

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA APLICADO A HORTICULTURA PROTEGIDA

M. Asunción Antón Vallejo
IRTA

RESUMEN

Se presenta en este capítulo una descripción de la herramienta ambiental, Análisis de Ciclo de Vida, ACV, enfocada a su uso en horticultura. De acuerdo con la normativa ISO 14040 un proyecto de ACV puede dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, inventario, análisis del impacto e interpretación. Se analiza cada una de estas fases para seguidamente realizar un repaso de los principales estudios, realizados hasta fecha, de utilización de dicha herramienta en la evaluación ambiental de la producción en invernadero. A partir de dichos estudios se extraen unas conclusiones donde se destacan los principales problemas ambientales de los invernaderos mediterráneos. Asimismo se detallan los aspectos metodológicos de la herramienta ambiental, ACV, que requieren futura investigación.

SUMMARY

This chapter provides a description of the environmental tool Life Cycle Assessment, LCA, focused on their use in horticulture. According to ISO standardisation guidelines a LCA study can be divided into four steps: goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation. Each one of these steps is analysed. Then follows a review of major studies conducted to date, which use this tool in the environmental assessment of greenhouse production. It ends with a conclusion which highlights the main environmental problems in Mediterranean greenhouses arising from these studies. In addition methodological issues of the environmental tool, LCA, which require further research, are detailed.

1. Introducción

La agricultura, como toda actividad humana, implica una explotación del medio natural. En concreto, la agricultura intensiva pretende producir el máximo con la menor ocupación posible del suelo, para ello se recurre a una serie de técnicas con el objetivo de forzar la producción. Un ejemplo de este tipo de producción lo tenemos en el cultivo bajo invernadero. Éste se orienta a obtener el más alto rendimiento, a costa de aislarlo de las condiciones naturales mediante el forzado del cultivo a través de técnicas de climatización (calefacción, humidificación, iluminación,...) y técnicas culturales (sustratos, fertirrigación,...) para rentabilizar al máximo la ocupación del terreno. Esta rentabilización implica una mejora en la utilización de los recursos naturales, agua y suelo.

Entre la sociedad puede existir una opinión generalizada de que los productos procedentes de este tipo de agricultura intensiva, son perjudiciales para el medio ambiente. Para poder valorar la calidad ambiental de un producto deberán establecerse unos parámetros transparentes, cuantificables y objetivos al máximo. Estos parámetros deberán incluir aspectos como el consumo de recursos bióticos y abióticos, consumo de energía, uso del suelo, emisiones nocivas al aire, agua y suelo y toxicidad potencial para los seres humanos y ecosistemas. Esto supone aceptar que la calidad ambiental de un producto no se puede definir con un solo parámetro, sino con una serie de valores o indicadores que el usuario y/o la administración deberán priorizar.

La metodología propuesta por el análisis del ciclo de vida, ACV, que tiene en cuenta los procesos de forma global, resulta una herramienta muy adecuada, puesto que una buena gestión ambiental implica una acción integrada sobre los posibles daños ambientales.

Los análisis de ciclo de vida (ACV) se desarrollaron, en un principio, para el estudio de procesos industriales. Dentro de la industria, los ACV se han empleado, tradicionalmente, en el desarrollo de productos menos contaminantes. También se han utilizado para mejorar la política ambiental de la empresa. Asimismo, resulta un instrumento eficaz en el desarrollo de los criterios necesarios para el ecoetiquetaje (Milà i Canals, 2003).

Su aplicación a la agricultura requiere la aplicación sistemática de los métodos existentes así como nuevos métodos (Cowell *et al.*, 1997). A escala europea se han realizado algunos proyectos de adaptación de la metodología del ACV a la agricultura. Mediante la acción concertada "*Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment*

for Agriculture” (Audsley, 1997) se investigó como el ACV puede ser aplicado a la producción agraria, estableciendo las primeras pautas para su aplicación en agricultura e identificando las dificultades metodológicas que requieren una investigación más profunda.

2. Análisis de Ciclo de Vida

El análisis del ciclo de vida, ACV (Life Cycle Assessment, *LCA* en nomenclatura inglesa), estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad.

El ciclo de vida de un producto considera toda la “historia” del mismo, desde su origen como materia prima hasta su final como residuo. Se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materias primas, manufactura, transporte a mercados, distribución, uso, etc.

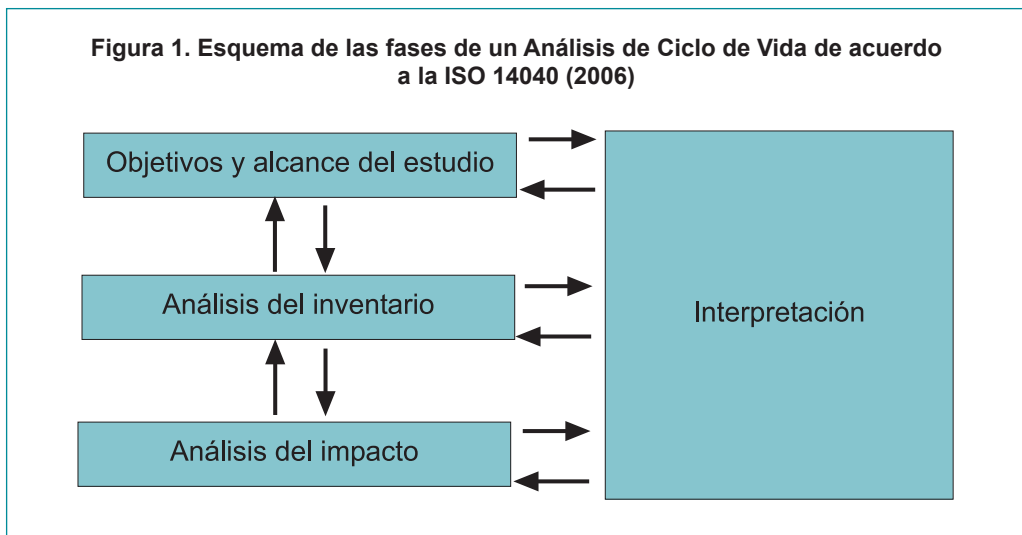
En un ACV completo se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y de energías necesarias para su manufactura, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando éste se consume o ya no se puede utilizar.

El ACV consiste por tanto en un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida. Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y la repercusión sobre los ecosistemas.

La complejidad del ACV requiere un protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio de ACV. Dicho protocolo se haya establecido en la normativa elaborada por “International Standards Organisation”, ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006). En Marzo de 2010 esta normativa se ha visto complementada con la guía del ILCD, Internacional Reference Life Cycle Data system. Esta guía pretende homogeneizar las diferentes opciones metodológicas, con el objetivo de obtener unos resultados más precisos en calidad y consistencia ILCD (2010).

De acuerdo con la metodología propuesta por la normativa ISO 14040 un proyecto de ACV puede dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación.

Tal y como ilustra la figura 1 estas cuatro fases no son simplemente secuenciales. El ACV es una técnica iterativa que permite ir incrementando el nivel de detalle en sucesivas iteraciones.



2.1. Objetivo y alcance del estudio

En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo. También, en esta fase, se establece la unidad funcional. La unidad funcional describe la función principal del sistema analizado. Un ACV no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función.

En los sistemas agrícolas, y desde el punto de vista del productor, la principal función es la producción de alimentos (Audsley, 1997). En estos casos, normalmente se considera como unidad funcional un kilo de producto fresco, por ejemplo kg de tomates. Otras posibles unidades funcionales pueden ser superficie cultivada, beneficio económico y/o propiedades nutritivas. Esta última estaría más justificada desde el punto de vista del consumidor, su utilización sería seguramente más apropiada para estudios de dietas

que para procesos agrícolas propiamente dichos. Por tanto, dependiendo del objetivo del estudio se definirá la unidad funcional, obedeciendo siempre a los requerimientos de transparencia y objetividad. El uso de la producción como unidad funcional favorecerá aquellos sistemas más eficientes, que con menos recursos obtengan más rendimiento, por tanto en el caso de comparaciones el uso de más de una unidad funcional puede ser especialmente recomendable.

La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático.

Debido a su naturaleza global un ACV completo puede resultar extensísimo. Por esta razón se deberán establecer unos límites que deberán quedar perfectamente identificados y justificados. Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV. 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 y el destinatario previsto.

2.2. Inventario (ICV)

Esta fase comprende la obtención de datos correspondientes a los consumos (de materia y energía) y a las emisiones de cada una de las diferentes etapas del ciclo de vida del producto; así como los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. De una forma genérica denominaremos estos efectos ambientales como “carga ambiental”. Ésta se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo. Con esta definición 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 ambiente asociadas a cada producto o subproducto.

Para la realización del inventario se recogen normalmente datos de campo propios del sector o de la/s finca/s que se pretenden analizar, denominados datos primarios, propios de las etapas principales y datos genéricos (normalmente a partir de una base de datos o estadísticas) para las etapas secundarias, datos secundarios.

Entre otros datos primarios será necesario disponer de los datos correspondientes a fertilizantes empleados, labores culturales y correspondientes horas de utilización del tractor, plaguicidas empleados, potencia de las bombas y horas de funcionamiento de riego, agua aplicada, substratos, materiales empleados en los equipamientos, en las infraestructuras, transporte, material de cosecha, etc. Los datos secundarios corresponderán a recursos empleados y emisiones producidas en los procesos de fabricación de fertilizantes, plásticos, acero o producción de electricidad, por ejemplo.

2.3. Análisis del Impacto (AICV)

El propósito de esta fase es la evaluación de los impactos que estos consumos y emisiones pueden provocar sobre el medio ambiente. En esta fase se trata de convertir la información obtenida en el inventario en una información interpretable. A partir de los numerosos valores de intervención ambiental (emisiones, recursos consumidos, etc.) obtenidos en el inventario, se pasa a analizar cómo estas intervenciones afectan al medio ambiente. La estructura de esta fase viene determinada por las normativas ISO 14040 (2006) y 14044 (2006), distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales.

Los elementos considerados obligatorios son:

1. **Selección** de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.
2. **Clasificación.** En esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.
3. **Caracterización.** Consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto.

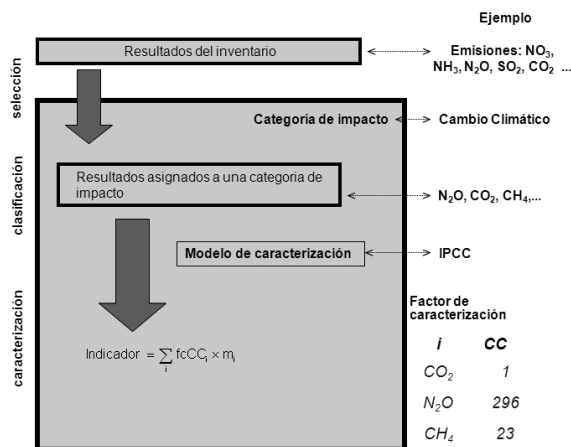
Cada categoría de impacto, p.e. cambio climático, precisa de una representación cuantitativa denominada indicador de la categoría, p.e. emisión de dióxido de carbono equivalente. A partir de los datos recogidos en el inventario se seleccionan aquellos que

tienen efecto sobre la categoría estudiada (p.e. emisiones de CO₂, CH₄, N₂O, en el caso de cambio climático). La suma de diferentes intervenciones ambientales para una misma categoría se hará en la unidad del indicador de la categoría. Mediante los factores de caracterización, también llamados factores equivalentes, las diferentes intervenciones ambientales se convierten a unidades del indicador, (p.e. 23 kg CH₄ equivale a 1 kg de CO₂). Es necesario el uso de modelos para obtener estos factores de caracterización; en el caso del cambio climático se utiliza el modelo desarrollado por el IPCC (2007). La Figura 2 esquematiza dicho procedimiento.

También existen una serie de elementos opcionales que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del estudio de ACV:

1. **Normalización.** Se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto un valor de referencia, ya sea a escala geográfica y/o temporal.
2. **Agrupación.** Clasificación y posible catalogación de los indicadores.

Figura 2. Esquema de la etapa de análisis del impacto de ciclo de vida, adaptación ISO 14040 (2006)



3. **Ponderación.** Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.

4. **Análisis de calidad de los datos,** ayudará a entender la fiabilidad de los resultados del AICV. Se considerará obligatorio en análisis comparativos. Una diferencia importante entre los diferentes métodos de evaluación de impactos reside en la opción de analizar el efecto último del impacto ambiental, “endpoint”, o bien, considerar los efectos intermedios, “midpoints”. Las categorías de impacto ambiental intermedias se hallan más cercanas a la intervención ambiental, permitiendo, en general, modelos de cálculo que se ajustan mejor a dicha intervención. Éstas proporcionan una información más detallada sobre de qué manera y en qué punto se afecta el medio ambiente. Las categorías de impacto finales son variables que afectan directamente a la sociedad, en las tres Áreas de Protección (AoP) ambientales consideradas: salud humana, ecosistemas y recursos naturales (ILCD, 2010), por tanto su elección resultaría más relevante y comprensible a escala global. Sin embargo, la metodología para llegar a cuantificar el efecto último no está plenamente elaborada ni existe el suficiente consenso científico necesario para recomendar su uso.

2.4. Interpretación

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

Esta etapa debe incluir también una valoración del propio estudio de ACV, que considerará la calidad de los datos empleados, la unidad funcional definida y la validez de los límites establecidos.

3. Resultados de estudios de ACV en cultivo en invernadero

En la última década se ha utilizado esta herramienta ambiental, ACV, con el objetivo de evaluar los daños ambientales atribuibles al proceso de cultivo de tomate bajo invernadero a lo largo de su ciclo de vida, es decir, desde los orígenes de las materias primas utilizadas hasta el final de los residuos generados.

Los trabajos publicados hasta la fecha muestran conclusiones claramente diferentes, en función de si los estudios se llevan a cabo en el clima frío o cálido. En los países del Norte con un clima frío, la calefacción y la iluminación han sido señalados como los principales problemas ambientales. En los países del Sur, donde las necesidades de energía son más bajas, y la calefacción de invernaderos prácticamente inexistente, los fertilizantes y las estructuras han mostrado el mayor impacto.

El trabajo de Jolliet (1993) puede considerarse como el primer trabajo, que tiene en cuenta el ciclo de vida de la producción de tomate, para la evaluación de varios sistemas de producción en invernadero en Suiza. En él se valoran varias técnicas de cultivo en invernadero: calefacción, iluminación artificial y fertilización carbónica, cuantificando así mismo el transporte hasta el punto de consumo. Los resultados muestran que la calefacción y la iluminación son las técnicas que producen mayor impacto ambiental, resultando menos contaminante la producción en el Sur, que incluye un transporte de 2.000 km hasta el punto de consumo. Van Woerden (2001) aplica ACV a la horticultura de invernaderos holandesa para describir los efectos ambientales de la evolución futura de los sistemas de producción comparando cultivo orgánico y convencional. También, en este trabajo se muestra, una vez más, el impacto negativo del uso de calefacción, responsable aproximadamente del 75 % del impacto ambiental total de este cultivo. Cabe considerar también la contribución de la estructura del invernadero, superior al 10 %.

En la evaluación ambiental de los invernaderos en el Mediterráneo, Antón (2004) muestra que son la estructura del invernadero, acero y plástico, el consumo de fertilizantes, la gestión de los residuos y el uso de sustratos los aspectos más importantes desde un punto de vista ambiental.

Medina *et al.* (2006) utilizan la metodología de ACV para dar una visión general de los costos de energía y las cargas asociadas a la producción de tomate de invernadero en la Sabana de Bogotá (Colombia). El resultado más relevante de este estudio es el bajo

consumo energético ($1,11 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) asociado al bajo nivel de tecnología utilizada. Asimismo, estos autores señalan el uso ineficiente de fertilizantes de nitrógeno y uso del agua y la necesidad de mejorar las estructuras de los invernaderos mediante el incremento del nivel tecnológico para mejorar la producción.

En contraste con este bajo valor, el estudio de Williams *et al.* (2006) identifica las necesidades de la demanda de energía para cultivar tomates en Inglaterra, $125 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. En un estudio posterior, (Williams *et al.*, 2008), este mismo autor comparó tomate producido en el Reino Unido y España dando valores de 36 y $8,7 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectivamente; el dato correspondiente a España incluye el transporte desde el Sur de España a Reino Unido, resultados acordes a las conclusiones expuestas en el trabajo previamente citado de Jolliet (1993).

Pese a que no es propiamente un trabajo de ACV, el documento citado extensamente de Stanhill (1980) también proporciona valores similares, $7 \text{ Mj} \cdot \text{kg}^{-1}$ para un invernadero sin calefacción en Israel con un rendimiento de $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ y $137 \text{ Mj} \cdot \text{kg}^{-1}$ en invernadero con calefacción en el sur de Inglaterra, con un rendimiento de $21,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, que se puede considerar una baja producción.

Relacionados con las estructuras de los invernaderos hay algunos estudios que muestran que las estructuras más complejas de aluminio y vidrio tienen un impacto ambiental mayor que el de las estructuras de tipo multitúnel de acero y plástico, que a su vez es mayor que el de las estructuras más sencillas (madera y plástico) (Russo *et al.*, 2004). En un estudio llevado a cabo en las Islas Canarias (Torrellas *et al.*, 2008), muestran que en un invernadero multitúnel, la producción debería doblar a la del invernadero parral, con el fin de justificar dicha inversión desde un punto de vista ambiental.

Otro punto ampliamente estudiado es el uso de sustratos y recirculación y comparación de los cultivos con y sin suelo. Se ha demostrado que mientras que algunas categorías de impacto, como la eutrofización mejoran claramente en los sistemas cerrados, otros, como el agotamiento de recursos no renovables, aumentan debido a la mayor cantidad de material utilizado en los cultivos hidropónicos, especialmente el sustrato (Antón, 2004). Sin embargo, este punto depende en gran medida de la unidad funcional seleccionada, en este caso el rendimiento (Nienhuis *et al.*, 1996) aplican el ACV para el estudio de la nutrición en cultivo de tomates y de rosas en Holanda comparando cultivo sin suelo, en sustrato libre y en sustrato con recirculación, destacando la importancia de este último en aspectos como la reducción de la eutrofización.

Romero-Gómez *et al.* (2009) comparan las cargas ambientales de cultivo de judías verdes en sistemas de sombreo con y sin sistema de humidificación con el cultivo al aire libre. En el primer caso la utilización de las estructuras quedaría justificada ambientalmente con rendimientos superiores en un 15 %. Sin embargo, la adopción de sistemas de enfriamiento, tales como humidificadores (con un alto consumo de agua y electricidad), sólo se justificaría en las condiciones de estudio, si el rendimiento aumentará en un 60 %.

Un proyecto europeo reciente EUPHOROS (2008-2012) ha utilizado el ACV para analizar extensivamente los aspectos ambientales de cuatro escenarios europeos de referencia y estudiar alternativas de mejora. Estos cuatro escenarios son tomate producido en invernadero multitúnel en Almería, tomate producido en invernadero Venlo en Holanda y Hungría y cultivo de rosa cultivado en invernadero Venlo en Holanda. Mientras que para los tres últimos el consumo de energía es el aspecto prioritario, en el caso del invernadero mediterráneo, de manera global se observa que los subsistemas de producción de los diferentes materiales de la estructura y equipo auxiliar y la fabricación de los fertilizantes, resultan las fases con mayor impacto ambiental.

El estudio de diferentes alternativas como reducción de fertilizantes, reducción del volumen de sustrato, prolongación de la vida útil del invernadero y el aumento del uso de energías renovables puede permitir reducir entre un 17 y 30 % el impacto del cultivo de tomate para las categorías de impacto ambientales estudiadas.

4. Conclusiones: aplicación ACV en invernadero Mediterráneo

En esta sección se presentan una serie de conclusiones por lo que respecta al análisis ambiental del cultivo en invernadero. Además, se resumen aquellos aspectos de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida que requieren profundizar en su estudio para mejorar su aplicación en agricultura en general y a la horticultura protegida en particular.

4.1. Análisis ambiental del cultivo en invernadero

Cabe señalar la importante contribución que el equipamiento de infraestructura tiene sobre la mayor parte de las categorías ambientales. Estos resultados, que contrastan con los sistemas de producción industrial, en los que el impacto del equipamiento es prácticamente despreciable, están en concordancia con los resultados de Cowell (1998). Las razones las podríamos encontrar, por un lado, en las características del material utilizado para la construcción del invernadero, material con un tiempo de vida útil relativamente pequeño en comparación con las fábricas de los procesos industriales, y por otro, en que el cultivo en sí requiere un consumo energético relativamente pequeño y a intervalos irregulares, comparando otra vez con sistemas industriales de producción continua. No cabe olvidar tampoco que la principal fuente de energía en la producción de tomate en el invernadero es la energía solar. Aspectos como alargar la vida útil, el uso de materiales reciclados y reciclaje de residuos son factores importantes a considerar.

El subsistema de fertilizantes es otro de los temas susceptibles de mejora ambiental. La reducción del uso de éstos pasa por el ajuste entre el aporte y el consumo, así como el empleo de sistemas de recirculación. Actualmente, para evitar deficiencias nutritivas o acumulación de excesos salinos, se suelen realizar aportes excesivos de fertilizantes y agua. Deberán buscarse criterios de gestión más racional es en el suministro de nutrientes al cultivo con el propósito de reducir el impacto ambiental y de aumentar el aprovechamiento de un recurso escaso, como es el agua.

La gestión de los residuos debe considerarse prioritaria en la mejora ambiental del cultivo en invernadero. La separación de la fracción verde y su posterior compostaje constituye una importante reducción de la carga ambiental. Igualmente deberá reducirse la cantidad de residuo que se genera, bien mediante su reciclado o bien a través de su reutilización.

Cabe destacar la contribución que el sustrato (p.e. perlita o lana de roca), puede presentar para alguna de las categorías de impacto. Procede la recomendación de investigación en sustratos alternativos de origen local y preferiblemente procedentes de reutilización de algún material.

Una gran parte de estas propuestas ya son contempladas en la mayoría de las políticas agrarias actuales, la herramienta presentada nos permitirá evaluar hasta qué punto estas mejoras pueden o han contribuido a reducir el impacto ambiental.

4.2. Aspectos metodológicos que requieren investigación

Como se ha visto el ACV es una metodología relativamente reciente, especialmente en su aplicación en el sector agrícola. Queda mucho camino por recorrer, pero el perfeccionamiento de esta herramienta y la difusión de sus resultados pueden ser de gran utilidad en el alcance de la sostenibilidad de nuestra agricultura.

Sin embargo, cabe aclarar que la utilización de la metodología del ACV significa asumir una serie de simplificaciones que deberán tenerse en cuenta, debiéndose profundizar en su metodología.

A nivel de inventario los principales problemas se detectan en la necesidad de adaptar a nuestras condiciones, los modelos o cálculos de emisiones elaborados para otras regiones. Dada la importancia de dichos cálculos, se precisaría de un perfeccionamiento de los modelos de transporte, deposición atmosférica, lixiviación, etc., en función de las condiciones locales, terreno, clima, dosis riego, fertilizantes y plaguicidas. Asimismo, no se dispone de toda la información referente a los datos secundarios necesarios, la dependencia de bases de datos internacionales nos puede dar valores aproximados, cuando en realidad pueden resultar cruciales para el estudio. En este sentido la disponibilidad de bases de datos locales o nacionales sería un objetivo muy importante para la credibilidad de los estudios de ACV.

Todavía están en fase de desarrollo factores de caracterización para categorías de impacto, tales como toxicidad, uso del suelo y uso del agua para las cuales no existe una metodología consensuada y que, sin embargo, son impactos propios de los sistemas agrícolas, dado que actualmente se está investigando en ellos (LC-IMPACT 2009-2012), hace prever resultados en un futuro inmediato.

Por último, cabe insistir en un aspecto que aunque recogido en la normativa, debería aplicarse más a menudo, como es la presentación de resultados con el correspondiente análisis de sensibilidad e incertidumbre, así como en el consenso de un sistema de referencia para presentar los resultados normalizados, cosa que permitiría no tan sólo saber cuáles son los aspectos ambientales débiles de nuestro sistema, sino también conocer su gravedad.

Referencias bibliográficas

- Antón, A. (2004): *Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo*. Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. Ph Thesis. <http://tdx.cat/handle/10803/6827>.
- Audsley, E. (1997): *Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture*. European Commission DG VI Agriculture.
- Cowell, S. J. (1998): *Environmental Life Cycle Assessment of Agricultural Systems: Integration Into Decision-Making*. Guildford. University of Surrey. Ph Thesis.
- Cowell, S. J. y Clift, R. (1997): "Impact assessment for LCAs [Life Cycle Assessments] involving agricultural production"; *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2(2); pp. 99-103.
- Euphoros, (2008-2012): Efficient use of inputs in protected horticulture. Seventh Framework Programme Theme KBBE-2007-1-2-04 <http://www.euphoros.wur.nl>.
- ILCD, (2010): *International Reference Life Cycle Data System Handbook*. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability. <http://ict.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAIL-online-12March2010.pdf>
- IPCC, (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Paris. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO-14040, (2006): *Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework*. Geneva. International Organisation for Standardisation ISO.
- ISO-14044, (2006): *Environmental management —Life cycle assessment— Requirements and guidelines*. Geneva. International Organisation for Standardisation ISO.
- Jolliet, O. (1993): "Bilan écologique de la production de tomates en serre"; *Revue S. Vitic. Arboric. Hortic.* 25(4); pp. 261-267.

- Lc-Impact (2009-2012): *Life Cycle Impact assessment Methods for imProved sustAinability Characterisation of Technologies*. Seventh Framework Programme Environment Env.2009.3.3.2.1 <http://www.lc-impact.eu/>.
- Medina, A.; Parrado, C. A.; Cooman, A. y Scherevens, E. (2006): "Evaluation of energy use and some environmental impacts for greenhouse tomato production in the high altitude tropics. Models for Plant Growth, Environmental Control & Farm Management in Protected Cultivation"; *Hortimodel 2006*. Wageningen (Netherlands). ISHS. *Acta Horticulturae*, (718); pp. 415-421.
- Milà I Canals, L. (2003): *Contributions to Life Cycle Analysis for Agricultural Systems. Site-dependency and soil degradation impact assessment*. Bellaterra. Universitat Autònoma. Ph Thesis.
- Nienhuis, J. K.; Vreede, P. J. A. D.; De Vreede, P. J. A. y Brumfield, R. G. (1996): "Utility of the environmental life cycle assessment method in horticulture"; *Proceedings of the XIIIth International Symposium on Horticultural Economics*, Rutgers. New Brunswick, New Jersey, USA. (429); pp. 531-538.
- Romero-Gámez, M., Antón, A., Soriano, T., Suárez-Rey, E. y Castilla, N., (2009): "Environmental impact of greenbean cultivation: Comparison of screen greenhouses vs. open field"; *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3,4); pp. 132-138.
- Russo, G. y Scarascia-Mugnozza, G. (2004): "LCA methodology applied to various typologies of greenhouses"; *International Conference on Sustainable Greenhouse Systems - GREENSYS 2004*; Leuven, Belgium, ISHS. *Acta Horticulturae*, (691); pp. 837-844.
- Stanhill, G. (1980): "The energy cost of protected cropping: A comparison of six systems of tomato production"; *Journal Agricultural Engineering Research*, (25); pp.145-154.
- Torrellas, M.; De León, W.; Raya, V.; Montero, J.; Muñoz, P.; Cid, M. y Antón, A. (2008): "LCA and tomato production in the Canary Islands"; *The 8th International Conference on EcoBalance*. Tokyo, Japan. Institute of Life Cycle Assessment. p. 41.

- Van Woerden, S. (2001): “The application of Life Cycle Analysis in glasshouse horticulture”; *International Conference LCA in Foods*. Gothenburg, Sweden. pp. 136-140.
- Williams, A.; Pell, E.; Webb, J.; Moorhouse, E. y Audsley, E. (2008): “Consumption of fresh produce in the UK from Mediterranean countries and the UK”; *The 8th International Conference on EcoBalance*. Tokyo, Japan.
- Williams, A. G.; Audsley, E. y Sandars, D. L. (2006): *Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities*. Bedford. Cranfield University and Defra; <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk> and www.defra.gov.uk.