habituales de información existentes a día de hoy en las PYMEs, de cara a ser reaprovechadas para la realización de LCAs de sus productos.

Identificar déficits de información para la realización de dichos LCAs, en función de los objetivos buscados por parte de las empresas.

Búsqueda de métodos para la sistematización de la recopilación y gestión de información correspondiente al Ciclo de Vida de producto, así como su repercusión hacia el Medio Ambiente en la consideración de los principales impactos ambientales a tener en cuenta.

Tabla 1 Objetivos metodológicos de adaptación del LCA a PYMEs

4.2. Proceso general de desarrollo de un LCA

El concepto de Ciclo de Vida (Life Cycle Thinking) está ganando cada vez mayor importancia en la evaluación del impacto originado a la hora de valorar las opciones políticas, así como para monitorizar los indicadores de producción y consumo. Un reflejo de ello es la integración de las principales estrategias a nivel europeo en el denominado **Plan de Acción de producción y consumo sostenible y política industrial (COM(2008)397)**, y que refuerza el uso de LCAs cuantitativos, reiterando para ello la necesidad de métodos y datos consistentes y fiables.

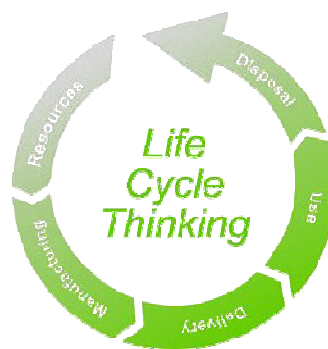


Ilustración 3. Enfoque Life Cycle Thinking

El LCA comprende todo el Ciclo de Vida del sistema que está siendo analizado. Un sistema se define como una serie de operaciones que efectúan una función definida con precisión. Cuando se habla de sistema, éste puede ser un producto, un servicio, un proyecto, una alternativa de diseño, etc. Para cada sistema objeto de estudio objeto del LCA se debe incluir todo tipo de información relacionada tanto con su constitución como con su funcionalidad: Desde la extracción de recursos, pasando por la producción, uso y reciclaje, hasta el vertido del residuo remanente. Debido a esto, el LCA ayuda a evitar el indeseado efecto de traspaso de cargas, donde una reducción de la presión ambiental en un punto en el Ciclo de Vida conduce a un incremento indeseado en otros lugares y en otras formas diferentes de presiones ambientales. Por ejemplo:

- Se crean áreas de residuos mientras se mejoran las tecnologías de producción.
- La tierra se degrada mientras se reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- La presión debida a materiales tóxicos se reduce en un país mientras se incrementa en otro.

La fuerza del LCA reside en la combinación de sus **5 principios básicos**:

1. El LCA recoge una gran variedad de problemas ambientales en un marco de evaluación integrado. Esto ayuda a evitar el indeseado traslado de cargas, donde la reducción de un impacto puede conllevar el incremento de otro.
2. El LCA recoge los problemas ambientales de una manera científica y cuantitativa. A través del inventario de todo el uso de recursos y emisiones, permite realizar análisis relativos y absolutos y monitorizar los avances a lo largo del tiempo. Los elementos subjetivos pueden en gran medida ser excluidos o no considerarse y redirigirse sistemáticamente hacia la interpretación de resultados.
3. El LCA permite que las presiones ambientales e impactos potenciales se puedan relacionar a un sistema definido, como por ejemplo un tipo particular de bien, o servicio, o compañía, o estrategia tecnológica, o país, etc.
4. El LCA integra el uso de recursos y emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida del sistema analizado, desde la extracción de recursos naturales a través del procesado de materiales, fabricación, distribución y uso, hasta el reciclado o valorización energética y la disposición de los residuos remanentes. Esto ayuda a evitar el resolver un problema ambiental (por ejemplo durante la fabricación del producto) mientras se generan otros (por ejemplo durante el uso o el tratamiento de fin de vida).
5. El LCA facilita la comparación entre el comportamiento ambiental de diferentes sistemas u opciones en igualdad de condiciones, y ayuda a identificar áreas de mejora. Esta garantía en la igualdad de condiciones se alcanza comparando alternativas de manera estricta basadas en su "unidad funcional", como por ejemplo su desempeño técnico o equivalente. La unidad funcional es la descripción precisa cuantitativa de la función o funciones proporcionadas por el sistema analizado. Por ejemplo, "Qué" puede hacer, "cuanta función" puede proporcionar, "cómo de bien" y "por cuanto tiempo" puede hacerlo. En comparaciones que no consideran la unidad funcional, un producto o una tecnología que cumple menos funciones o de peor manera comparado con su competidor puede erróneamente parecer ser mejor medioambientalmente.

Considerando estos principios, se puede decir que un estudio de LCA está dirigido a responder las preguntas para las que ha sido diseñado.

4.3. Metodología LCA

De acuerdo con la metodología propuesta por la normativa ISO 14040, un proyecto de LCA puede dividirse en cuatro fases:

- Paso 1: Objetivos y alcance del estudio
- Paso 2: Análisis del inventario
- Paso 3: Análisis del impacto
- Paso 4: Interpretación.

A continuación, se describen las cuatro fases de la metodología, apoyadas además con recomendaciones realizadas través del ILCD Handbook, manual desarrollado por la Comisión Europea para la realización de LCAs y que se describirá con mayor detalle más adelante.

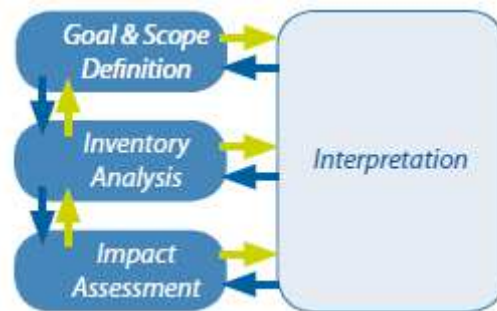


Ilustración 4. Esquema de una LCA según la norma ISO 14040

Por ello el LCA es una poderosa herramienta de toma de decisión que complementa otros métodos que ayudan a crear una sociedad más eficiente y sostenible.

Tradicionalmente existen **dos enfoques para la realización del LCA**: Enfoque atribucional y enfoque consecuencial:

- El enfoque atribucional del ciclo de vida (definiciones clásicas como “accounting”, “book-keeping”, “retrospective” o “descriptive” en inglés) representa el sistema de una manera real, o prevista específicamente, o relacionada con su cadena de valor (teniendo en cuenta su uso y fin de vida).

Este es el enfoque tradicional del LCA, que consiste en realizar una descripción de los flujos reales del sistema y sus subsistemas. Los flujos representan las relaciones físicas entre entradas y salidas de los procesos.

- El enfoque consecuencial del ciclo de vida (definiciones clásicas como “change-oriented”, “effect-oriented”, “decisión-based”, “market-based”) representa de manera general la cadena de valor tal y como se prevé que ocurra de manera teórica como consecuencia de decisiones analizadas. El sistema de producto interactúa con los mercados, y estos cambios son representados de manera dinámica.

Consiste en realizar una descripción de cómo varían los flujos del sistema, según las decisiones tomadas, por lo que requiere un conocimiento exhaustivo del mercado económico. Se utiliza para la toma de decisiones de los “Policy makers”.

Actualmente se pretenden romper este doble enfoque (ILCD Handbook) identificando tres casos típicos cuando se utiliza el LCA, clasificados de acuerdo a la intención que se les presupone. Éstos asumen todo tipo de aplicaciones:

- Decisiones a nivel Micro (Productos)
 - Decisiones: Mejoras, comparaciones, compras
 - Ecoetiquetados: Tipo I, EPD, Huella de Carbono
- Decisiones a nivel Macro (Políticas)
 - Identificación potenciales mejoras
 - Desarrollo de políticas
- Contabilización del impacto ambiental de un sistema de producto (situación de análisis similar al caso A)
 - Considerando los potenciales beneficios en otros sistemas de producto, como por ejemplo el reciclaje y/o co-productos.
 - Sin considerar estos potenciales beneficios.

4.3.1. Paso 1. Objetivos y alcance del estudio

En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo. Dentro de objetivos y alcance quedan definidas la que podrían denominarse “reglas del juego” bajo las cuales deberá ejecutarse el LCA y que se exponen a continuación:

- Aplicación prevista: Antes de comenzar el desarrollo del LCA, se han de tener muy claras las razones y motivos para llevar a cabo el estudio, así como el tipo de información a obtener. Este primer análisis condicionará la definición de gran parte del resto de los aspectos que son necesarios establecer a la hora de desarrollar un estudio de LCA. Por otra parte, también ayudará a no perder la perspectiva del estudio, ya que su realización no tiene otro fin que el cumplimiento del objetivo establecido.
- Público objetivo: Debe definirse con detalle la audiencia a la que va dirigido el estudio:
 - Interna
 - Externa de manera restringida
 - Pública de carácter técnico o no técnico

Debe definirse si el estudio es comparativo o incluye alguna afirmación comparativa. Las normas ISO 14040 son de por sí lo suficientemente estrictas en lo que a esta parte se refiere, y están asociadas con costes elevados de revisión (sobre todo para estudios comparativos, más que para aserciones comparativas).

- Hipótesis y limitaciones: Se deben exponer las suposiciones e hipótesis que se asumen a lo largo del estudio (pues en algunos casos no se dispone de datos o se han despreciado los que no se han considerado significativos). Asimismo, es necesario indicar las limitaciones que se han introducido en el LCA como consecuencia de ello, ya que puede influir en la interpretación de los resultados.
- Unidad Funcional (UF): Describe la función principal del sistema analizado. Un LCA no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función. Por ejemplo, no es válido comparar dos kilos de pintura diferentes que no sirvan para realizar la misma función (cubrir un área equivalente con una duración similar).

La UF proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático. Probablemente esta sea la parte del LCA de mayor importancia.

- Límites del sistema: Debido a su naturaleza global un LCA completo puede resultar demasiado extenso. Por esta razón deben establecerse unos límites y un alcance del estudio, que deberán quedar perfectamente identificados, de tal manera que queden determinados qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del estudio. Asimismo, también se deberán definir criterios de corte que permitan limitar la recopilación de datos de cada proceso unitario sin que por ello disminuya la calidad del estudio.

Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas, etc.

Hay que tener en cuenta no obstante que los límites del sistema están definidos de una manera bastante convencional, y que excluyen explícitamente los accidentes (funcionamientos anómalos de los procesos), lo cual puede llegar a entrar en conflicto con las utilidades previstas del estudio LCA.

- Requisitos de la calidad de los datos: Se deben especificar los requisitos a cumplir por los datos para que sean coherentes con los objetivos del estudio. La calidad puede controlarse mediante su

contraste con otras fuentes, mediante comparación teórica de los resultados de los balances de materia y energía y mediante muestreo.

- **Reglas de asignación de cargas ambientales:** Como carga se define la contribución de cada entrada o salida inventariada a una categoría de impacto ambiental. El concepto de asignación de cargas se utiliza cuando se estudia un sistema en el que la relación entre las entradas (tanto materias primas como energía) y las salidas (productos, emisiones, ...) no es una relación lineal, sino que en el sistema se obtiene más de un producto o existe reciclado en alguna fase intermedia. Así, en el caso de obtener más de un producto en un mismo proceso, es necesario definir unas pautas que permitan asignar de forma adecuada el consumo de materias primas y energía y la generación de residuos a cada uno de ellos. Con ello, se atribuye a cada producto sus cargas ambientales respectivas.

Los procedimientos de asignación siguen los pasos de las normas ISO 14044 para el LCA. De esta manera, se consideran en orden de preferencia:

1. Evitar la asignación
2. Sub-división de procesos
3. Sub-división virtual de procesos (basada en causalidades)
4. Expansión del sistema (substitución)
5. Asignación en masa (basada en las Guías Nórdicas de 1995)
6. Asignación económica (basada en las Guías Nórdicas de 1995)

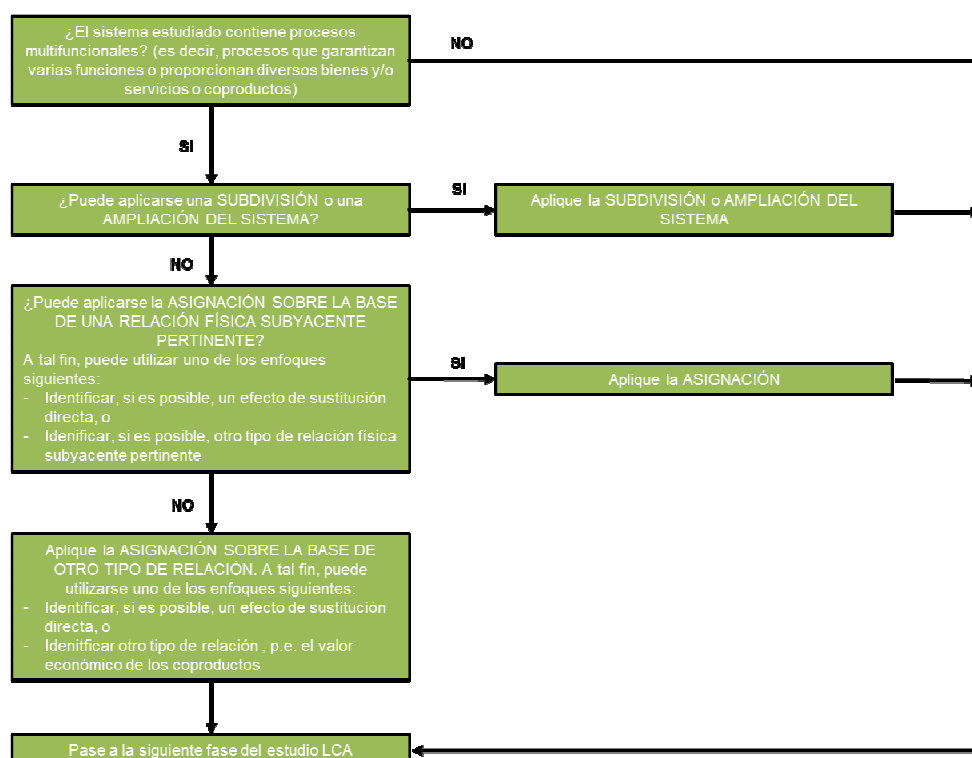


Ilustración 5. Procedimiento de asignación de cargas

De manera general se especifica que la suma de todas las emisiones asignadas debe de ser igual que el impacto de todos los procesos no asignados ("regla del 100%"). Sin embargo, esta regla no es común en otros sistemas, como por ejemplo el sistema de ecoetiquetado tipo III del International EPD System®, donde es importante para la credibilidad del sistema no subestimar los impactos ambientales del sistema del estudio, dando como consecuencia resultados conservadores del impacto ambiental.

- Tipos de impacto a evaluar, metodología e interpretación: Uno de los objetivos que se persigue es el de mostrar los daños y la repercusión real de los efectos ambientales, no sólo agregar inventarios de datos. En la medida de lo posible, todos los métodos de evaluación de impactos ambientales empleados deben ofrecer la doble posibilidad de contabilidad de impactos y valoración de impactos. Así se pretende acercar los datos del inventario a su repercusión ambiental, como por ejemplo “equivalentes de acidificación” o “equivalentes de eutrofización”, y de esa manera vincular la repercusión ambiental a las características técnicas del sistema en estudio. Esto supone agregar incertidumbres en los modelos de impactos ambientales a las incertidumbres originadas en los inventarios de datos.
- Revisión crítica: La revisión crítica asegura que el estudio LCA se ha hecho de acuerdo a las reglas establecidas. Este tipo de revisión es realizada por individuos o entidades que se han mantenido al margen del estudio en todo momento. Los requerimientos para una revisión crítica y el tipo de revisión a realizar dependerán del destinatario del estudio. Para la parte de la revisión crítica, el ILCD Handbook proporciona requerimientos más estrictos que las normas ISO 14040.

4.3.2. Paso 2. Inventario de Ciclo de Vida (LCI)

Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos adversos asociados a la UF o "cargas ambientales". Dentro del LCI se incluyen tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, etc.

Cuando se trabaje con sistemas que impliquen varios productos, en esta fase se procederá a asignar los flujos de materia y energía, así como las emisiones al Medio Ambiental asociadas a cada producto o subproducto.

En definitiva, esta fase conlleva la resolución de los balances de energía y de materia del sistema, de forma que los datos finales del inventario (parámetros) se recojan en tablas y estén referidos a la UF. Se trata de la fase del ACV que más tiempo lleva debido a que, normalmente, el número de parámetros a considerar es numeroso. Esta etapa incluye:

- Trazado del diagrama de flujo que represente al sistema de producto objeto de estudio.

Generalmente se incluyen los siguientes procesos:

- La secuencia de producción principal, es decir, desde la extracción de materias primas hasta la eliminación final del producto, inclusive.
- Operaciones de transporte.
- Producción y uso de combustibles.
- Generación de energía, es decir, electricidad y calor (incluyendo producción de combustible).
- Eliminación de todos los residuos del proceso.
- Fabricación del embalaje de transporte.

Y se excluyen los siguientes:

- Fabricación y mantenimiento de equipos de producción.
- Mantenimiento de plantas de fabricación, es decir, calefacción e iluminación.
- Factores comunes a cada uno de los productos o procesos en estudio.

- Identificación y cuantificación de las entradas y salidas que tienen lugar en todas las etapas del ciclo de vida, esto es, balances de energía y de materia.

Con ello se pretende que los resultados de un estudio de este tipo se presenten como un inventario de las cargas medioambientales asociadas a la unidad funcional.

En el contexto de las prácticas de gestión de residuos, la definición de los límites del sistema puede ser extremadamente compleja:

- Al nivel más simple pueden definirse los límites de forma artificial, definiendo el "principio del ciclo de vida" como, por ejemplo, el borde de la acera o la recogida en la acera.
- El "final" del ciclo de vida puede definirse, según se afirma comúnmente, como el momento en que todos los residuos del sistema se devuelven a la tierra. En el caso de la evaluación del reciclaje y la incineración, debe ser considerado en el contexto de las cargas/impactos ambientales evitados por los materiales vírgenes ahorrados. De forma similar, la incineración con recuperación de energía debería ser evaluada considerando las cargas/impactos ambientales que se evitan mediante la generación de calor y energía por medios como la incineración de combustibles fósiles. Debe puntualizarse que cuando se utilizan los límites del sistema comentados anteriormente, la minimización de residuos en origen y la reutilización son las opciones de gestión de residuos preferidas.

Puede decirse que el interés en aplicar la evaluación del ciclo de vida para prevenir la contaminación, es permitir la selección de las operaciones relacionadas con un sistema cuya

producción se realiza de la manera más eficaz al tomar en cuenta el ciclo de vida en su totalidad.

- Descripción de cada operación unitaria en detalle y relación de los parámetros del inventario correspondientes a cada una, junto con las unidades en que se expresan.
- Descripción de las técnicas empleadas para la recogida de los datos y de cálculo. En cuanto a la procedencia de los datos, puede ser el mismo centro productivo, o bien pueden ser obtenidos o calculados de fuentes publicadas, como estadísticas, legislación, asociaciones, compañías gestoras de residuos y plantas de tratamiento, bibliografía, estimaciones y suposiciones, bases de datos, etc.

Una vez que se han fijado los límites de un estudio determinado, la siguiente fase es recopilar los datos que constituirán la base para todos los cálculos. La normativa ISO 14040 hace hincapié en la calidad de los datos manejados, ya que se trata de un factor básico para la credibilidad del estudio y la interpretación de los resultados.

A partir de la aparición del ILCD Handbook, se han especificado aún más los requisitos para la realización del LCI:

- Se describe el Open Loop Recycling, es decir, el material se recicla en otros sistemas de producto y sufre un cambio en sus propiedades inherentes.
- No se permite agrupar sustancias del análisis de inventario en nuevos grupos de sustancias, a excepción de algunos muy comunes y aceptados, como por ejemplo la DBO y la DQO.
- No se permite la doble contabilidad del inventario, debido sobre todo a evitar la doble contabilidad de impactos ambientales como parte del estudio. No obstante, no es muy adecuado ya que aunque por ejemplo haya que elegir entre realizar la DBO o la DQO, ambos indicadores miden propiedades diferentes.
- Debe de informarse del contenido en energía por unidad de masa para todos los recursos de energía, salvo para el caso de energía nuclear. Esto puede aumentar la complejidad del estudio.
- Se debe de informar de la energía proveniente de fuentes renovables como “energía neta”, a fin de describir con mayor detalle la energía primaria utilizada.
- No se realiza diferenciación geográfica de los recursos utilizados, algo extraño incluso para la consideración de fases posteriores del LCA, como el LCIA.
- Se deben calcular materiales inertes, como por ejemplo las rocas extraídas en los procesos de minería de metales, a fin de calcular en la medida de lo posible balances de masa. Esto también puede incrementar la complejidad del estudio.
- Las futuras emisiones, por ejemplo, las que ocurran dentro de 100 años derivadas del sistema en estudio, deben de reportarse de manera separada, de manera que así se incluya el parámetro tiempo.
- Las emisiones biogénicas y las derivadas de combustibles fósiles deben de reportarse de manera separada en el inventario de resultados. Este tipo de información desagregada aumenta la transparencia de los estudios de LCA.
- Las emisiones retrasadas son contabilizadas durante un máximo de 100 años con un ratio de descuento de un 1% por año. Por ejemplo, si una emisión de 1000 kg de CO₂ ocurre durante el año 99, sólo 10 kg de CO₂ (1%) será tenido en cuenta.

- El ILCD Handbook introduce una evaluación semicuantitativa de calidad de datos, que enlaza con diferentes requerimientos de calidad de datos, Data Quality Indictors o DQI:
 - Representatividad Tecnológica (RTec): Grado de representatividad de los datos inventariados en los procesos considerados en el estudio como por ejemplo características tecnológicas incluyendo condiciones operativas.
 - Representatividad Geográfica (RG): Grado de representatividad de los datos inventariados con las características geográficas (región, país, mercado, continente...) bajo las que se produce el estudio.
 - Representatividad Temporal (RTem): Grado de representatividad de los datos inventariados con las características temporales (año al que está referido el dato, periodos temporales a los que corresponden...) bajo las que se realiza el estudio.
 - Compleitud (C): Grado de cobertura de los flujos empleados en el inventario. Por ejemplo, los flujos de residuos deben de considerarse a nivel de sistema.
 - Precisión/ Incertidumbre (P): Grado de variabilidad para cada uno de los valores empleados en el inventario realizado para el estudio datos inventariados.
 - Idoneidad y consistencia metodológica (M): Grado en el que las elecciones metodológicas (asignaciones de cargas, sustituciones...) están alineadas con el objetivo y alcance del estudio.

La evaluación de la calidad de los datos durante la recolección de los mismos, permite a las empresas realizar acciones de mejora sobre como recopilar calidad de los datos de manera más eficiente que si la evaluación se realizara tras dicha recopilación.

La calidad de los datos se calcula en función de sus ratios de calidad, Data Quality Ratio o DQR. El nivel de calidad de los mismos se muestra en el ILCD handbook (Life Cycle Data Reference) en su Anexo 12A "Data quality concept and approach"

| PROCESO / FLUJO | DOCUMENTACIÓN DE BASE | DQI | | | | | | DQR | |
|-----------------|-----------------------|------|----|------|---|---|---|-------|------------------|
| | | RTec | RG | RTem | C | P | M | RATIO | NIVEL DE CALIDAD |
| | | | | | | | | | |

Tabla 2. Data Quality Ratio propuesta en el ILCD Handbook

Los criterios para la definición de los niveles y ratios de calidad para los indicadores de calidad de los procesos/flujo definidos en la tabla anterior, aparecen resumidos en la siguiente tabla obtenida del Anexo 12 del ILCD Handbook:

| NIVEL DE CALIDAD | RATIO DE CALIDAD | DEFINICIÓN | COBERTURA DE IMPACTO AMBIENTAL GLOBAL | PRECISIÓN / INCERTIDUMBRE DEL IMPACTO AMBIENTAL GLOBAL |
|---------------------------|------------------|--|---------------------------------------|--|
| Muy bueno | 1 | Conoce los criterios en un grado muy alto, teniendo o no necesidad de mejora | ≥ 95% | ≤ 7% |
| Bueno | 2 | Conoce los criterios en un grado alto, teniendo una mínima necesidad de mejora | (85% a 95%) | (7% a 10%) |
| Normal | 3 | Conoce los criterios en un grado suficiente, teniendo necesidad de mejora | (75% a 85%) | (10% a 15%) |
| Pobre | 4 | No conoce los criterios en un grado suficiente, teniendo una importante necesidad de mejora | (50% a 75%) | (15% a 25%) |
| Muy pobre | 5 | No conoce todos los criterios, teniendo una muy importante necesidad de mejora | < 50% | > 25% |
| OPCIONES ADICIONALES | | | | |
| No evaluado / desconocido | 5 | Este criterio no ha sido evaluado / revisado o su calidad no puede ser verificada / es desconocida | NA | NA |
| No aplicable | 0 | Este criterio no es aplicable | NA | NA |

Tabla 3. Parámetros de evaluación propuestos por el ILCD Handbook

Para conocer la calidad global de toda la información recopilada y definida, se puede calcular de la misma manera el ratio global de calidad de los datos a través de la siguiente formulación:

$$DQR = (RTec + RG + RTem + C + P + M + Xw * 4) / (i + 4)$$

Donde:

Xw: DQI más bajo (valor numérico más alto) de entre todos los DQI

i: Número de DQIs aplicables (no iguales a cero)

Tras su cálculo, el nivel de calidad de los datos se definirá en función de los siguientes criterios:

| RATIO DQR | NIVEL DE CALIDAD GENERAL DEL DATO |
|-------------|-----------------------------------|
| ≤ 1.6 | Calidad alta |
| > 1.6 a ≤ 3 | Calidad básica |
| > 3 a ≤ 4 | Dato estimado |

Tabla 4. Nivel de calidad de dato propuesto por el ILCD Handbook

4.3.3. Paso 3. Evaluación del Inventario de Ciclo de Vida (LCIA)

El análisis de impactos facilita la interpretación y combinación de los datos del inventario de formas más manejables y significativas para la toma de decisiones. Los datos del LCI se agregan según las contribuciones relativas a un número medible de preocupaciones medioambientales. En esencia, la LCIA consiste en la conversión de los datos que componen el LCI a su repercusión al Medio Ambiente. Para ello, se siguen las siguientes acciones:

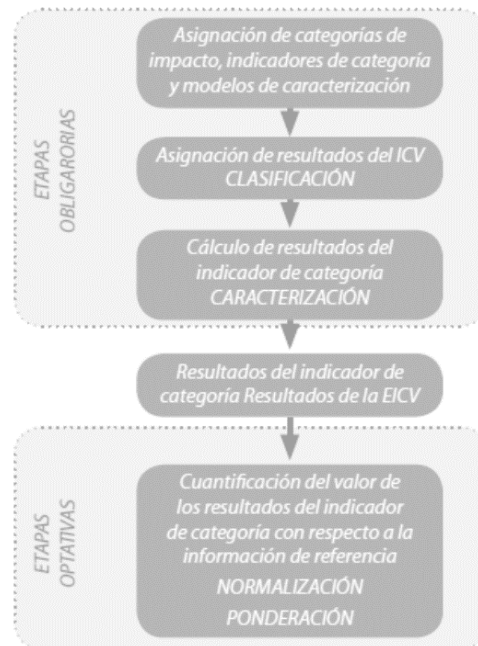


Ilustración 6. Esquema conceptual de la aplicación del LCIA según ISO 14040

- Elaboración de un inventario de categorías de impacto a que pueden dar lugar las diversas cargas ambientales generadas por el sistema del producto (efecto invernadero, acidificación, eutrofización, agotamiento de recursos, ...). Una categoría de impacto es un efecto específico que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de producto.

La evaluación del impacto es la agregación de los resultados del inventario de ciclo de vida en categorías de impacto ambiental determinadas. Las categorías se suelen dividir en dos grandes bloques según el último efecto del impacto ambiental:

- Categorías “midpoint”: Son categorías de impacto ambiental más cercanas a la intervención ambiental, con una mayor facilidad de interpretación científica de la relación causa-efecto. Proporcionan una información más detallada de qué manera y en qué punto se afecta al Medio Ambiente. Un ejemplo de categoría midpoint es el cambio climático.
- Categorías “endpoint”: Son categorías de impacto que afectan directamente a la sociedad, y por tanto su elección resultaría más relevante y comprensible a escala global. No obstante, la metodología para llegar a cuantificar el efecto último no está plenamente elaborada, o bien no existe el suficiente consenso científico, por lo de manera general se recurre a categorías midpoint. Un ejemplo de categoría endpoint es el daño a los ecosistemas.

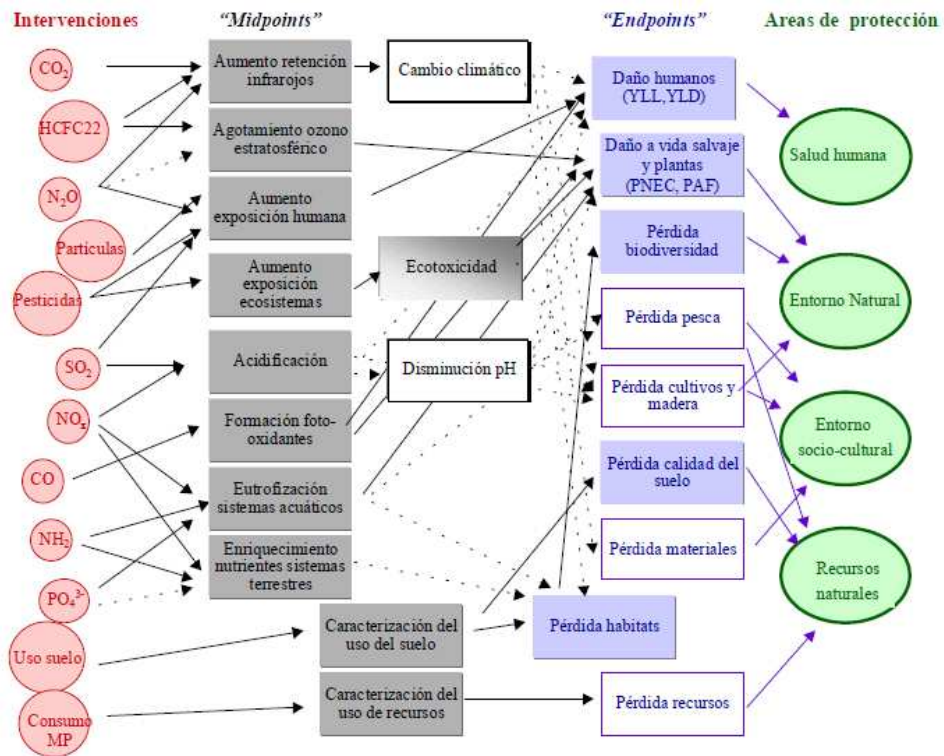


Ilustración 7. Esquematisación de las relaciones entre intervenciones ambientales, impactos "midpoint", impactos "endpoint" y áreas de protección (Udo de Haes y col., 1999b)

El ILCD Handbook recomienda 14 categorías "midpoint" y métodos de cálculo en el documento "Recommendations for Life Cycle Assessments in the European context". Los métodos recomendados de evaluación de impacto son aquellos orientados al modelo de daños de impactos reales, no potenciales, evitando la doble contabilidad.

| Impact category | Model | Source |
|---|---|---|
| Climate Change | Bern model - Global Warming Potentials (GWP) over a 100 year time horizon | Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 |
| Ozone Depletion | EDIP model based on the ODPs of the World Meteorological Organisation (WMO) | WMO 1999 |
| Ecotoxicity - aquatic, freshwater | USEtox model | Rosenbaum et al, 2008 |
| Human Toxicity - cancer effects | USEtox model | Rosenbaum et al, 2008 |
| Human Toxicity - non-cancer effects | USEtox model | Rosenbaum et al, 2008 |
| Particulate Matter/Respiratory Inorganics | RiskPoll model | Rabl and Spadaro, 2004 |
| Ionising Radiation - human health effects | Human Health effect model | Dreicer et al. 1995 |
| Photochemical Ozone Formation | LOTOS-EUROS model | Van Zelm et al, 2008 as applied in ReCiPe |
| Acidification | Accumulated Exceedance model | Seppälä et al.,2006, Posch et al, 2008 |
| Eutrophication - terrestrial | Accumulated Exceedance model | Seppälä et al.,2006, Posch et al, 2008 |
| Eutrophication - aquatic | EUTREND model | Struijs et al, 2009 as implemented in ReCiPe |
| Resource Depletion - water | Swiss Ecoscarcity model | Frischknecht et al, 2008 |
| Resource Depletion - mineral, fossil | CML2002 model | Van Oers et al 2002 |
| Land Transformation | Soil Organic Matter (SOM) model | Milà i Canals et al, 2007 |

Ilustración 8. Categorías midpoint recomendadas por el ILCD Handbook

A continuación, se indican algunas metodologías “endpoint” más relevantes y utilizadas:

| METODOLOGÍA | FASES DE EICV | | | | | CREADOR | CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL INCLUIDAS | DESCRIPCIÓN |
|--------------|---------------|-----------------|---------------|------------|-------------|--|---|--|
| | Clasificación | Caracterización | Normalización | Agrupación | Ponderación | | | |
| Ec99 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Pré Consultants | Carcinogénicas Respiratorios orgánicos Respiratorios inorgánicos Cambio Climático Radiación Destrucción capa ozono Eco toxicidad Acidificación y eutrofización Uso de suelo Uso de recursos minerales Uso de combustibles fósiles | Sucesor del Eco-Indicador 95. Su desarrollo comenzó con el estudio de asignación de pesos para el Eco-Indicador 95. Se cambió el sistema de evaluación de impactos: En lugar de evaluar cada una de las categorías de impacto, se evaluaron los diferentes daños causados por estas categorías de impacto, agrupándolos en tres niveles de daño: - Daños a la salud Humana - Daños a la calidad del Ecosistema - Daños a los Recursos. http://www.pre.nl/eco-indicator99/default.htm |
| RECIPE | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Pré Consultants | Destrucción capa ozono Toxicidad humana Radiación Smog fotoquímico Formación particulados Cambio Climático Eco toxicidad al suelo Acidificación al suelo Ocupación suelo rural Ocupación suelo urbano Transformación suelo natural Eco toxicidad marina Eutrofización marina Eutrofización agua dulce Eco toxicidad agua dulce Uso de combustibles fósiles Uso de recursos naturales Uso de agua | ReCiPe se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML2001 y Eco-Indicador99. La ventaja del método CML es su solidez científica, mientras que la ventaja del Eco-Indicador 99 es su facilidad de interpretación. Con ello, se han mejorado los modelos para el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, uso del suelo y agotamiento de recursos naturales. A su vez se han actualizado factores de caracterización para algunas categorías de impacto y para el paso de normalización. http://www.lcia-recipe.net/ |
| ECOPOINTS97 | | ✓ | ✓ | | ✓ | Swiss Ministry of the Environment (BUWAL) | Emisiones al aire Vertidos de aguas superficiales Vertidos de aguas subterráneas Vertidos al suelo Uso de recursos Residuos | Desarrollado en 1990, fue uno de los primeros métodos con método de ponderación final. Al igual que EcoIndicadores 95, es un método basado en la “distancia al objetivo”, en este caso fijado por la propia política medioambiental suiza. Este método no dispone de paso de clasificación, sino que evalúa los impactos de manera individual. Para el paso de normalización, dispone de de dos opciones. http://www.bafu.admin.ch/ |
| TRACI | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Environmental Protection Agency (EPA US) | Destrucción capa ozono Cambio Climático Smog fotoquímico Acidificación Eutrofización Efectos cancerígenos a la salud humana Efectos no cancerígenos a la salud humana Polución a la salud humana Eco toxicidad Agotamiento de combustibles fósiles Uso del suelo Uso de agua | Desarrollado en 1995, supone una herramienta informática para la evaluación de las 12 categorías de impacto que constituyen el método. Muchas de los mecanismos ambientales que soportan las categorías de impacto están importados de otras metodologías, como Ec99 y CML2001. Aunque TRACI tiene definidos los pasos de normalización y ponderación, a día de hoy no dispone del histórico suficiente de información que le permita realizar estos pasos con suficiente fiabilidad. http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/std/sab/traci/ |
| IMPACT 2002+ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | instituto de tecnología federal suizo de Lausanne (EPFL) | Toxicidad humana Efectos respiratorios Radiación ionizante Destrucción capa ozono Smog fotoquímico Eco toxicidad acuática Eco toxicidad del suelo Acidificación acuática Acidificación del suelo Acidificación y eutrofización del suelo Ocupación del suelo Cambio climático Energías no renovables Uso de recursos | Resultado de una combinación entre las metodologías IMPACT2002, Ec99, CML2001 e IPCC. http://www.epfl.ch/impact |

Ilustración 9. Metodologías y categorías de impacto ambiental endpoint

- Selección, para el sistema en estudio, y en función de los resultados del inventario, de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos que hay que considerar. Por ejemplo, la categoría de impacto “acidificación” precisa de una representación cuantitativa denominada indicador de la categoría “emisión de ácido equivalente”.
- Asignación de los resultados del inventario a las categorías de impacto a las que contribuyen, teniendo en cuenta que algunos de ellos pueden producir más de un impacto. Se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado.
- Cálculo de las contribuciones individuales de cada parámetro del inventario a un determinado impacto, calculándose posteriormente las contribuciones totales al mismo. Consiste en la modelización, mediante factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de las categorías de impacto seleccionadas.

Este paso puede completarse con un análisis de la importancia relativa de cada impacto considerado, mediante un proceso denominado “análisis técnico de significancia” o “normalización”. Esta etapa consiste en el cálculo de la contribución relativa del total de las cargas del producto/proceso en estudio a un impacto en un área y en un tiempo dado, de otra forma, los datos de la caracterización se normalizan dividiéndolos por la magnitud esperada de cada una de las categorías de impactos para un área geográfica y en un momento temporal determinado (por ejemplo, la cantidad media de dióxido de carbono generada por una persona durante el día). En resumen, se expresa la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto a un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal.

Gracias a este paso, los valores que se obtienen durante la caracterización y que están expresados en diferentes unidades, son trasladados a unidades que permitan su comparación y su interpretación posterior.

Por último y también de manera voluntaria, es posible realizar un proceso de valoración única en la LCIA. El objetivo de la valoración es obtener un gradiente de importancia de los impactos ambientales considerados. Para ello se realiza un análisis cualitativo o cuantitativo de ellos, con el fin de establecer prioridades, debiendo incluirse puntos de vista políticos, valores sociales, valores de expertos ambientales, valores del que toma la decisión, ... Esto lleva implícito cierto grado de subjetividad, aunque el procedimiento para incorporar factores de valoración puede tener en cuenta conocimientos científicos (sobre todo de ciencias sociales y de comportamiento) y los resultados, en principio, pueden ser empíricamente verificables.

Esta fase del LCA exige la realización de un importante número de cálculos. Sin embargo y con el paso de los años, existe a día de hoy en el mercado software específico que permite realizar con gran agilidad esta fase, partiendo siempre del LCI. A la hora de decantarse por uno u otro programa es necesario considerar diversos criterios: Número de bases de datos con las que puede trabajar, calidad de los datos, facilidad de manejo, trazabilidad de los datos obtenidos, gráficos, etc. Algunos ejemplos de este tipo de software más relevantes son los siguientes:





| SOFTWARE | DESARROLLADOR | CARACTERÍSTICAS |
|---|-----------------|--|
|  SimaPro SIMAPRO | Pré-Consultants | <ul style="list-style-type: none"> • Permite realizar LCA completos con diferentes metodologías de evaluación de impactos. • Permite realizar análisis tipo Life Cycle Assessment y Life Cycle Cost. • Dispone de varias bases de datos y protocolos para la realización guiada de LCAs. • Tiene la posibilidad de modificar en cualquier momento los parámetros del ciclo de vida del producto. • Posibilita la redacción de informes de acuerdo con la normativa ISO de LCA. • Permite exportar la información en formato Excel. |
|  thinkstep GaBi GABI | Thinkstep | <ul style="list-style-type: none"> • Además de las posibilidades convencionales permite realizar análisis tipo Life Cycle Assessment, Life Cycle Cost y Life Cycle Working Time. • Tiene la posibilidad de modificar en cualquier momento los parámetros del ciclo de vida del producto. • Posibilita la redacción de informes de acuerdo con la normativa ISO de LCA. |
|  umberto® <i>know the flow.</i> UMBERTO | Ifu Hamburg | <ul style="list-style-type: none"> • Dispone de una interface gráfica muy intuitiva que posibilita la elaboración de ciclos de vida de producto. • Permite realizar análisis tipo Life Cycle Assessment y Life Cycle Cost. • Tiene la posibilidad de modificar en cualquier momento los parámetros del ciclo de vida del producto. • Posibilita la redacción de informes de acuerdo con la normativa ISO de LCA. |
|  openLCA OPEN LCA | Ecobilan-PWC | <ul style="list-style-type: none"> • Herramienta completa y flexible pero difícil de utilizar. • Posibilidad de definición individual de los límites del sistema. • Posibilita la redacción de informes de acuerdo con la normativa ISO de LCA. |

Ilustración 10. Software para la realización de evaluaciones ambientales

4.3.4. Paso 4. Interpretación

La interpretación es la fase de un LCA en la que se combinan los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto. Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Permite determinar en qué fase de ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por lo tanto que puntos del sistema evaluado pueden mejorar o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cual presenta un mejor comportamiento ambiental.

Las recomendaciones acerca de la interpretación en el ILCD Handbook están basadas en prácticas comunes:

- Identificación de áreas significativas: Procedimiento para identificar aquellos datos que contribuyen mayoritariamente a los resultados obtenidos. Profundizando sobre cada uno de ellos se pueden argumentar las decisiones posteriores.
- Chequeos de completitud: Determina la manera en que la incertidumbre en los datos y las suposiciones evolucionan en los cálculos y de qué modo afectan en la confiabilidad de los resultados.
- Análisis de sensibilidad: Procedimiento para determinar la manera en la que los cambios en los datos y en las elecciones metodológicas afectan a los resultados.
- Análisis de consistencia: Asegura que toda la información y los datos pertinentes necesarios para la interpretación, están disponibles y completos.

Cabe destacar que los estudios de LCA tienen en la mayoría de casos un carácter iterativo. Esto permite enfocar esfuerzos en aquellos procesos, recursos o emisiones que son más relevantes de analizar en cada caso: Basado en la disponibilidad de datos y a la vista de la exactitud y precisión necesaria para responder a la cuestión planteada en el estudio, es habitual realizar de una a tres iteraciones antes de llegar a los resultados finales.



Ilustración 11. Representación esquemática de ciclo de vida de productos, mostrando cómo los materiales, la energía y el uso de recursos son consumidos y los impactos ambientales que causan sus emisiones y el uso de recursos

4.3.5. Informe de ACV

Los resultados y conclusiones de un LCA deben informarse de forma completa, exacta y sin sesgo al público previsto.

Los resultados, datos, métodos, suposiciones y limitaciones deben ser transparentes y presentarse con suficiente detalle para permitir al lector comprender las complejidades de las compensaciones de información inherentes en el LCA. El informe también debe permitir que los resultados e interpretación se utilicen de forma coherente con los objetivos del estudio.

El ILCD Handbook diferencia tres tipos de informe con requerimientos cada vez más exigentes:

1. Informe interno, donde no existen provisiones pero si recomendaciones orientadas hacia "informes de terceras partes".
2. Informes de terceras partes.
3. Estudios comparativos destinados hacia el público.

4.3.6. Revisión crítica

El proceso de revisión crítica debe asegurar que:

- Los métodos utilizados para realizar el LCA son coherentes con las normas de la familia ISO 1404X.
- Los métodos utilizados para realizar el LCA son válidos científica y técnicamente.
- Los datos utilizados son apropiados y razonables en relación con el objetivo del estudio.
- Las interpretaciones reflejan las limitaciones identificadas y el objetivo del estudio.
- El informe del estudio es transparente y coherente.

El alcance y tipo de revisión crítica deseada debe definirse en la fase de alcance del LCA y debe registrarse el tipo de revisión crítica seleccionada.

Para disminuir la probabilidad de malentendidos o efectos negativos en partes interesadas externas, un panel de partes interesadas debe realizar las revisiones críticas de los estudios de LCA cuando los resultados se van a utilizar para apoyar una aseveración comparativa prevista para su divulgación al público.

En el ILCD Handbook se especifica un esquema para categorizar a los revisores críticos, y una autodeclaración para cualificarlos.

| CASE | Additional Reviewer(s) skills, besides general skills |
|--|---|
| Micro level LCI data sets | Technical and market aspects of the industrial sector to which the LCI data set refers. |
| LCIA models | Environmental modelling; fate and damage modelling. |
| LCIA factors | Environmental modelling; fate and damage modelling, particularly different effects from different geographies. |
| Comparisons and comparative assertions | Technical and market aspects of the industrial sector to which the LCA refers. |
| Meso/macro level LCA studies and indicators (non technical audience) | Scenario formation, technology forecasting, equilibrium modelling if applicable. Technical and market aspects of the industrial sector to which the LCA refers. |
| Meso/macro level LCA studies (technical audience) | Scenario formation, technology forecasting, equilibrium modelling if applicable. Technical and market aspects of the industrial sector to which the LCA refers. |
| LCA studies for identifying type I Ecolabel criteria and Eco-design "Key Environmental Performance Indicators" | Technical and market aspects of the industrial sector to which the LCA refers. |
| Calculation of indirect aspects in EMS | ISO 19011 – 19012 standards. Experience and competence in LCA-related issues. |
| LCA studies for Environmental Product Declarations (EPD) development | Environmental management related to industrial processes. Technical and market aspects of the industrial sector to which the LCA refers. |
| Environmental Product Declarations (EPD) | For further details see ISO 14025. |
| Product Category Rules (PCR) for type III, product-group and sector-specific guides | For further details see ISO 14025. Also technical and market aspects of the industrial sector to which the PCR refers. |

Ilustración 12. Resumen general de esquemas de revisión para los principales casos de estudios LCA

4.4. Limitaciones del LCA

Los LCA tienen varias limitaciones, por lo que deben ser cumplimentados con otros métodos o instrumentos, dependiendo de la cuestión específica a ser resuelta y la relevancia de las limitaciones para el caso correspondiente.

- Reproducibilidad: La reproducibilidad de los resultados y las recomendaciones del LCA todavía no pueden estar garantizadas de manera satisfactoria. Esto se debe a que las principales normas ISO dejan mucho pie a la interpretación por parte de los desarrolladores de los estudios.
- Disponibilidad y calidad de los datos LCI: La alcanzable calidad de un LCA y de ahí la robustez en la toma de decisiones, ha sido limitada por la relativa baja disponibilidad de datos de calidad y consistentes. A menudo este es el principal problema que afecta al desarrollo de LCAs por parte de las empresas.
- Incertidumbre de los métodos de evaluación de impactos y sus factores: Los métodos LCIA tienen a menudo un alto grado de incertidumbre y para algunas áreas importantes (p.e. uso de tierra, uso excesivo de agua) no hay todavía métodos robustos y testeados a fondo.
- Aseguramiento de la calidad: No hay requerimientos claros sobre cómo seleccionar revisores independientes y cualificados, cómo llevar a cabo el proceso de revisión, su alcance exacto y los métodos de revisión a emplear para llevar a cabo un aseguramiento de la calidad aceptado ampliamente de los datos del ciclo de vida y su evaluación.
- Coste y complejidad/falta de practicidad: A menudo los LCAs fiables son a menudo considerados como grandes consumidores de recursos y de tiempo, que además requieren de expertos en la materia, de ahí su limitada practicidad.

No hay que olvidar que el LCA sólo recoge las presiones que actúan a través del Medio Ambiente, como por ejemplo las emisiones a la naturaleza y el uso o extracción de recursos de la naturaleza. No incluye el efecto directo de los productos en el ser humano, como por ejemplo los potenciales efectos sobre la salud de la aplicación de productos de estética o higiene personal, o medicina, o de la propia comida (el LCA sólo cubre los efectos de los contaminantes a través de la comida). Tales efectos sobre la salud son realizados mediante métodos de evaluación de riesgo que actualmente complementan sistemáticamente a los estudios de LCA. Además, emisiones internas y aquellas existentes en los lugares de trabajo no son consideradas en la mayoría de LCAs, aunque se están comenzando a desarrollar dentro de su marco factores de impacto para que sean tenidos en cuenta.

El LCA se refiere a la gestión de productos y procesos de manera regular relacionados con su producción, uso y fin de vida, por lo que no cubre accidentes, por ejemplo. A este respecto, se están desarrollando LCAs que pretenden evaluar el impacto de estos accidentes.

Otros instrumentos pueden resultar igualmente complementarios a los propósitos y objetivos del LCA, mientras que puede hacer frente al mismo sistema o producto. Ejemplos de ello son la evaluación de riesgos químicos que son aplicados con propósito de establecer límites regulatorios o los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) que son utilizados para evaluar impactos locales en detalle.

4.5. Evolución de la metodología del LCA

Dentro de la sostenibilidad global, se puede considerar al pilar medioambiental y sus estudios asociados al Ciclo de Vida (LCAs) como los pioneros frente a los pilares económico y social. Es por ello que a lo largo de los años que es el que más ha evolucionado, y con el paso de los años han sido desarrolladas diferentes herramientas para el desarrollo y difusión del concepto de Ciclo de Vida, con el objetivo todas ellas de facilitar su aplicabilidad a diferentes sectores, productos y servicios. No obstante, uno de los principales problemas originados ha sido la falta de consenso por parte de los desarrolladores de estas herramientas a la hora de definir las:

- Deja en manos del experto un importante rango de importantes elecciones, que pueden afectar negativamente a la comparabilidad y fiabilidad de los resultados de la evaluación.
- De igual forma, las metodologías detrás de los Ciclos de Vida de los datos (o datasets) pueden variar enormemente, por lo que los datos son a menudo incompatibles.
- Una única fuente de datasets puede cubrir toda la demanda de necesidades de evaluación.
- Mientras que es necesaria una cierta flexibilidad para responder a la gran variedad de cuestiones surgidas en torno al LCA, es necesaria la aparición de guías más exhaustivas.

Esto ha dado lugar a situaciones como que diferentes herramientas LCA aplicables a un mismo producto ofrezcan valores de impacto ambiental diferentes, o el mismo cálculo de impacto ambiental para un mismo producto ofrezca resultados diferentes dependiendo del método empleado.

A nivel industrial esto origina un grave problema: Puede darse el caso que una empresa que intenta satisfacer las demandas externas de información ambiental se encuentre con diferentes requisitos de información del ciclo de vida de sus productos, según las metodologías exigidas por sus clientes.

Para solventar este problema, existe una tendencia general hacia la homogeneización y reconocimiento de metodologías. A nivel internacional y utilizando como base la familia de normas ISO 14040, se pueden considerar tres métodos de desarrollo de estudios LCA que han tratado este problema:

International Life Cycle Data Reference (ILCD), desarrollados por la Plataforma Europea del Análisis de Ciclo de Vida (EPLCA) <http://lct.jrc.ec.europa.eu>.

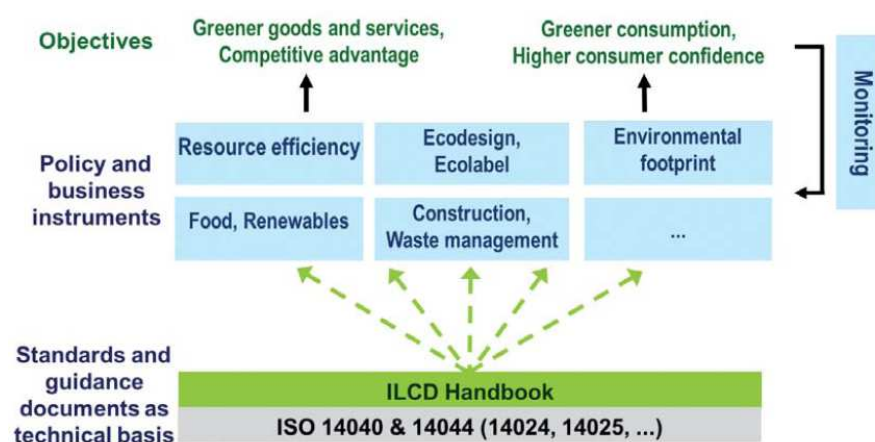


Ilustración 13. Relación del ILCD Handbook con la aplicación del concepto del ciclo de vida en diferentes áreas y sectores

El objetivo del ILCD Handbook es fortalecer la coherencia de los instrumentos de la política y el mercado basados en el ciclo de vida, basados en la construcción de una base técnica y metodológica común.

El ILCD Handbook consta de una serie de documentos técnicos desarrollados por el JRC-IES (Joint Research Center – Institute for Environment and Sustainability) of the European Commission. A pesar del nombre, el ILCD Handbook no es un manual completamente operacional (por ejemplo, no lista factores de caracterización para métodos recomendados de evaluación de impactos ambientales). Toda la documentación correspondiente al ILCD Handbook está disponible en la web, y consta de los siguientes documentos:

- Guía general para el LCA, en dos versiones:
 - Guía detallada
 - Provisiones y pasos de actuación
- Guía específica para los datos del LCI
- Guía para la evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA), consistente en tres partes:
 - Marco y requerimientos para el LCIA, modelos e indicadores
 - Análisis de metodología de evaluación de impactos ambientales existentes para el uso en LCA
 - Recomendaciones para el uso del LCIA en el contexto europeo
- Guías para revisiones
 - Esquemas de revisión para LCA
 - Cualificación del revisor para los datos del LCI

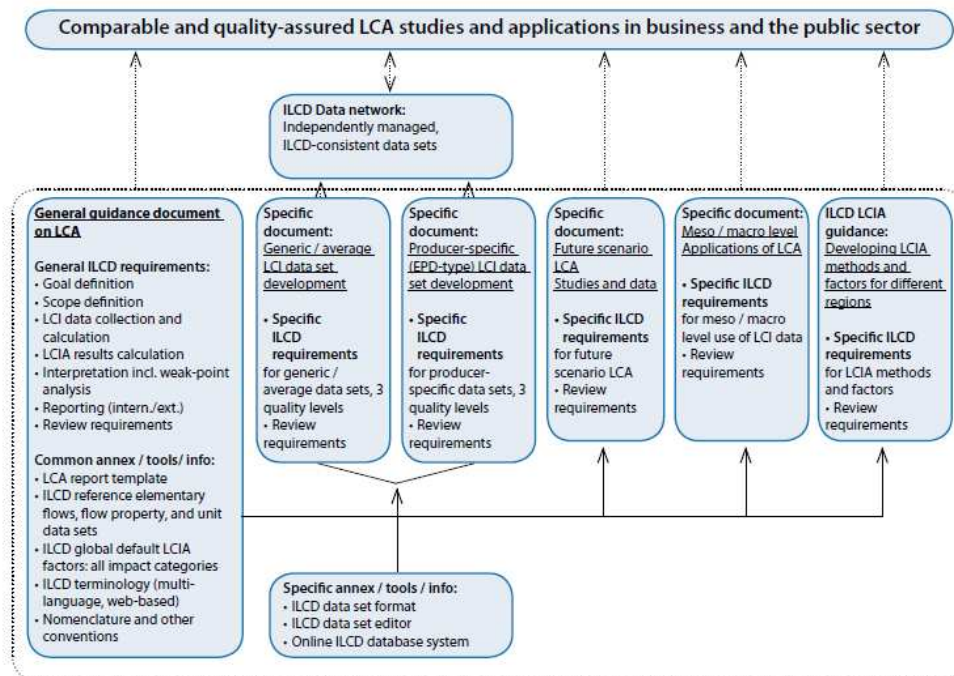


Ilustración 14. Esquema documental del manual ILCD

A pesar de los esfuerzos realizados, el uso completo del ILCD Handbook es muy complicado, debido a su complicada estructura y a sus inconsistencias internas. En vez de rehacer dicho documento, la Comisión Europea ha dedicado sus esfuerzos en desarrollar la metodología de la Huella Ambiental de Producto (la metodología PEF no deja de ser la actualización práctica del ILCD Handbook), la cual se explicará más adelante.

Life Cycle Initiative, creado en 2002 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (SETAC). <https://www.lifecycleinitiative.org/>



Esta es una asociación público-privada de múltiples stakeholders, que permiten el uso global del conocimiento basado en el ciclo de vida de manera creíble por parte de otros agentes decisores de la cadena de valor.

Coordinada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), esta iniciativa se enmarca entre usuarios y expertos en el enfoque de ciclo de vida. Proporciona un foro global que garantice un proceso de creación basado en la ciencia y en el consenso para apoyar decisiones y políticas hacia la visión compartida de la sostenibilidad como un bien público.

A su vez, ofrece una opinión autorizada sobre herramientas y enfoques sólidos mediante la participación de su asociación de múltiples partes interesadas (incluidos gobiernos, empresas, organizaciones científicas y de la sociedad civil).

La iniciativa facilita la aplicación del conocimiento del ciclo de vida en la agenda global de desarrollo sostenible con el fin de alcanzar objetivos globales de manera más rápida y eficiente.

Sustainability Consortium, iniciativa multiagente de los Estados Unidos. <http://www.sustainabilityconsortium.org/>



El Sustainability Consortium (TSC) es una organización global sin fines de lucro que trabaja para transformar la industria de bienes de consumo al asociarse con empresas líderes para definir, desarrollar y ofrecer una agenda de productos más sostenible para alcanzar objetivos globales de manera más rápida y eficiente. A diferencia de las dos anteriores, la característica principal de esta iniciativa es que está promovida por el propio mercado, que evidencia la necesidad de incluir la sostenibilidad como un factor más a tener en cuenta.

Entre los miembros del consorcio hay productores, minoristas, proveedores, ONGs, agencias gubernamentales y universidades. Con este múltiple enfoque, uno de los objetivos de TSC es el de desarrollar herramientas de decisión que ayuden a implementar y tener en cuenta la sostenibilidad en todo el ciclo de vida del producto, y a lo largo de su cadena de valor. Internamente, se crean grupos de trabajo que investigan, analizan y desarrollan indicadores, métodos y herramientas específicos para diferentes grupos de producto y categorías de producto.

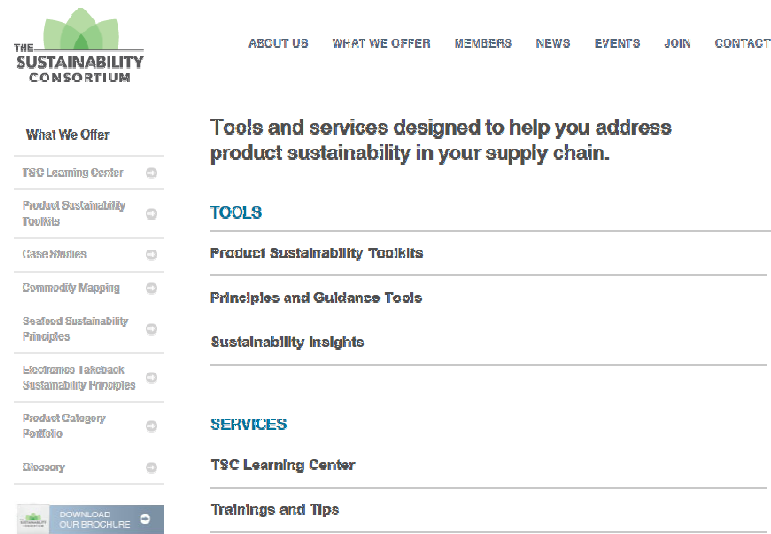


Ilustración 15. Imagen de la web TSC

Como se puede ver, existen a día de hoy una gran cantidad de acciones que buscan la consideración ambiental en el ciclo de vida de los productos y servicios. No obstante, y a pesar de la buena voluntad de las mismas, esto origina problemas importantes contraproducentes a una correcta evolución y asimilación por parte del mercado.

Por ejemplo, una determinada empresa que desee comercializar su producto como “verde” en el Reino Unido, Francia, Italia y Suiza deberá aplicar diferentes esquemas para competir en función del desempeño ambiental en los diferentes mercados nacionales. En Francia, necesitaría llevar a cabo una evaluación ambiental de acuerdo con el método francés (BP X30-323); en el Reino Unido, necesitaría aplicar el protocolo PAS 2050 o el protocolo GHG de WRI; en Suiza, necesitaría aplicar el enfoque suizo (actualmente en desarrollo); en Italia, tendría que unirse al esquema de huella de carbono reconocido por el gobierno, y llevar a cabo otro análisis. La misma empresa también necesitaría desarrollar una Declaración de Producto Ambiental (EPD) basada en ISO 14025 para el mercado sueco. Luego, es posible que necesitara realizar varias EPDs ya que existen al menos seis sistemas EPDs competidores en todo el mundo con sus propias características, incluso aquellos basados en ISO 14025.

Este tipo de problemas para las empresas son posteriormente trasladados a los consumidores. Su situación actual es de confusión debido a la corriente de información ambiental incomparable y diversa. Según datos del Eurobarómetro, el 59% piensa que las etiquetas de los productos no brindan suficiente información, y el 48% piensa que las etiquetas no son claras. Alrededor de la mitad de los consumidores europeos piensan que no es fácil diferenciar entre productos respetuosos del medio ambiente y otros, y solo la mitad de ellos confía en las afirmaciones de los productores sobre el desempeño ambiental. Esto también influye en su disposición a realizar compras ecológicas.

Y es que tal y como se ha comentado con anterioridad, la tendencia actual busca la homogeneización y lenguaje común en el ámbito de la perspectiva de ciclo de vida. Por ese motivo la Comisión Europea lanzó la iniciativa “Single Market for Green Products” <http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/>

A través de esta iniciativa, se proponen dos métodos para la evaluación ambiental del ciclo de vida: Uno para producto, denominado Huella Ambiental de Producto (PEF o HAP) y otro para organización, denominado Huella Ambiental de Organización (OEF o HAO). Ambos métodos pretenden establecer una forma común de medir el desempeño ambiental. <http://www.boe.es/doue/2013/124/L00001-00210.pdf>

La Guía PEF da pautas claras sobre qué metodologías usar y dispone de requerimientos específicos para el usuario. Estos requerimientos están siendo testeados por diferentes grupos industriales, y se espera como objetivo final que la Guía PEF evolucionará hasta una metodología de LCA común y aceptada a nivel

europeo que permita la comparación de productos (el ILCD Handbook deja la puerta abierta a opciones que hacen imposible la comparabilidad) y pueda estimular a las compañías a tomar importantes decisiones a la hora de cambiar productos y servicios hacia productos con mayores comportamientos ambientales.

El enfoque se ha probado entre 2013-2017 junto con más de 280 empresas y organizaciones de voluntariado. El objetivo es comprender el potencial real de los métodos antes de proponer nuevas políticas. En función de los resultados de las pruebas, la Comisión Europea propondrá cómo usar los métodos de huella ambiental de productos y organizaciones en las políticas. La propuesta estará sujeta a una evaluación de impacto y una consulta pública.

4.6. Acceso a la información

No cabe duda que la evolución y sensibilización del mercado gracias a la creciente demanda del consumidor final y a la cada vez mayor presión legislativa está favoreciendo la progresiva consideración e incorporación al día a día de la perspectiva del ciclo de vida de los productos y servicios.

Habitualmente son las compañías de mayor tamaño y sus grandes cadenas de valor las primeras en tener en cuenta el ciclo de vida, siendo las empresas más pequeñas las últimas en realizar este tipo de estudios, en muchos casos como consecuencia de la acción de tracción de la cadena de suministro que ejercen sus clientes más grandes. En muchas ocasiones esta acción es vista desde el tejido empresarial como una imposición más, en vez de ser vista como una oportunidad de mejora.

Para dar respuesta a este tipo de imposiciones, **las empresas realizan los estudios LCA de manera exclusiva y dedicada, sin considerar los posibles beneficios que puede reportarles.** Este tipo de situaciones se da en los casos en los que no se considera de especial aportación de valor la realización de estudios LCA por parte de la empresa. Es decir, **generalmente las empresas que realizan estudios de LCA no lo tienen completamente integrado en su día a día, sino que los realizan en paralelo a sus actividades.**

Bien sea por imposición o bien sea como búsqueda de oportunidad, aquellas empresas que deseen realizar estudios LCA van a encontrarse con un importante problema a resolver y que por lo general supone una importante barrera a una mayor consideración del ciclo de vida en las actividades industriales: la recopilación de información necesaria que sirva para desarrollar el LCI del estudio.

No es frecuente afrontar este problema directamente, y muchas de las soluciones buscadas no responden directamente a la identificación de este problema, sino que surgen como consecuencia de otro tipo de problemas que afectan a la empresa. Sin embargo, todas ellas tienen como nexo común las nuevas tecnologías de información y comunicación (TICs). Se muestran a continuación algunos ejemplos de este tipo de soluciones:

1. Recopilación de ICV → Internet de las cosas o Internet of Things (IoT): Este concepto radica en que los objetos que nos rodean y que usamos diariamente estén conectados a internet en cualquier momento y lugar. Este concepto está altamente relacionado con la ubicuidad. En términos más técnicos, diríamos que consiste en integrar una serie de componentes electrónicos en la fase de diseño de estos objetos cotidianos con el fin de dotarles de conectividad a internet. Dado que internet está presente en casi cualquier rincón del planeta y que el tamaño y coste de la electrónica ha disminuido de manera notable en las últimas décadas, cualquier objeto es susceptible de ser conectado, manifestarse en la red y actuar como fuente de datos. La conectividad a la red es la base del IoT. Sin embargo, los objetos conectados deben desempeñar un rol para sacar rédito a su ubicuidad y poder ser considerados como objetos inteligentes. Para ello, son necesarios tres pilares: 1) componentes computacionales que permitan procesar información —ej. micro-controladores—; 2) sensores que permitan obtener información física del entorno y convertirla en información procesable digitalmente —ej. luminosidad, movimiento, temperatura—;

y 3) actuadores, que son dispositivos electrónicos que permiten modificar o generar un efecto sobre la física del entorno —ej. motores, altavoces—.

Las aplicaciones del Internet de las Cosas cubren un amplio espectro de nuestra vida cotidiana, siendo uno de los campos en el que está empezando a tener y se prevé tendrá gran relevancia, es el de la sostenibilidad medioambiental. Por ejemplo, en el proyecto "PEACOX" (<http://www.project-peacox.eu/project-overview/>) se monitorizaba la calidad del aire con la idea de promover el uso de rutas alternativas con baja contaminación atmosférica para conductores, ciclistas, viandantes. En el campo de los edificios públicos, uno de los objetivos del nuevo programa H2020 apunta al diseño de sistemas de control de presencia para hacer un uso eficiente de la calefacción y alumbrado por zonificación. Por último en el ámbito del hogar la domótica copa la mayoría de los proyectos de IoT (lavadoras que ajustan su programa al momento del día en que la energía es más barata y proviene de fuentes renovables, termostatos inteligentes que aprenden las preferencias y horarios de los habitantes del hogar para realizar un uso eficiente de la calefacción sin perder confort, o electrodomésticos inteligentes que son capaces de aprender la forma y frecuencia en la que son utilizados con el fin de promover un uso eficiente de los mismos.

2. Gestión del ICV → Granta Design: Gestión de la tecnología de información sobre materiales, combinando ciencia e ingeniería de materiales gracias a herramientas software de características muy definidas:
 - Sistemas de gestión de la información sobre materiales en empresas de ingeniería.
 - Simulación/gestión de ciclo de vida de producto en coordinación con software CAD, CAE y/o PLM para usuarios de diseño.
 - Selector automatizado de alternativas en materiales y procesos para la toma de decisiones críticas.
 - Bibliotecas automatizadas de datos de referencia de plásticos, metales, composites, cerámicas, materiales naturales, etc.

<http://www.grantadesign.com/eco/ecodesign.htm>

3. Integración del LCA desde el diseño → SOLIDWORKS Sustainability: Proporciona un LCA de comprobación del impacto medioambiental de todo el diseño, con una integración perfecta en los procesos de diseño. Incluye las distintas herramientas de SustainabilityXpress (evaluación de piezas, búsqueda de materiales alternativos y panel de impacto medioambiental) con funciones adicionales para evaluar tanto piezas como ensamblajes mediante parámetros como la distancia y el modo de transporte, la energía del montaje y el consumo de energía de la fase de uso. Las entradas flexibles, como nivel de contenido reciclado y situaciones de final de vida útil, permiten evaluaciones más detalladas. También puede llevar a cabo comparaciones medioambientales dependientes del tiempo mediante las vidas útiles variables de distintas soluciones de diseño.

Los resultados de evaluación se guardan para la configuración de cada diseño, lo que le ayuda a comparar versiones fácilmente. La herramienta de visualización de ensamblajes clasifica el impacto de las piezas de su ensamblaje para identificar y reevaluar la sostenibilidad del diseño. La perfecta integración y la generación de informes automática le permiten comunicar de forma rápida su solución de diseño sostenible.

Utiliza la base de datos de impacto medioambiental GaBi LCA de Thinkstep, posibilitando además la descarga de actualizaciones cuando estén disponibles e incluso solicitar nuevos conjuntos de datos LCA para los materiales y procesos personalizados como servicio Premium en la colaboración con PE International.

<https://www.solidworks.es/sw/products/simulation/solidworks-sustainability.htm>

4. Integración desde la gestión del ciclo de vida → Teamcenter de Siemens: Un sistema PLM empresarial impulsa la innovación al proporcionar la información adecuada para tomar decisiones más inteligentes que se traduzcan en mejores productos.

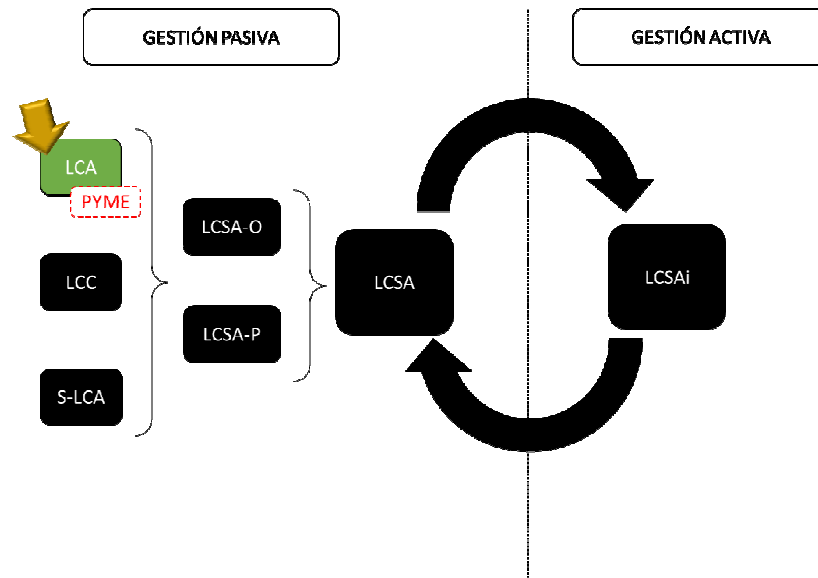
El catálogo de aplicaciones para la gestión del ciclo de vida de un PLM permite adoptar las decisiones adecuadas para las tareas que se están realizando, al tiempo que unifica los diversos flujos de trabajo dentro de una única fuente de conocimientos de productos y procesos:

- Gestión de requerimientos e ingeniería de sistemas
- Gestión de portfolios, programas y proyectos
- Gestión de procesos de ingeniería
- Gestión de listas de materiales
- Cumplimiento de normativas
- Cumplimiento de normativas medioambientales y de sostenibilidad
- Gestión de contenidos y documentación
- Gestión de fórmulas, envases y marcas
- Gestión de la integración con proveedores
- Gestión de procesos de fabricación
- Gestión de procesos de simulación
- Mantenimiento, reparación y revisión
- Elaboración de informes y análisis
- Colaboración en comunidad
- Gestión del conocimiento empresarial
- Servicios de ampliación de plataformas
- Visualización del ciclo de vida

La información sobre materiales y sustancias integrada de forma inteligente proporciona una única fuente de datos compatibles que se adapta al Diseño para el Medio Ambiente (DfE). Gracias a este control también se reducen los riesgos de no cumplimiento de normativa relacionada con la sostenibilidad, estableciendo procesos de control en todo el ciclo de vida del producto. De esta manera, se facilita el registro y documentación del cumplimiento de los mismos, estableciendo la propiedad, el seguimiento de las distintas responsabilidades y auditando el cumplimiento en sí.

https://www.plm.automation.siemens.com/es/products/teamcenter/index.shtml#lightview%26url=/es_es/Images/4680_tcm52-79817.pdf%26title=Documentaci%C3%B3n%20de%20Teamcenter%20%26description=%26docType=pdf

4.7. Adaptación del LCA a la PYME



A pesar de que se puede ver la evolución de las tendencias a simplificar los problemas de realizar un estudio LCA, no hay que olvidar que el objetivo general de la tesis pasa por acercar soluciones aplicables en Ecoinnovación para las PYMEs, para las cuales a día de hoy este tipo de soluciones están todavía lejanas.

En definitiva, en la sistemática tradicional de realización de un estudio LCA se puede ver que **el principal hándicap radica en la disponibilidad y calidad de la información disponible de los mismos**. Esto es, en el acceso a LCIs coherentes con los estudios a realizar. Este problema no va a ser exclusivo de la realización de análisis de carácter ambiental. Será recurrente en los otros dos pilares de sostenibilidad (económico y social), salvo que los problemas asociados a su cálculo tendrán otra serie de características que se abordarán en capítulos posteriores.

Para la introducción a medida de los recursos disponibles de las PYMEs, se plantea el siguiente esquema de trabajo para la introducción del concepto LCA en sus organizaciones:

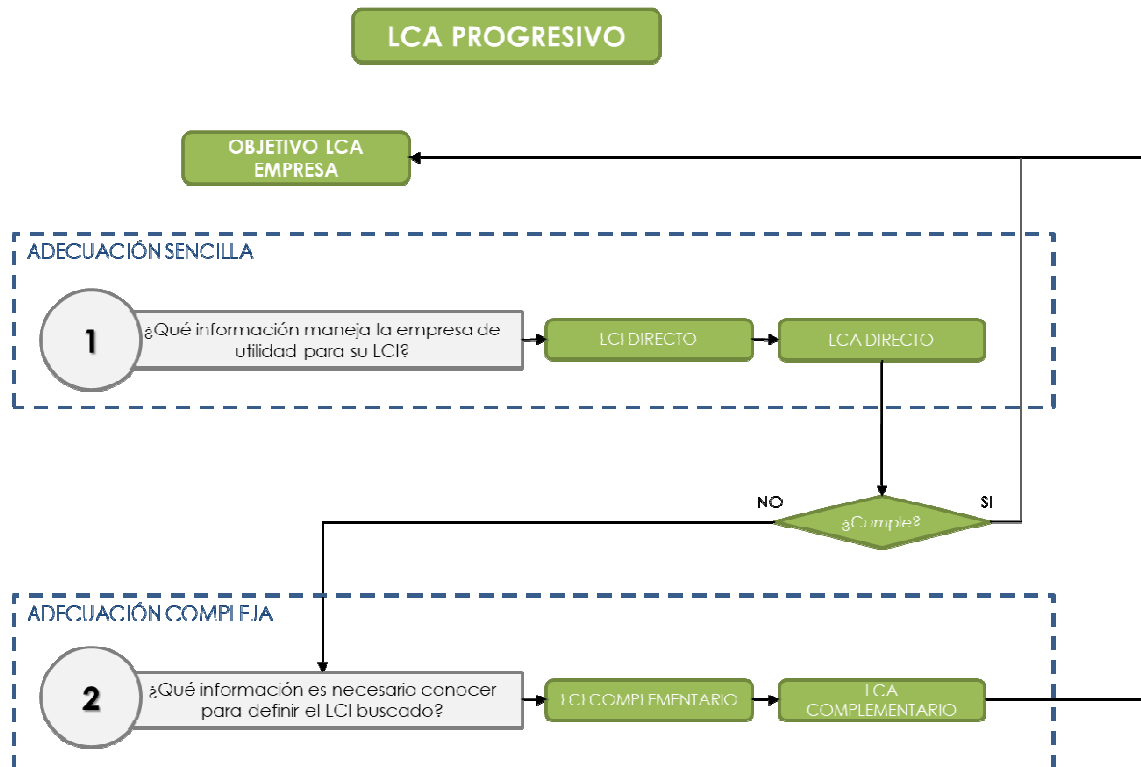


Ilustración 16. Esquema para la gestión progresiva del LCI para un LCA de una PYME

Su funcionamiento se divide en dos pasos, denominados adecuación sencilla y adecuación compleja:

- **En la adecuación sencilla**, la empresa identifica qué información tiene a su disposición de manera actual con información potencial para conocer su repercusión ambiental. Es muy importante conocer tanto la información disponible como su procedencia o fuente de la propia información, para conocer las características de la misma. En ese sentido, **la principal fuente de información de la que dispone una PYME es aquella que le es de obligado cumplimiento para su funcionamiento**. Las obligaciones legales mínimas que han de cumplir las empresas son:
 - o Código de Comercio
 - o Plan General Contable
 - o Normativa Fiscal
 - Impuesto Sobre Sociedades (ISS)
 - Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas (IRPF)
 - Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA)

Las personas jurídicas que realizan una actividad empresarial deben legalizar los **Libros de Contabilidad** y presentar sus **Cuentas Anuales** en el Registro Mercantil de la provincia en que radique su domicilio social. Los libros de contabilidad obligatorios son el Libro Diario y las Cuentas Anuales:

- o **Libro Diario**: Registra cada una de las operaciones de la actividad económica de forma cronológica. Se debe elaborar cada ejercicio económico, que puede coincidir con el año natural o no. La legislación establece que debe abrirse con la situación inicial de la empresa (asiento de apertura), recoger las operaciones de todo el año y cerrarlo con un registro de la situación a final del año (asiento de cierre).
- o Las **Cuentas Anuales** comprenden los siguientes documentos que comprenden una unidad:

- Balance: En él figuran de forma separada el activo, el pasivo y el patrimonio neto. El activo comprenderá con la debida separación el activo fijo o no corriente y el activo circulante o corriente. En el pasivo se diferenciarán con la debida separación el pasivo no corriente y el pasivo circulante o corriente. En el patrimonio neto se diferenciarán, al menos, los fondos propios de las restantes partidas que lo integran.
- Cuenta de pérdidas y ganancias: Recoge el resultado del ejercicio, separando debidamente los ingresos y los gastos imputables al mismo, y distinguiendo los resultados de explotación, de los que no lo sean.
- Estado que refleje los cambios en el patrimonio neto del ejercicio, que tendrá dos partes:
 - La primera refleja exclusivamente los ingresos y gastos generados por la actividad de la empresa durante el ejercicio, distinguiendo entre los reconocidos en la cuenta de pérdidas y ganancias y los registrados directamente en el patrimonio neto.
 - La segunda contendrá todos los movimientos habidos en el patrimonio neto, incluidos los procedentes de transacciones realizadas con los socios o propietarios de la empresa cuando actúen como tales. También se informará de los ajustes al patrimonio neto debidos a cambios en criterios contables y correcciones de errores.
- Estado de flujos de efectivo: Pone de manifiesto, debidamente ordenados y agrupados por categorías o tipos de actividades, los cobros y los pagos realizados por la empresa, con el fin de informar acerca de los movimientos de efectivo producidos en el ejercicio.
- Memoria: Completa, amplía y comenta la información contenida en los otros documentos que integran las cuentas anuales.

La información que ha localizado la PYME para dar respuesta a los requisitos anteriores va a ser de utilidad para poder realizar el LCA. Esta información será considerada en bruto, es decir, información que la empresa dispone de primera mano sin que se haya realizado ningún tipo de tratamiento de la misma. Con la información actualmente disponible se podrá obtener un LCI automático o "LCI directo" que no supondrá ningún esfuerzo a la PYME, y que permitirá a su vez obtener directamente un impacto ambiental de sus actividades o "LCA directo".

Posteriormente la PYME, de acuerdo a la metodología LCA vista a lo largo de este capítulo, se preguntará si los resultados obtenidos en materia medioambiental satisfacen los objetivos por los que comienza a involucrarse en conceptos relacionados con el Life Cycle Thinking. Valorará si el LCA directo obtenido de esta adecuación sencilla cumple con lo que está actualmente buscando. Si es así, no irá más allá dentro de este esquema. Si no cumple con los objetivos buscados, bien por ser más ambiciosos o ser más exhaustivos, será necesario pasar a la adecuación compleja.

- **En la adecuación compleja** se identificarán las necesidades de información necesaria para complementar el estudio LCA, lo que se ha dado en denominar "LCI complementario". Estas necesidades pueden ser de dos tipos:
 - o Relacionadas con el tratamiento del LCI directo actual de la PYME. En este caso, será necesario profundizar en el tratamiento de la información disponible para adecuarla a los objetivos buscados, ya que los datos de los que dispone habitualmente la empresa son generalmente para toda la actividad y no para cada ciclo de vida de producto y/o servicio que genera. Uno de los principales retos que debe afrontar la PYME que afronte estos pasos será el de asignar la parte correspondiente del global de su actividad a cada uno de estos productos y/o servicios que genera.

- o Relacionadas con la disponibilidad de mayor información para el LCI. En este caso, será necesario aumentar la recopilación de información a gestionar, lo cual supondrá un mayor esfuerzo por parte de la empresa. Por lo general, esta falta de información se ubica en otras áreas del Ciclo de Vida del producto ajenas a la empresa. Concretamente, se localiza tanto “aguas arriba” (UPSTREAM), en la disponibilidad de información asociada a los proveedores de la empresa y toda la cadena de suministro asociada como “aguas abajo” (DOWNSTREAM), con el uso y fin de vida que los clientes de la empresa realizan de los productos y servicios. Debido a que este tipo de información no es medible exclusivamente por la PYME, es muy importante mantener fuertes canales de comunicación con estos agentes de Ciclo de Vida para suplir esta carencia.

El resultado obtenido se ha denominado “LCA complementario”, ya que supone un esfuerzo extra por parte de la PYME a la hora de obtener los objetivos previstos. Será la empresa quien deba tomar una decisión al respecto: O bien asumir dicho esfuerzo para llegar a los objetivos planteados, o bien verificar los propios objetivos que pretende cumplir para adecuarlos al LCI directo que tiene calculado.

4.8. Aplicación del LCA para PYMEs a un caso práctico

La adaptación descrita en el apartado anterior ha sido en parte desarrollada dentro de los trabajos realizados en el marco de un proyecto financiado a través de la primera convocatoria del Programa Operativo EP – INTERREG V A España Portugal (POCTEP) 2014-2020.

Uno de los objetivos del proyecto ha sido la realización de un marcado ambiental específico en Ecodiseño, que permitiera reconocer en el mercado aquellos productos y servicios de pequeñas empresas que hayan logrado mejoras significativas, pero que no les supusiera el esfuerzo de una sistematización de dichas mejoras como las recogidas en la norma ISO 14006. Para este sello se ha desarrollado un método simplificado de evaluación ambiental del ciclo de vida de los productos, que no supusiera el esfuerzo de un ACV exhaustivo para las empresas y que permitiera tener un perfil ambiental a partir de los datos que manejan habitualmente.

De cara a la evaluación medioambiental propiamente dicha, se han considerado en el método propuesto varias categorías de impacto ambiental. A través de estas categorías se pretende caracterizar de manera representativa las principales afecciones que puede causar la actividad humana al Medio Ambiente:

| CONTAMINACIÓN AMBIENTAL | CATEGORÍA DE IMPACTO | UNIDAD DE MEDIDA | MÉTODO |
|-------------------------|---|-------------------------|--------------------------------|
| Aire | Cambio Climático | Kg. Eq. CO ₂ | IPCC 2013, 100a |
| Agua | Escasez de agua | m ³ | Hoekstra et al 2012 |
| Recursos | Demanda Acumulada de Energía | MJ | Jungbluth & Frischknecht, 2003 |
| | Intensidad material por función proporcionada | Kg | Wuppertal Institute |
| | Residuos generados | Kg. residuos | EDIP 2003 |

Ilustración 17. Indicadores LCA para PYME

La selección de este tipo de indicadores obedece también a una búsqueda de la comprensión de los propios aspectos e impactos ambientales por parte del personal de la propia PYME.

Se ha considerado también como categorías de impacto ambiental adicionales las siguientes:

- Demanda acumulada de energía (CED), la cual consiste en la cuantificación de toda la energía consumida directa o indirectamente a lo largo del ciclo de vida del producto.
- Intensidad de Material por Unidad de Servicio ([MIPS](#))

De acuerdo a las categorías de impacto anteriores, se han calculado varios factores de caracterización de utilidad para sectores representativos de la sociedad. Especialmente se han buscado los relacionados con el sector de la alimentación y el sector de la construcción, ya que son dos de los principales sectores a nivel europeo con mayor contribución al impacto ambiental:

MATERIALES

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|----------------------------------|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Aceite de colza | kg | 2,09E+00 | 6,45E+01 | 2,57E-01 | 2,34E-01 |
| Aceite vegetal de palma refinado | kg | 2,78E+00 | 1,74E+01 | 1,00E-01 | 3,09E-01 |
| Aceituna | kg | 4,25E-02 | 1,03E+01 | 7,70E-02 | 9,22E-02 |
| Acero | kg | 2,17E+00 | 2,55E+01 | 2,36E-02 | 4,48E-01 |
| Agua de grifo | kg | 3,07E-04 | 6,34E-03 | 5,78E-04 | 3,62E-05 |
| Aguacate | kg | 7,84E-01 | 1,59E+01 | 7,39E-01 | 1,05E-01 |
| Almendras | kg | 9,91E-01 | 3,97E+01 | 4,53E-01 | 1,03E-01 |
| Almidón de maíz | kg | 8,27E-01 | 3,02E+01 | 6,80E-03 | 6,92E-02 |
| Aluminio | kg | 5,75E+00 | 7,17E+01 | 5,26E-02 | 7,09E-01 |
| Apio | kg | 4,15E-01 | 6,91E+00 | 1,76E-02 | 3,78E-02 |
| Árboles frutales | p | 7,20E-01 | 2,20E+01 | 9,90E-03 | 2,23E-01 |
| Arcilla | kg | 3,05E-02 | 6,24E-01 | 1,23E-03 | 7,06E-03 |
| Arena | kg | 2,34E-03 | 5,85E-02 | 1,84E-04 | 2,49E-04 |
| Arroz | kg | 1,65E+00 | 2,63E+01 | 7,57E-01 | 7,49E-02 |
| Avena | kg | 6,81E-01 | 2,06E+01 | 1,26E-01 | 3,17E-02 |
| Azúcar | kg | 1,14E+00 | 4,76E+01 | 1,60E-01 | 1,61E-01 |
| Baldosa cerámica | kg | 4,54E-01 | 9,42E+00 | 6,11E-03 | 1,96E-01 |
| Baldosa de cemento | kg | 2,03E-01 | 1,14E+00 | 4,31E-04 | 1,39E-02 |
| Barniz | kg | 2,19E+00 | 4,24E+01 | 4,87E-02 | 9,78E-01 |
| Bloque de hormigón | kg | 1,09E-01 | 9,44E-01 | 2,05E-03 | 2,04E-02 |
| Cacahuete | kg | 1,55E+00 | 3,75E+01 | 3,48E-01 | 9,44E-02 |
| Cal | kg | 1,24E-02 | 6,64E-01 | 5,40E-04 | 1,81E-03 |
| Carne roja | kg | 1,48E+01 | 2,05E+02 | 4,40E-01 | 9,61E-01 |
| Cebaba | kg | 9,09E-01 | 2,56E+01 | 7,39E-01 | 6,82E-02 |
| Cebolla | kg | 1,88E-01 | 4,43E+00 | 6,18E-02 | 2,77E-02 |
| Cemento | kg | 8,74E-01 | 3,94E+00 | 1,79E-03 | 1,03E-02 |

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|---------------------|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Cerámica sanitaria | kg | 1,03E+00 | 2,32E+01 | 6,07E-03 | 2,62E-01 |
| Cobre | kg | 4,13E+00 | 5,81E+01 | 8,11E-02 | 1,72E+00 |
| Col | kg | 2,82E-01 | 6,60E+00 | 1,44E-02 | 2,41E-02 |
| Coliflor | kg | 3,48E-01 | 5,17E+00 | 2,70E-02 | 2,18E-02 |
| Compost | kg | 3,12E-03 | 5,06E-02 | 1,05E-05 | 2,48E-03 |
| Corcho | kg | 1,51E-02 | 1,17E+02 | 9,68E-05 | 3,87E-04 |
| Estaño | kg | 1,65E+01 | 3,11E+02 | 1,86E-01 | 6,93E-01 |
| Estiércol | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Fresa | kg | 3,78E-01 | 7,86E+00 | 1,54E-01 | 1,51E-01 |
| Girasol, Semilla | kg | 7,97E-01 | 3,79E+01 | 4,46E-01 | 3,14E-02 |
| Goma | kg | 2,82E+00 | 9,15E+01 | 3,44E-02 | 1,32E-01 |
| Grano de cacao | kg | 1,96E+01 | 2,09E+02 | 1,75E+00 | 5,48E-01 |
| Grano de centeno | kg | 7,02E-01 | 2,85E+01 | 1,43E-01 | 1,51E-01 |
| Grano de maíz | kg | 3,69E-01 | 1,96E+01 | 4,08E-03 | 2,82E-02 |
| Grano de trigo | kg | 8,60E-01 | 2,52E+01 | 7,09E-01 | 8,26E-02 |
| Grano verde de café | kg | 7,82E+00 | 1,04E+02 | 1,99E-01 | 1,17E+00 |
| Grava | kg | 3,82E-03 | 8,80E-02 | 6,78E-05 | 7,22E-04 |
| Heno | kg | 3,61E-01 | 2,07E+01 | 2,26E-03 | 1,07E-01 |
| Hierba | kg | 1,57E-01 | 1,92E+01 | 3,83E-04 | 1,26E-02 |
| Hinojo | kg | 3,76E-01 | 5,96E+00 | 5,07E-02 | 5,39E-02 |
| Hormigón | m3 | 1,52E+02 | 1,06E+03 | 1,82E+00 | 2,27E+01 |
| Kiwi | kg | 4,38E-01 | 9,47E+00 | 1,05E-01 | 5,06E-02 |
| Ladrillo de arcilla | kg | 2,51E-01 | 2,86E+00 | 5,05E-04 | 1,07E-02 |
| Lana de roca | kg | 1,14E+00 | 1,73E+01 | 7,89E-03 | 5,25E-02 |
| Lana de vidrio | kg | 1,16E+00 | 4,25E+01 | 2,75E-02 | 1,79E-01 |
| Latón | kg | 4,38E+00 | 5,85E+01 | 7,14E-02 | 1,31E+00 |
| Leche de vaca | kg | 2,01E+00 | 3,02E+01 | 5,53E-02 | 1,87E-01 |
| Lechuga | kg | 3,77E+00 | 3,77E+01 | 2,64E-02 | 1,06E-01 |

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|-------------------------------|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Limón | kg | 1,57E-01 | 4,41E+00 | 1,39E-01 | 3,12E-02 |
| Madera de conífera | m3 | 1,17E+02 | 1,87E+04 | 5,83E-01 | 2,67E+01 |
| Madera dura | m3 | 1,47E+02 | 2,44E+04 | 8,13E-01 | 4,63E+01 |
| Madera laminada | m3 | 2,78E+02 | 2,72E+04 | 4,15E+00 | 6,68E+01 |
| Mantequilla | kg | 1,05E+01 | 1,57E+02 | 2,82E-01 | 9,72E-01 |
| Manzana | kg | 9,20E-02 | 4,32E+00 | 9,21E-02 | 1,74E-02 |
| Melocotón | kg | 1,38E-01 | 5,43E+00 | 2,88E-01 | 3,03E-02 |
| Melón | kg | 1,31E-01 | 3,02E+00 | 5,39E-02 | 3,04E-02 |
| Mezcla bituminosa en caliente | kg | 3,75E-01 | 2,60E+01 | 4,86E-03 | 2,08E-02 |
| Mortero de cal | kg | 5,80E-01 | 3,35E+00 | 1,65E-03 | 1,14E-02 |
| Mortero de cemento | kg | 1,92E-01 | 1,54E+00 | 1,96E-03 | 1,08E-02 |
| Naranja | kg | 1,84E-01 | 4,92E+00 | 1,38E-01 | 2,01E-02 |
| Nata | kg | 3,03E+00 | 4,81E+01 | 9,48E-02 | 3,06E-01 |
| Paja | kg | 7,73E-02 | 3,13E+00 | 1,58E-02 | 1,66E-02 |
| Patata | kg | 3,37E-01 | 9,01E+00 | 5,14E-02 | 9,95E-02 |
| Pegamento | kg | 1,49E+00 | 3,83E+01 | 3,64E-02 | 1,11E-01 |
| Pepino | kg | 3,05E+00 | 2,91E+01 | 3,26E-02 | 2,97E-02 |
| Pera | kg | 6,24E-01 | 1,21E+01 | 3,43E-01 | 1,10E-01 |
| Perlita | kg | 2,72E-01 | 6,68E+00 | 7,38E-03 | 2,64E-02 |
| Pesticida | kg | 9,27E+00 | 1,81E+02 | 8,70E-02 | 8,23E-01 |
| Piedra | kg | 8,69E-01 | 1,50E+01 | 6,57E-03 | 3,58E-02 |
| Pintura | kg | 5,65E+00 | 9,25E+01 | 8,76E-02 | 2,32E+00 |
| Pintura al agua | kg | 5,46E+00 | 9,30E+01 | 8,80E-02 | 2,28E+00 |
| Piña | kg | 9,94E-02 | 3,64E+00 | 1,82E-02 | 3,47E-02 |
| Plástico para invernadero | m2 | 4,61E-02 | 1,47E+00 | 6,87E-04 | 1,87E-03 |
| Plátano | kg | 7,51E-02 | 4,77E+00 | 1,31E-01 | 2,13E-02 |
| Plomo | kg | 1,26E+00 | 1,44E+01 | 1,78E-02 | 3,03E-01 |
| Poliuretano | kg | 5,02E+00 | 1,03E+02 | 1,34E-01 | 1,75E-01 |

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|--------------------------|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| PVC | kg | 2,08E+00 | 6,19E+01 | 2,09E-01 | 1,03E-01 |
| Queso | kg | 1,51E+01 | 2,31E+02 | 3,98E-01 | 1,39E+00 |
| Rábano | kg | 7,22E+00 | 6,79E+01 | 2,05E-02 | 5,73E-02 |
| Remolacha, Semilla | kg | 1,91E+00 | 1,22E+02 | 1,43E-02 | 3,58E-01 |
| Soja | kg | 9,16E-01 | 2,23E+01 | 2,43E-03 | 7,05E-02 |
| Tabla de corcho | kg | 1,43E+00 | 1,52E+02 | 3,02E-02 | 1,12E-01 |
| Tablero de fibra de yeso | kg | 9,41E-02 | 2,26E+00 | 5,66E-04 | 1,62E-02 |
| Tablero de fibras | m3 | 1,61E+02 | 5,63E+03 | 1,35E+00 | 1,23E+01 |
| Tablero MDF | m3 | 6,52E+02 | 2,18E+04 | 2,09E+01 | 7,73E+01 |
| Tablero OSB | m3 | 2,66E+02 | 2,33E+04 | 3,91E+00 | 4,79E+01 |
| Teja cerámica | kg | 3,70E-01 | 4,10E+00 | 6,32E-04 | 1,17E-02 |
| Teja de hormigón | kg | 2,14E-01 | 1,76E+00 | 2,52E-03 | 2,42E-02 |
| Tomate | kg | 3,35E-01 | 5,67E+00 | 3,93E-02 | 1,47E-01 |
| Turba | kg | 2,66E-02 | 9,29E+00 | 8,36E-04 | 9,49E-04 |
| Uva | kg | 2,10E-01 | 6,61E+00 | 1,74E-01 | 2,65E-02 |
| Vidrio plano | kg | 1,03E+00 | 1,34E+01 | 7,65E-03 | 6,37E-02 |
| Yeso | kg | 2,21E-03 | 3,93E-02 | 1,01E-05 | 8,33E-05 |
| Zanahoria | kg | 1,45E-01 | 3,70E+00 | 6,93E-02 | 1,30E-02 |

PROCESOS

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|--------------------------------|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Cosechar | ha | 4,59E+02 | 6,55E+03 | 6,13E-01 | 1,40E+01 |
| Ensilado | kg | 3,44E-01 | 1,97E+01 | 1,50E-03 | 8,59E-02 |
| Esparcido de estiércol líquido | m3 | 1,30E+00 | 1,89E+01 | 3,46E-03 | 8,65E-02 |
| Excavar | m3 | 5,40E-01 | 8,33E+00 | 8,91E-04 | 1,12E-02 |

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|------------------|-------|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Fertilizar | ha | 2,59E+01 | 3,78E+02 | 4,72E-02 | 9,80E-01 |
| Labrar | ha | 1,20E+02 | 1,72E+03 | 1,77E-01 | 5,13E+00 |
| Mulching | ha | 2,34E+01 | 3,37E+02 | 6,84E-02 | 1,78E+00 |
| Plantar | ha | 1,05E+02 | 1,58E+03 | 2,97E-01 | 6,41E+00 |
| Secado de hierba | m3 | 3,96E+01 | 1,60E+03 | 3,82E-01 | 1,51E+01 |
| Segado | ha | 1,78E+01 | 3,16E+02 | 7,09E-02 | 1,31E+00 |
| Uso de máquina | horas | 2,02E+01 | 3,11E+02 | 4,41E-02 | 2,72E-01 |

ENERGÍA

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|--|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Calor en horno industrial de fuel oil | MJ | 9,23E-02 | 1,42E+00 | 8,72E-05 | 5,50E-04 |
| Calor por biomasa | MJ | 1,56E-02 | 8,38E-01 | 9,37E-05 | 2,35E-03 |
| Calor por cogeneración | MJ | 3,08E-02 | 4,58E-01 | 2,93E-03 | 2,03E-04 |
| Calor por gas natural | MJ | 7,35E-02 | 1,17E+00 | 3,31E-05 | 4,45E-04 |
| Diésel en generador eléctrico | MJ | 8,81E-02 | 1,35E+00 | 1,62E-04 | 5,18E-04 |
| Diésel en maquinaria agrícola | MJ | 2,04E-01 | 2,89E+00 | 8,96E-04 | 1,57E-02 |
| Diésel en maquinaria de construcción | MJ | 9,25E-02 | 1,44E+00 | 2,04E-04 | 1,26E-03 |
| Electricidad Alta Tensión | kWh | 1,10E-02 | 4,02E+00 | 2,06E-03 | 1,34E-02 |
| Electricidad Alta Tensión con GDO | kWh | 4,51E-01 | 1,00E+01 | 2,95E-03 | 1,49E-02 |
| Electricidad Baja Tensión | kWh | 1,57E-02 | 4,23E+00 | 2,19E-03 | 1,50E-02 |
| Electricidad Baja Tensión con GDO | kWh | 4,77E-01 | 1,07E+01 | 3,18E-03 | 1,66E-02 |
| Electricidad Baja Tensión de origen fotovoltaico | kWh | 4,77E-01 | 1,07E+01 | 3,18E-03 | 1,66E-02 |
| Electricidad Media Tensión | kWh | 1,30E-02 | 4,06E+00 | 2,09E-03 | 1,38E-02 |
| Electricidad Media Tensión con GDO | kWh | 4,57E-01 | 1,01E+01 | 2,98E-03 | 1,52E-02 |

TRANSPORTE

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|---------------------------------------|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Calor en horno industrial de fuel oil | MJ | 9,23E-02 | 1,42E+00 | 8,72E-05 | 5,50E-04 |
| Calor por biomasa | MJ | 1,56E-02 | 8,38E-01 | 9,37E-05 | 2,35E-03 |
| Calor por cogeneración | MJ | 3,08E-02 | 4,58E-01 | 2,93E-03 | 2,03E-04 |
| Calor por gas natural | MJ | 7,35E-02 | 1,17E+00 | 3,31E-05 | 4,45E-04 |
| Diésel en generador eléctrico | MJ | 8,81E-02 | 1,35E+00 | 1,62E-04 | 5,18E-04 |

ENVASES Y EMBALAJES

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|----------------------------------|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Caja de cartón | kg | 9,61E-01 | 2,66E+01 | 9,20E-03 | 6,60E-02 |
| Envase de vidrio | kg | 5,12E-01 | 1,08E+01 | 5,00E-04 | 5,33E-02 |
| Pallet | p | 8,27E+00 | 7,69E+02 | 9,54E-02 | 1,69E+00 |
| Papel | kg | 8,72E-01 | 4,66E+01 | 2,09E-02 | 8,38E-02 |
| Plástico film | kg | 2,92E+00 | 9,29E+01 | 4,36E-02 | 1,24E-01 |
| Poliestireno | kg | 3,67E+00 | 8,79E+01 | 3,11E-02 | 3,29E-02 |
| Tereftalato de polietileno (PET) | kg | 3,09E+00 | 7,88E+01 | 4,34E-02 | 2,24E-01 |

GESTION DE RESIDUOS

| Concepto | Ud. | Indicador | | | |
|---|-----|------------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | Cambio Climático | Demanda acumulada de energía | Escasez de agua | Residuos |
| | | kg CO2 eq | MJ | m3 | kg |
| Gestión de aceite mineral | kg | 2,85E+00 | 3,15E-01 | 1,26E-03 | 3,55E-02 |
| Gestión de residuos de madera | kg | 1,24E-02 | 8,76E-02 | 5,63E-05 | 1,27E-01 |
| Gestión de residuos de papel | kg | 2,45E-02 | 2,74E-01 | 7,90E-04 | 8,39E-02 |
| Gestión de residuos de plástico | kg | 6,99E-01 | 2,53E-01 | 1,30E-03 | 2,54E-01 |
| Gestión de residuos de vidrio, incineración | kg | 2,68E-02 | 1,84E+00 | 1,58E-03 | 4,15E-03 |
| Gestión de residuos de vidrio, vertedero de inertes | kg | 4,32E-03 | 1,54E-01 | 2,94E-05 | 9,99E-01 |
| Residuo inerte a vertedero | kg | 4,32E-03 | 1,54E-01 | 2,94E-05 | 9,99E-01 |
| Residuos de matadero | kg | 1,36E-01 | 2,59E+00 | 3,90E-04 | 1,21E-02 |
| Residuos peligrosos, deposito | kg | 2,23E-01 | 3,46E+00 | 1,70E-03 | 3,06E-02 |
| Residuos peligrosos, incineración. | kg | 2,56E+00 | 1,16E+01 | 1,18E-02 | 4,56E-01 |
| Tratamiento de aguas residuales | m3 | 5,02E-01 | 6,69E+00 | -5,30E-01 | 5,02E-01 |
| Tratamiento de bioresiduos | kg | 5,16E-02 | 4,51E-01 | 1,14E-03 | 4,26E-02 |
| Tratamiento de lodos | kg | 7,00E-02 | 3,51E-01 | 6,20E-04 | 3,08E-02 |
| Tratamiento de RSU, incineración | kg | 5,17E-01 | 3,33E-01 | 1,22E-03 | 5,32E-02 |

Esta adaptación ha sido aplicada de manera completa en una pequeña empresa extremeña a lo largo del año 2019, que ha calculado el impacto ambiental de su producción de té de kombucha a lo largo de todo su ciclo de vida. En el año 2020, otras 4 empresas de la comunidad realicen este mismo ejercicio, identificando así sus principales aspectos a mejorar y haciendo un ejercicio de concienciación entre las empresas de su entorno.

CAPITULOS 5, 6, 7 y 8 SUJETOS A CONFIDENCIALIDAD POR
EL AUTOR

9. CONCLUSIONES

A lo largo de esta tesis **se ha definido y desarrollado una metodología de trabajo que permite incorporar a las pequeñas y medianas empresas conceptos relacionados con la sostenibilidad de la manera más aplicable posible hasta la fecha**, de acuerdo al objetivo principal planteado al inicio de estos trabajos.

Una de las características esbozadas en los objetivos es que **la metodología debía recoger la innovación sostenible y la mejora continua**. Partiendo del enfoque tradicional de mejora continua, definido a través del ciclo de Deming según los cuatro pasos PDCA (Planificar, hacer, chequear y actuar), **en esta metodología adaptada a las PYMEs se han simplificado a dos: la gestión pasiva, en la que la organización trata de conocer su estado general a nivel de sostenibilidad, y la gestión activa, en la que trata de mejorar su posición de sostenibilidad**. Este segundo estado está inexorablemente unido al primero, ya que no es posible comenzar a implementar medidas de mejora sin haber conocido previamente el punto de partida que permita relativizarlas. También **es en este segundo estado donde se identifican y materializan aquellas acciones de sostenibilidad, que conforman la innovación sostenible a implementar en la metodología**, y que mejoran el comportamiento de los productos y servicios evaluados y con ellos el funcionamiento de la empresa.

Otra de las características de la metodología deseadas inicialmente era la **flexibilidad para adoptar las últimas soluciones validadas de cara a un mercado más concienciado**. La metodología desarrollada ha tratado en la medida de lo posible de dar respuesta a esta característica, a pesar de la velocidad con la que se producen cambios en las áreas de investigación tratadas desde diferentes puntos de vista: regulatorio, técnico, comercial...

- **Para toda la parte de gestión pasiva** se ha utilizado como base principal el concepto de ciclo de vida o **Life Cycle Thinking**, el cual está muy asentado desde el punto de vista ambiental (LCA), está comenzando a considerarse con otras herramientas tradicionales desde el punto de vista económico (LCC) y progresa rápidamente desde el punto de vista social (S-LCA).
- A la hora de conseguir la **integración de los tres pilares**, se ha considerado una **arquitectura de indicadores** que aporten el perfil de sostenibilidad de los productos y servicios (LCSA) y que ayuden a alinear a la PYME con los **ODS**.
- Por último y **de cara a la gestión activa** se han tenido en cuenta los **principios de la Economía Circular** y se han adaptado metodológicamente en tres ámbitos, siendo el primero de ellos el relacionado con la mejora incremental de los aspectos ambientales o Ecodiseño.

El concepto de ciclo de vida es bien conocido por las empresas por su falta de practicidad, motivo añadido que evita que se involucren en este tipo de estudios. Como tal, **uno de los objetivos de la metodología era trasladar el Life Cycle Thinking un contexto más práctico y de aplicación de una PYME. En ese sentido y como se ha podido comprobar, el concepto de ciclo de vida subyace en toda la metodología descrita, especialmente en la gestión pasiva del ciclo de vida de los productos. Incluso aquellos aspectos más alejados a la PYME se han intentado simplificar en la medida de lo posible**, de cara a saltar la barrera cultural que les supone el no investigar más allá de sus propias plantas de fabricación.

La última característica técnica que se le exigía inicialmente a la definición de la metodología era la **incorporación de adaptaciones más radicales más allá de la mejora en la sostenibilidad del ciclo de vida de productos y servicios**. Tal y como se ha podido comprobar, **en la parte de la gestión activa de la metodología** no sólo se tienen en cuenta ecoinnovaciones asociadas a las mejoras en el ciclo de vida del producto, sino que además **se han considerado dos ámbitos extra relacionados con la Economía Circular, como son el desarrollo de nuevos modelos de negocio y la simbiosis industrial**. De esta forma se permite tener en cuenta mejoras disruptivas que permitan a la PYME adaptarse más rápidamente a entornos cambiantes.

Por último y de cara a comprobar la validez de la metodología desarrollada, se planteaba como objetivo su validación en 3-4 empresas, todas ellas PYMEs, pero con operativas de trabajo y ámbitos de actuación de lo más diverso posible. La metodología no ha podido ser contrastada de manera integral en una PYME, pero sí que ha podido ser validada en casi su totalidad (salvo la parte de S-LCA que es muy incipiente) en empresas muy diversas, que van desde el sector primario hasta el sector aeronáutico.

10. Líneas futuras de desarrollo de la metodología

Este desarrollo metodológico de Ecoinnovación hacia las PYMEs es uno de muchos pasos que se debieran de dar hasta alcanzar por parte de todos los agentes sociales la normalización en la consideración de la sostenibilidad.

Por esa razón, a continuación, se enumeran las áreas de trabajo que necesitan de un mayor desarrollo para avanzar en la implementación de esta metodología:

- Fortalecimiento de más aplicaciones que combinen LCA, LCC y S-LCA y obtener hallazgos y lecciones aprendidas. A través de un mayor número de estudios LCSA se deben superar los "errores de compromiso" en el apoyo a la decisión de sostenibilidad; por ejemplo, no apoyar una cadena de productos que sea ambientalmente positiva pero socialmente cuestionable, sin afirmar que un producto sea más sostenible porque utiliza menos recursos o tiene menos emisiones directas de carbono, sin evaluar otros aspectos necesarios en una evaluación de sostenibilidad.
- Desarrollo de más experiencia técnica. Esto es esencial, y es particularmente cierto para los países en desarrollo y las economías emergentes que carecen de recursos financieros y capacidades locales. Esto significa que las organizaciones internacionales e intergubernamentales deben apoyar los esfuerzos nacionales mano a mano con socios locales esenciales, tales como redes nacionales de ciclo de vida, centros de excelencia, centros nacionales de producción más limpia, cámaras de comercio y asociaciones industriales.
- Adquisición de datos. La implementación de sistemas de gestión de datos coherentes y armonizados para cada uno de los análisis (LCC, S-LCA y LCA) puede respaldar una disponibilidad más amplia de datos y promover la generación de datos, especialmente en los países en desarrollo y las economías emergentes. Posteriormente, esto facilitará la implementación de los tres análisis de una manera vinculada y consistente.
- Discusión de los principios y criterios del LCSA. Investigación acerca de cómo leer los resultados de los LCIA para cada análisis y su interrelación entre los tres pilares de la sostenibilidad. Esto puede ayudar a los interesados a avanzar en la implementación de más estudios de casos y ayudar a los decisores a tomar decisiones mejor informadas.
- Llevar a cabo más investigaciones sobre la evaluación de la utilidad del producto y la sostenibilidad de los productos con el fin de evitar el uso no ético de las herramientas.
- Participar activamente en el proceso de definición. El entendimiento común y el consenso de las áreas de protección (puntos finales) dentro de un LCSA es un nuevo campo para mayor discusión, que requiere un compromiso activo de los interesados y los que toman las decisiones en el proceso de definición.
- Combinar las tres dimensiones con mayor fluidez y promover el intercambio y la posible convergencia de metodologías separadas de evaluaciones ambientales, económicas y de costes a través de la homogeneización de las mismas. Esto permitirá una mejor comprensión de los vínculos de sus impactos y posibles efectos de escalada. Una metodología mejorada en evaluación debe ser seguida por el desarrollo de una guía para la interpretación de resultados que se vuelve más complicada dadas las muchas dimensiones y categorías.
- Se alienta el desarrollo de enfoques más simplificados que analicen la imagen completa (en lugar de buscar en gran detalle solo en un aspecto). Se les pide a los negocios de software y bases de datos que faciliten las técnicas más amigables y de bajo costo para promover más el LCSA.

- Con el fin de generar confianza en este enfoque combinado, proporcionar mayor orientación y ejemplos de la participación de los interesados en los LCSA y los procesos de revisión para subrayar la importancia de una fuerte participación de las partes interesadas.
- Discutir y validar un formato más claro para la comunicación y diseminación de los resultados de LCSA a los tomadores de decisiones con el fin de apoyar elecciones mejor informadas sobre productos sostenibles.
- Para desarrollar la metodología LCSA se han de llevar a cabo más investigaciones sobre las circunstancias y los riesgos de la doble contabilidad al aplicar los tres análisis. Además, hasta que el enfoque de LCSA madure, se recomienda que los LCSA iniciales sigan enfoques de estado estacionario en lugar de dinámicos. También se necesita más investigación sobre el aspecto del tiempo, ya que mientras que el LCA y el S-LCA usualmente no tienen en cuenta los efectos del tiempo, mientras que es común en LCC indicar la tasa de descuento.
- Facilitar el análisis de nuevas tecnologías. Por lo general cuando aparecen estas novedades en el mercado, es muy difícil conocer las repercusiones a nivel de sostenibilidad que van a suponer. Se suele dar el caso además que suelen mejorar ostensiblemente un factor del ciclo de vida pero no vigilan el comportamiento sobre otros factores relevantes.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Joint Research Centre, 2012. "The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook".
2. Fundación Entorno, 2010. "Marketing de productos y servicios sostenibles. Donde la innovación crea valor".
3. Comisión Europea, 2014. "La guía de consumo".
4. Ari Nissinen, Juha Grönroos, Eva Heiskanen, Asmo Honkanen, Juha-Matti Katajajuuri, Sirpa Kurppa, Timo Mäkinen, Ilmo Mäenpää, Jyri Seppälä, Päivi Timonen, Kirsi Usva, Yrjö Virtanen, Pasi Voutilainen. *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) 538-549. - Developing benchmarks for consumer-oriented life cycle assessment-based environmental information on products, services and consumption patterns.
5. Kirsi Usva, Eetu Virtanen, Helena Hyvärinen, Jouni Nousiainen, Taija Sinkko, Sirpa Kurppa. *Water in an LCA framework – applying the methodology to milk production in Finland*.
6. Yrjö Virtanen, Sirpa Kurppa, Merja Saarinen, Juha-Matti Katajajuuri, Kirsi Usva, Ilmo Mäenpää, Johanna Mäkelä, Juha Grönroos, Ari Nissinen. *Journal of Cleaner Production* 19 (2011) 1849-1856 - "Carbon footprint of food - approaches from national input-output statistics and a LCA of a food portion."
7. Anna Lewandowska, Alina Matuszak-Flejszman, Katarzyna Joachimiak, Andreas Ciroth. *International Journal of Life Cycle Assessment* (2011) 16:247–257 - "Environmental life cycle assessment (LCA) as a tool for identification and assessment of environmental aspects in environmental management systems (EMS)".
8. Reinout Heijungs. *International Journal of Life Cycle Assessment* (2010) 15:511–520 - "Sensitivity coefficients for matrix-based LCA".
9. Joanna Witczak, Jędrzej Kasprzak, Zbigniew Klos, Przemysław Kurczewski, Anna Lewandowska, Robert Lewicki. *International Journal of Life Cycle Assessment* (2014) 19:891–900 - "Life cycle thinking in small and medium enterprises: the results of research on the implementation of life cycle tools in Polish SMEs".
10. Greendelta, 2014. "LCIA methods. Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories".
11. WorldAutoSteel, 2014. "Advanced High-Strength Steels Application Guidelines Version 5.0".
12. UL, 2013. "Understanding the Effective Use of Green Product Labels".
13. UNEP, 2014. "The Business Case For Eco-Innovation".
14. European Commission. Directorate-General for Economic and Financial Affairs, 2009. "Economic Crisis in Europe: Causes, Consequences and Responses".
15. UNEP, 2014. "Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects"
16. ISO/TC, 207 Environmental Management, 2014. "International workshop on monetary assessment of environmental impacts".
17. Cileccta, 2013. "Sustainability within the Construction Sector. Cileccta – Life Cycle Costing and Assessment".
18. NSW Treasury, 2004. "Life Cycle Costing Guideline".
19. IHOBE, 2014. "Economía circular en el País Vasco. Proyectos de demostración para la reutilización de materiales".
20. IHOBE, 2013. "Guía del usuario de la herramienta CCV-CO2. Guía visual para utilizar la herramienta de evaluación de los costes de ciclo de vida y CO2".
21. IHOBE, 2014. "El Análisis de Costes aplicado al diseño sostenible de productos".
22. Haben Tekie, Maria Lindblad. CPM Report No. 2013:4 - "Methodologies for monetary valuation of environmental impacts State of the art".
23. Reinout Heijungs, Ettore Settanni, Jeroen Guinée. *International Journal of Life Cycle Assessment* (2013) 18:1722–1733. - "Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LCC"
24. Miriam Mato, Nieves Roqueñi. "Estado del Arte de la aplicación práctica actual del Análisis Económico del Ciclo de Vida dentro del marco del desarrollo sostenible".
25. UNEP, 2009. "Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products".
26. UNEP, 2013. "The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)".

27. European Commission, Regional and Urban Policy, 2013. "Guide to Social Innovation".
28. OXFAM, 2014. "Gobernar para las élites. Secuestro democrático y desigualdad económica".
29. Laurence Smajda, 2013. Fichas técnicas sobre la Unión Europea - "La lucha contra la pobreza, la exclusión social y la discriminación"
30. Lise Laurin, Melissa Hamilton, Darlene Schuster, Greg Norris, Sabrina Trupia. Institute for Sustainability, 2005. "Total Cost Assessment History, Methodology, Tools, and a Case Study".
31. EsPosible, número 29, 2012. "Proyectos sociales. ¿Gasto o inversión? SROI, un método para medir el impacto y la rentabilidad de las inversiones en materia social".
32. "The Social Hotspots Database" <http://socialhotspot.org>.
33. The Roundtable for Product Social Metrics, 2018. "Handbook for Product Social Impact Assessment".
34. UNEP, 2006. "Background Report for a UNEP Guide to LIFE CYCLE MANAGEMENT - A bridge to sustainable products".
35. UNEP, 2007. "Diseño para la Sostenibilidad. Un enfoque práctico para economías en desarrollo."
36. (2013/179/CE) Recomendación de la Comisión, del 9 de Abril de 2013, sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida.
37. UNEP, 2011. "Towards a Life Cycle Sustainability Assessment. Making informed choices on products".
38. Joint Research Centre, 2012. "Product Environmental Footprint (PEF) Guide".
39. UNEP, 2015. "Product Sustainability Information. State of Play and Way Forward".
40. UNEP, 2007. "Life Cycle Management. A Business Guide to Sustainability".
41. José María Fernández. DYNA 3308.99-1. "Ecodiseño: Integración de criterios ambientales en la sistemática del diseño de productos industriales".
42. UNE-EN ISO 14006:2011. Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del ecodiseño.
43. UNE-ISO/TR 14062:2007 IN Gestión ambiental. Integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos.
44. INTI, 2012. "Guía de buenas prácticas de diseño. Herramientas para la gestión del diseño y desarrollo de productos".
45. PROSUITE, 2013. "Handbook on a novel methodology for the sustainability impact assessment of new technologies".
46. A Gessa-Perera, I Rabadán Martín, JA Jurado.Martín, MP Sancha-Dionisio. DYNA Management, 2012. "Una aproximación integrada de las decisiones de optimización de la producción sostenible industrial. Análisis de un caso."
47. European Union, 2014. "Scoping study to identify potential circular economy actions, priority sectors, material flows and value chains".
48. Joint Research Centre, 2012. "Organisation Environmental Footprint (OEF) Guide".
49. UNEP, 2015. "Guidance on Organizational Life Cycle Assessment".
50. The Ecoinnovation Observatory, 2013. "Ecoinnovate! A guide to eco-innovation for SMEs and business coaches".
51. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative - Flagship Project 3a (Phase 1), 2014. "Hotspots Analysis: mapping of existing methodologies, tools and guidance and initial recommendations for the development of global guidance".