

## Análisis de viabilidad de la utilización de robots en invernaderos. Propuesta para el modelo Almería

F. Rodríguez<sup>1</sup>, J. Sánchez-Hermosilla<sup>2</sup>, L. Rivera<sup>1</sup>, A. Giménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Informática, <sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Univ. Almería, Crta. la Playa, s/n, 04120, Almería, [frodrig@ual.es](mailto:frodrig@ual.es), Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3)

### Resumen

En el interior de invernaderos hay que realizar una serie de tareas repetitivas, peligrosas y tediosas que son susceptibles de robotizar (con robots móviles y manipuladores), existiendo numerosos prototipos que no han llegado a comercializarse. En este artículo se presenta un análisis de viabilidad técnica, económica y social del uso de robots en los invernaderos del sudeste de España. Se han analizado la robotización de dos tareas como la pulverización de productos fitosanitarios y la recolección de frutos para los cultivos de tomate y pimiento. En ambos casos aunque socialmente serían bien acogidos, la viabilidad económica no recomienda el uso de robots. Además, algunos subsistemas necesarios para la robotización de estas tareas todavía no son viables técnicamente, por lo que habría que seguir investigando en este sector, aunque se proponen algunas soluciones para contrarrestar estas carencias.

Palabras clave: Viabilidad técnica, económica y social, Robotización, Agricultura

## Viability analysis of the utilization of robots in greenhouses. Proposal for Almería model

### Abstract

Crop growth control under greenhouses must required a set of repetitive, dangerous and tedious tasks that are likely to use robots (mobile and manipulator). In fact, there are several prototypes which have not been marketed. This paper presents an analysis of technical, economic and social viability of using robots in the greenhouses of the Southeastern of Spain. It has been analyzed the robotization of two tasks as spraying of phytosanitary products and the harvesting of fruit for tomato and pepper crops. Although socially they would be welcomed, in both cases, the economic viability does not recommend the use of robots. Furthermore, some required robot subsystems for these tasks are not yet technically feasible, so it is necessary to continue the research in this sector, although some solutions are proposed to counter these shortcomings.

Keywords: Technical, economic and social viability, Robotization, Agriculture

### Introducción

Actualmente, el sector agroalimentario es objeto de especial atención en cuanto a la incorporación de tecnologías avanzadas, dadas las exigencias cada vez mayores de producción, diversidad y calidad de los productos; todo ello con el problema creciente de la carencia y carestía de la mano de obra. Actualmente se están aplicando técnicas de automatización y robotización en todos los procesos agrícolas, desde la germinación de las semillas hasta la manipulación de los productos en la industria agroalimentaria (Kondo 2011, Sigrimis et al 1999). Estudios realizados por la Japan Robot Association indican que la agricultura es uno de los principales campos de aplicación de la robótica, sobre todo en Europa (JARA 2001); hecho que se corrobora en (Euron 2004) y (Robotics VO, 2013) que identifican a la agricultura como uno de los nichos comerciales de la robótica, previéndose que alcance los 16,3 billones de dólares en 2020 (WinterGreen, 2014).

En Almería se encuentra la mayor concentración de invernaderos del mundo (más de 29.000 ha) y, las estructuras y las prácticas culturales proporcionan un marco estructurado donde se pueden utilizar robots. Algunas experiencias se describen en (Rodríguez et al., 2011), tanto en robótica de manipulación como móvil (figura 1), en las que se ha advertido que, aunque las tareas a realizar se pueden robotizar, puede que no sea viable su ejecución.

El objetivo principal de este artículo es la realización del análisis de la viabilidad técnico, económico y social del uso de robots en invernaderos típicos del modelo Almería, para determinar el éxito o fracaso de un proyecto.

## **Materiales y Métodos**

Para determinar la viabilidad del uso de robots en los invernaderos de la provincia de Almería se han analizado dos operaciones en cultivos de tomate y pimento de ciclo largo: aplicación de fitosanitarios y recolección de frutos. Para la primera de ellas sólo es necesario un robot móvil capaz de navegar por el entorno del invernadero, mientras que para la recolección hay que utilizar un robot mixto (móvil junto con manipuladores) que realice tareas de difícil implementación como la localización, acercamiento, separación y almacenamiento de los frutos a recolectar.

En el análisis de viabilidad se han utilizado los siguientes métodos para los diferentes aspectos. Para la *Viabilidad técnica* se caracterizaron los invernaderos con información actualizada sobre el tipo estructuras, superficie, geometría, distribución del cultivo, etc. para determinar el entorno de trabajo de un robot. De igual modo se identificaron las fases para el desarrollo de cada tipo de robot y se realizó una profunda revisión bibliográfica donde se localizaron los principales problemas para la implementación de los mismos. En el caso de la *Viabilidad económica*, se considera que el uso de cualquier máquina agrícola tiene por finalidad la obtención de un beneficio económico. Por ello, los criterios de elección y empleo deben basarse en la búsqueda de una minimización de sus costes cumpliendo una serie de requerimientos o limitaciones técnicas para lograr los fines agronómicos previstos. Para determinar los costes de utilización se ha empleado el método de estimación de costes de máquinas agrícolas de ASABE (Standard EP 496.3. 2014), que los estructura en tres componentes, fijos, variables y mixtos. Por problemas de espacio, sólo se va a presentar en este artículo la evaluación económica de un robot pulverizador comparado con un sistema tradicional de pistola hidráulica. La *viabilidad social* se basó en estudios sobre el sistema productivo y social del sector agrícola de la provincia de Almería (Valera et al., 2014) realizando la identificación del agricultor promedio (estudios, edad, experiencia, etc.), el nivel de uso de la tecnología, mano de obra (plantilla, costos, etc.) y los riesgos para la salud como la exposición a productos fitosanitarios.

## **Resultados y Discusión**

Los invernaderos tipo Almería presentan pasillos irregulares (descuadres en un 40%) y angostos (90-100 cm) y con un suelo tipo enarenado (79.6% de los agricultores), por lo que es necesario un robot con una anchura máxima de 60/70 cm y alta maniobrabilidad. Ya se han desarrollado robots pulverizadores para invernaderos (Rodríguez et al., 2011) que son viables técnicamente, pero en los que hay que mejorar el sistema de localización y la autonomía. Con respecto a un robot recolector, el escenario cambia ya que no todas las fases para realizar esta tarea se han resuelto de forma conveniente, sobre todo en tres aspectos: la detección automática de los frutos se sitúa en torno al 85%, el tiempo de detección y recolección (10 s/fruto en el mejor de los casos) es demasiado elevado en comparación con un operario experto (varios frutos por segundo) y, el almacenamiento sin intervención humana. Existen prototipos para recolectar tomates y pimientos en invernadero (Kondo, 2011) pero actualmente no son viables para su utilización comercial, principalmente por su baja eficiencia en cuanto a la localización de los frutos identificados, los elementos terminales de agarre y separación de la planta, la velocidad de recolección de los mismos y su almacenamiento automático.

Con respecto a la viabilidad económica, uno de los aspectos que influye de manera determinante en el coste de utilización número de horas que trabaja al año. Los costes de uso del robot y de la pistola pulverizadora aumentan con el número de tratamientos (Figura 2), debido al incremento de los costes variables con el tiempo de uso. Sin embargo, los costes de la pistola pulverizadora aumentan de forma más rápida que los del robot, debido al mayor gasto de fitosanitario (equipado con barras pulverizadoras que ahorran aproximadamente un 40%, Sánchez-Hermosilla et al., 2011). De tal manera que, para 70 tratamientos/año, los costes del robot sean similares a los de la pistola pulverizadora. Se trata de un número de tratamientos muy elevado para lo que es habitual en la zona (aprox. 40), por lo que el uso de un robot, con un valor de 35.000€ no es una alternativa al sistema tradicional, desde un punto de vista económico. Para 40 tratamientos/año, el uso de la pistola pulverizadora supone un coste 6.850 €/ha, que se alcanzaría para un valor inicial del robot de 22.500€ (Figura 2). Por tanto, el uso de equipos cuyo valor sea superior dicho importe, supondría un increménento en los costes de producción, por lo que no resultarían viables económicamente. Un análisis similar se ha realizado con un robot recolector, siendo los resultados peores, obteniéndose periodos de recuperación cercanos al ciclo de vida del robot, por lo que los riesgos son elevados y es probable que nunca se recupere lo invertido

En el caso de la viabilidad social, tras analizar el perfil del agricultor promedio, la tendencia del nivel de uso de tecnología, la mano de obra y riesgos para la salud, socialmente el uso de robots pulverizadores o recolectores tendrá un impacto directo en la mano de obra local en particular (40% de los costos de la explotación y en su mayoría extranjeros) y en la sociedad en general (reduciendo la exposición a materias activas de alta peligrosidad). Por otra parte, la tendencia al incremento del uso de tecnología, modernización de herramientas para realización de tareas básicas y que en la segunda generación de agricultores el 43% posean estudios superiores, hace pensar que el uso de robots sea aceptable socialmente.

## **Conclusiones**

Actualmente, aunque existe prototipos de robots para la realización de tareas en el interior de invernaderos que los hacen socialmente viables, ya que realizan tareas repetitivas, tediosas y peligrosas y, que supuestamente aumentarían el rendimiento económico de una explotación; todavía hay algunos subsistemas que técnicamente no se han desarrollado convenientemente y habría que seguir trabajando en mejorarlos, como se ha comentado en la sección Introducción de este artículo. Además, un análisis de viabilidad económica indican que todavía no son rentables en la situación actual, incluso para tareas relativamente sencillas como la aplicación de fitosanitarios que sólo requieren un robot móvil. Por otra parte, aunque la formación media de los agricultores se está incrementando hasta estudios superiores, un sistema robotizado es una tecnología muy avanzada que requieren una alta cualificación tecnológica de los operarios, tanto usuarios como de mantenimiento, por lo que es necesaria la implantación de una industria auxiliar que ofertara estos servicios. Algunos de estos inconvenientes se podrían corregir modificando algunas de las prácticas culturales en los invernaderos (reestructuración de pasillos, morfología de las plantas, etc.), utilizando varios robots para realizar las tareas (aunque suponga un nuevo problema en la coordinación y colaboración entre ellos) y compartiendo los robots entre las diferentes explotaciones de asociaciones de agricultores para compartir gastos y disminuir el tiempo de amortización. Otra opción es modificar el modelo de cultivo utilizando estaciones de trabajo robotizadas que alimentan sistemas de transporte de las plantas (Rodríguez et al., 2011), aunque esto supone un cambio demasiado profundo y caro para la situación actual.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos Controlcrop P10-TEP-6174 y P12-AGR-773, financiados por la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía (España).

## Bibliografía

- ASABE Standard EP 496.3. 2014. Agricultural Machinery Management. St. Joseph, Mich.
- Euron Robotics; 2004; EURON Research Roadmaps; European Robotics Research Network; 137 pp.
- Japan Robot Association; 2001; Summary Report on Technology Strategy for Creating a “Robot Society in the 21st century; Japan Robot Association; Japón; 28 pp.
- Kondo, N.; Monta, M.; Noguchi, N.; 2011; Agricultural robots. Mechanism and Practice; Hyoto University Press y TransPacific Press.; Japón; 348 pp.
- Rodríguez, F.; González, R.; Sánchez, J.; Giménez, A.; Baeza, E.; 2011; Experiencias de robótica aplicada a invernaderos; Robot 2011. Robótica Experimental; Sevilla (España); pp. 91-98
- Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V.J., Páez, F., Agüera, F., Carvajal, F. 2011. Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in greenhouse tomato crops. Pest Management Science, 67 (8), pp. 942-947
- Sigrimis, N.; Hashimoto, Y.; Munack, A.; Baerdemaeker; J.; 1999; Prospects in Agriculture Engineering in the Information Age; CIGR-Ejournal; Vol. I; 20 pp.
- Robotics Caucus Advisory Committee; 2013; A Roadmap for US Robotics. From Internet to Robotics; Robotics in the USA; 137 pp.
- Valera, D.; Belmonte, L. Molina, F.D.; 2014; Los invernaderos de Almería. Análisis de su tecnología y rentabilidad económica; Edita Cajamar Caja Rural; Almería (España); 504 pp
- WinterGreen Research, INC; 2014; Agricultural Robots Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2014 to 2020, Strategic Market Report; 430 pp.

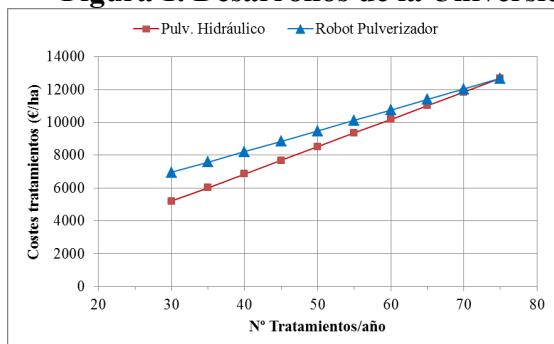


Robot Fitorobot

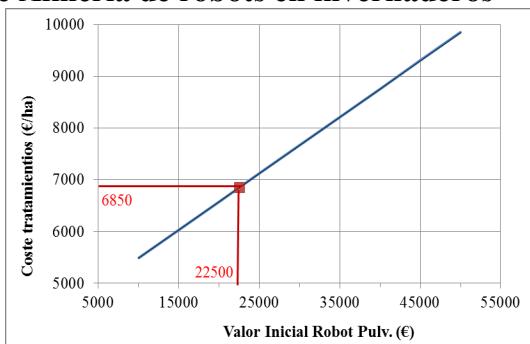


Robot Inversos

**Figura 1. Desarrollos de la Universidad de Almería de robots en invernaderos**



Costes de los tratamientos en función del nº de tratamientos



Coste de 40 tratamientos en función del valor inicial del robot pulverizador (en rojo coste para pistola pul.)

**Figura 2. Viabilidad económica de un robot pulverizador**