

**CAPÍTULO 7**  
**CONCLUSIONES**



## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

*All States and all people shall cooperate in the essential task of eradicating poverty as an indispensable requirement for sustainable development, in order to decrease the disparities in standards of living and better meet the needs of the majority of the people of the world*

*UNITED NATIONS, RIO DE JANEIRO, June 1992*

---

### 7.1 PRESENTACIÓN

En este capítulo se presentan las conclusiones agrupadas acorde a los objetivos planteados en el capítulo 1. Esto es, conclusiones derivadas de la detección de los puntos ambientalmente débiles del cultivo en invernadero, y conclusiones correspondientes a la adaptación de la metodología del ACV para su uso en los procesos agrícolas en general y la horticultura protegida en particular. En la sección siguiente se establecen líneas futuras de investigación. Por último en la sección 7.3 se enumeran las publicaciones y presentaciones en congresos que hasta estos momentos ha generado esta tesis.

Como se ha visto el ACV es una metodología relativamente reciente y especialmente su aplicación en el sector agrícola. Queda mucho camino por recorrer, pero el perfeccionamiento de esta herramienta, su aplicación junto a otras como por ejemplo tecnologías limpias, análisis del riesgo ambiental (ERA), etc. y la difusión de sus resultados pueden ser de gran utilidad en el alcance de la sostenibilidad de nuestra agricultura.

## 7.2 CONCLUSIONES

### 7.2.1 Objetivo A

*A) Caracterizar los efectos ambientales derivados del proceso de cultivo. Cuantificar el consumo de materias primas y de energía, la emisión de contaminantes al aire, agua y suelo, así como los residuos generados en el proceso de cultivo de tomate en invernadero mediterráneo.*

La herramienta ambiental ACV ha resultado útil para identificar los problemas ambientales asociados al cultivo hortícola en invernadero. Su cuantificación ha permitido evaluar la importancia de dichos impactos.

En líneas generales se puede afirmar que el cultivo en invernadero resulta relativamente "limpio" por unidad producida. Esto es debido por un lado, a un alto rendimiento, y por otro lado a la posibilidad de aislarlo del exterior, lo que permite el confinamiento de las emisiones, verbigracia, los sistemas de recirculación. El cultivo en invernadero aporta asimismo un uso más eficiente del agua. Al mismo tiempo las menores necesidades energéticas reducen los impactos ambientales de los invernaderos mediterráneos relacionados con la utilización de la calefacción. Se han detectado, sin embargo, varios puntos susceptibles de mejora.

#### *1. Estudio de diferentes alternativas utilizadas en dicho cultivo*

Dentro del proceso global de producción de tomates en invernadero se demuestra la relativa importancia del sistema estructura, entendiéndose por tal el material que compone el invernadero, los materiales auxiliares utilizados en el equipo y distribución de la fertirrigación y el sustrato en el caso de cultivo hidropónico. Su contribución al total del impacto global se cifra entre un 10 y un 90% del total del proceso dependiendo de las categorías de impacto consideradas, resultando las más afectadas las categorías de cambio climático, agotamiento de recursos y formación de foto-oxidantes. Esta conclusión contrasta con la derivada de procesos industriales donde los componentes de la estructura de la fábrica tienen poca importancia frente a la fase de uso. El uso de estructuras de mayor duración, o más sencillas, y la reutilización del acero serán aspectos convenientes a considerar para reducir su impacto ambiental.

Un claro ejemplo de la utilidad de esta herramienta, que considera todo el proceso en su globalidad, ha sido el análisis entre materiales de cubierta de diferente duración. Esta comparación no ha dado resultados significativos, puesto que si por un lado los films de 2-3 campañas generan mayor cantidad de residuos, la fabricación de policarbonato resulta más contaminante que la de polietileno.

El sistema cerrado resulta menos contaminante siempre que se mejore la utilización del material auxiliar y la gestión de la fertirrigación para evitar la acumulación de nutrientes y tener que desechar el lixiviado. La categoría de eutrofización se beneficia especialmente con el cultivo hidropónico con recirculación. En esta categoría, el cultivo hidropónico con sistema abierto produce un impacto 1,59 veces más alto, mientras que el cultivo en suelo alcanza un valor 2,69 veces superior. En sentido contrario el cultivo en suelo disminuye el uso de recursos debido a la utilización de material auxiliar a una tercera parte respecto al hidropónico. Quedaría por evaluar, por falta de indicadores consensuados, cómo afectan directamente los diferentes sistemas de cultivo al recurso suelo.

Otro factor que deberá considerarse es el menor consumo de agua por kg producido en el sistema de cultivo hidropónico y recirculación. Este consumo aumenta un 24% en el sistema hidropónico con drenaje libre y un 45% en cultivo en suelo.

La comparación del nivel de toxicidad de los plaguicidas, aunque muestra una tendencia menor en las fincas gestionadas con IPM que con CPM, indica que la variabilidad entre fincas es más alta que la existente entre ambos métodos de control fitosanitario. Los resultados parecen señalar que la elección del plaguicida puede resultar más determinante que el propio método de control IPM o CPM. Probablemente el futuro pasa por descartar aquellos plaguicidas más peligrosos y establecer unas normas de uso, cuando, cuanto y cómo más específicas.

## *2. Detección de los puntos débiles desde un punto de vista ambiental a partir de dicha cuantificación.*

La gestión de los residuos resulta de una importancia extrema. Dicha gestión afecta especialmente a las categorías de cambio climático, eutrofización y formación de foto-oxidantes, cuyos resultados pueden alcanzar hasta un 90% del impacto global del proceso de cultivo de tomate. El análisis por subsistemas permite apreciar la importancia de otras categorías que quedan enmascaradas en el global, como podrían ser en este caso las relacionadas con la toxicidad.

La concienciación de la separación de la fracción compostable del resto así como la mejora del producto producido en las plantas de compostaje son factores clave para el posterior tratamiento de esta fracción.

La reducción del residuo no orgánico pasa por el incremento de la reutilización y el reciclado. La calidad necesaria para el material de cubierta hace difícil la utilización de materiales reciclados, no así para todo el material auxiliar, especialmente en el caso de los sistemas hidropónicos de recirculación, banquetas, plásticos, etc. Otro factor clave será la utilización de materiales biodegradables, especialmente aquellos que están próximos al cultivo, pinzas de

entutorar, cuerdas, etc. Sin embargo, será aconsejable realizar la cuantificación del impacto ambiental que la sustitución de dicho material significa.

En todos los sistemas estudiados los fertilizantes han mostrado ser uno de los aspectos más importantes para reducir impactos. En el caso del cultivo hidropónico con recirculación que es la alternativa estudiada con menor consumo de fertilizantes, la fabricación de éstos contribuye en un 50,7%, un 33,9% o un 30% en las categorías de cambio climático, eutrofización y acidificación.

Se necesita una gestión eficiente de la fertirrigación que case aportes con necesidades de los cultivos. En cultivos en suelo y especialmente en sustrato con drenaje libre, el aporte de nitrógeno deberá estar por debajo del admitido en áreas vulnerables en función de la densidad de plantación, el riego suministrado y la dosis empleada. La lixiviación va a depender del estado de desarrollo de la planta, de la textura del suelo, su inclinación y de la concentración en que se aplique el fertilizante. Los datos recogidos indican que éste es un aspecto que debe mejorarse, por un lado con un estudio más profundo de las necesidades reales de los cultivos y por otro con una normativa más específica.

Puesto que el transporte es uno de los factores que pueden contribuir a un impacto negativo, resulta aconsejable la potenciación regional del cultivo en invernadero para suministro de los mercados locales, así como la proximidad de la localización de la fabricación de los materiales necesarios. La categoría más afectada en el proceso global es la del agotamiento de la capa de ozono, con valores que alcanzan hasta un 17% más, al transportar el material que compone la estructura desde una fábrica situada a 1.600 km del punto de cultivo en el ejemplo estudiado.

### **7.2.2 Objetivo B**

*B Contribuir a la adaptación de la metodología del ACV para su aplicación en los procesos agrícolas.*

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

#### *1. Detección de los problemas que se plantean en la aplicación de dicha metodología.*

Los principales problemas se han detectado en la adaptación de modelos o cálculos elaborados para otras regiones.

No existía una normativa específica para el cálculo del CO<sub>2</sub> asimilado por el cultivo. En esta tesis se ha presentado una propuesta.

En la fase del inventario los principales problemas se han encontrado en la caracterización de los plaguicidas, con datos inexistentes o variables según las fuentes. También los inventarios de diferentes bases de datos presentan diferencias en el valor de las emisiones.

En el cálculo de las emisiones se ha intentado adaptar modelos o cálculos existentes a nuestras condiciones. Dada la importancia de las condiciones locales 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, plaguicidas, etc.

### *2. Avance en el desarrollo de indicadores para el cálculo de la toxicidad potencial de los plaguicidas.*

El impacto en el ser humano se produce principalmente a través de la ingestión del fruto. En esta tesis se ha presentado una primera aproximación que estima la exposición humana después de la deposición en fruto y suelo y consecuentemente el residuo que queda en el fruto. Esta aproximación, sin embargo, obvia la traslocación del plaguicida de la planta al fruto, fracción que se considera que deberá ser pequeña en relación con la que queda en la corteza del fruto o puede absorberse a través de ella. Futuras investigaciones deberían ir encaminadas a la mejora y corrección del cálculo del residuo en fruto.

La comparación entre diferentes metodologías de cálculo USES-LCA y CST ha dado resultados diferentes. En esta tesis se recomienda, siempre que pueda disponerse de los datos de los plaguicidas, el uso de USES-LCA, puesto que da una imagen más real en el ámbito continental europeo. Sin embargo la posibilidad de una adaptación a una escala más local sería conveniente.

### *3. Aplicación de los indicadores de uso del suelo.*

El Análisis del Ciclo de Vida es una metodología reciente especialmente en su aplicación al sector agrícola. Diversas iniciativas auspiciadas por SETAC y UNEP trabajan en la mejora de ella. Existe sin embargo un aspecto en una fase muy inicial de su desarrollo y que es fundamental para la evaluación de las actividades. Se refiere al análisis de la influencia que sobre el recurso suelo y todas las funciones que en el se desarrollan tienen los diferentes procesos o actividades.

La gran preocupación en el análisis del uso del suelo hace referencia a los indicadores que deben usarse para describir los impactos que sobre la calidad del suelo como recurso produce la actividad. La mayoría de las metodologías propuestas utilizan un número de indicadores determinados en gran parte por la disponibilidad de datos.

En cuanto a los resultados se ha comparado uso del suelo agrícola convencional con uso agrícola integrado. A nivel de plantas vasculares se observan muy pocas diferencias en cuanto a la

ocupación del suelo. Con la valoración de la biodiversidad de microorganismos probablemente se obtendrían mayores diferencias. La comparación entre uso agrícola y urbanización discontinua es más favorable a esta segunda desde un punto de vista de biodiversidad.

La utilización de la herramienta ambiental, ACV, ha permitido cuantificar en detalle el impacto ambiental producido por el cultivo de tomate en invernadero mediterráneo. Dicha cuantificación ha servido para evaluar qué aspectos son susceptibles de mejora y hacia donde debe dirigirse esta mejora. Con este trabajo se espera haber aportado un mejor conocimiento desde un punto de vista ambiental de la horticultura protegida Mediterránea, debiéndose destacar que se trata de un sector que deberá potenciarse puesto que gracias a unas condiciones climáticas muy favorables permite mediante la adopción de técnicas ambientalmente respetuosas la sostenibilidad de la producción.

La metodología del ACV y su aplicación a la agricultura ha resultado especialmente apropiada. Sin embargo se trata de una disciplina joven que presenta aspectos que precisan de elaboración e investigación futura. Especialmente los temas relacionados con el uso del suelo y la toxicidad de plaguicidas, campos en los cuales se espera haber contribuido con esta tesis.

### 7.3 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Se proponen las siguientes líneas de investigación futuras:

- Utilización del ACV como herramienta ambiental para la cuantificación del impacto ambiental de la actividad agrícola
  - Realización del ACV de los principales cultivos hortofrutícolas de Catalunya
  - Utilización de los resultados en Buenas Prácticas Ambientales en el sector hortofrutícola
  - Difusión de la metodología y los resultados a escala del productor
  - Extensión a otros sectores: acuicultura, ganadería, forestal, jardinería,...
  
- Adaptación de modelos de cálculo de toxicidad de los plaguicidas. Haciendo hincapié en los siguientes apartados:
  - Factores distribución y transporte de los plaguicidas adaptados a nuestras condiciones.
  - Adaptación modelo USES-LCA a escala local
  - Factores de caracterización para el cálculo del residuo en fruto



- 
- Cálculo de los valores de toxicidad potencial para todos los plaguicidas comúnmente utilizados
  - Ampliación de la comparación entre IPM y CPM para diferentes cultivos
  - Indicadores calidad de uso del suelo.
    - Adaptación modelo biodiversidad (Köllner) a Catalunya
    - Clasificación usos del suelo
    - Búsqueda de indicadores erosión, utilización modelos cálculo erosión
    - Búsqueda de indicadores desecación
    - Búsqueda de indicadores salinización
  - Gestión de residuos en la horticultura
    - Compostaje de la biomasa
    - Investigación en el uso de plásticos biodegradables
    - Emisiones nutrientes. Modelización de los lixiviados
    - Mejora de la gestión de la fertirrigación
  - Ecoetiquetaje producto integrado y producto ecológico
    - Comparación entre la producción convencional y orgánica
    - Criterios utilizados en el ecoetiquetaje
    - Percepción del consumidor

#### **7.4 PUBLICACIONES Y PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS A LOS QUE HA DADO LUGAR LA TESIS**

Antón, A., Montero, JI., Castells, F (2002). Life Cycle Assessment: A tool to evaluate and improve the environmental impact of Mediterranean Greenhouses. En: La Malfa, G., Lipari, V., Noto, G., Leonardi, C. (Eds) International ISHS Symposium on Product and process innovation for protected cultivation in mild winter climate. Acta Horticulturae 614 (1):35-40.

Antón, A., Montero, JI., Muñoz, P. (2002). Necesidades de agua del cultivo de tomate en invernadero. Comparación con el cultivo al aire libre. En: Guijarro, JA., Grimalt, M., Laita Ruiz, M., Alonso, S. (Eds) El Agua y el Clima. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología Serie A, nº 3. pp: 369-374. (ISBN: 84-7632-757-9).

Antón, A., Montero, J.I and Castells, F. (2002). LCA for the Improvement of Environmental Quality of Mediterranean Greenhouses Cultivation. 10th LCA Case studies symposium. Recycling, close loop economy, secondary resources. Dec 2002. Barcelona. Spain, pp:91-94.

- Antón, A, Castells, F and Montero, J.I. (2003). Pesticides Effect Evaluation In Life Cycle Assessment of Greenhouse Tomato Crop. DF 19 FORUM LCIA OF PESTICIDES. <http://www.texma.org/LCA-Forum/Documentation/documentation.html>.
- Antón, A.; Castells, F.; Montero, J.I. ; Muñoz, P. (2003). Identification of the most significant substances in LCA of Mediterranean Greenhouse Horticulture. 4<sup>th</sup> International Conference: LCA in the agri-food sector, october 6-8 Denmark.
- Muñoz, P. Antón, A.; Montero, J.I. ; Castells, F. (2003). Using LCA in waste management improvement in greenhouse tomato production. 4<sup>th</sup> International Conference: LCA in the agri-food sector, october 6-8 Denmark.
- Antón, A.; Montero, J.I.; Muñoz, P.; Castells, F. (2003) Cuantificación del impacto ambiental mediante análisis de ciclo de vida en relación con el uso del agua en invernadero. En: Fernández, M. Lorenzo, P. Cuadrado, I. (Eds.) "Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos". Curso Superior de Especialización vol. 7. Almería pp: 495-510.
- Antón, A., Castells, F. Montero, J.I. (2004) Comparison of Toxicological Impacts of Integrated and Chemical Pest Management in Mediterranean greenhouses. *Chemosphere* 54 (8): 1225-1235.
- Antón, A.; Montero, J.I.; Muñoz, P.; Castells, F. (2004) Using LCA for quantification of the environmental water use impact in greenhouse. *HORTIMED* , Almería. Spain (en prensa).
- Antón, A., Castells, F. Montero, J.I. (2004). Review of land use Indicators used in Life Cycle Assessment. Application in the study of environmental assessment of Mediterranean greenhouses. *Journal of Cleaner Production* (enviado).
- Antón, A., Castells, F. Montero, J.I. (2004). ACV i producció de tomàquets en hivernacle. I Seminari ACV i agricultura. Xarxa catalana d'Anàlisi de Cicle de Vida e IRTA. Cabrils (en preparació).