



Avances en Investigación Agropecuaria
Universidad de Colima
revaia@uacol.mx
ISSN (Versión impresa): 0188-7890
MÉXICO

2007

M.A. García / S. Gutiérrez / H. C. López / S. Rivera / A. C. Ruiz
ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE ROBOTS APLICADA A
INVERNADEROS

Avances en Investigación Agropecuaria, septiembre-diciembre, año/vol. 11, número
003

Universidad de Colima
Colima, México
pp. 53-61

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

<http://redalyc.uaemex.mx>



Estado del arte de la tecnología de robots aplicada a invernaderos[▼]

State of the art of robot technology applied to greenhouses

García, M. A.*; Gutiérrez, S.; López, H. C.; Rivera, S. y Ruiz, A. C.

Universidad de Colima, Facultad de Telemática, avenida Universidad 333,
Colima, Col. C. P. 28040, México. Tel./fax +52(312)3161075.

*Correspondencia: mgarcia@uacol.mx

▼Estudio de revisión

Resumen

La literatura ha reportado la importancia de los invernaderos, describiendo casos exitosos. La función principal de un invernadero es la de recrear y mantener —en un espacio específico— condiciones adecuadas y controladas de luz, humedad, temperatura, bióxido de carbono y pesticidas, entre otras, para cultivar plantas destinadas a diversos propósitos. Sin embargo, dichas condiciones pueden ser potencialmente dañinas para los seres humanos que laboran en invernaderos. Una alternativa para solucionar este problema ha sido la aplicación de la robótica en este tipo de espacios en el agro, aplicando de manera adecuada subsistemas de inteligencia artificial y mecánicos que componen a un robot. Este artículo describe una revisión de la literatura acerca de la investigación y desarrollo de robots aplicados en tareas tales como fumigación y cosechas dentro de invernaderos.

Palabras clave

Horticultor, cosechas, inteligencia artificial, robótica, visión computacional.

Abstract

Past literature has reported many successful cases about crops in greenhouses. The main function of greenhouses is to recreate and keep adequate and controlled conditions of light, humidity, temperature, carbon dioxide, and pesticides, among others, in a confined space to grow plants for diverse purposes. However, those conditions can be potentially harmful to humans that work in greenhouses. An alternative to overcome this is the application of robotics in those agricultural sites, adequately applying artificial intelligence and mechanical subsystems that are part of a robot. This paper describes a literature review of research and development of robots used in activities such as spraying pesticides and for harvesting in greenhouses.

Key words

Horticultor, harvesting, artificial intelligence, robotics, computational vision.

Introducción

La *Enciclopedia Británica* define a un invernadero como una construcción con paredes y techo transparentes o translúcidos, los cuales permiten el paso de los rayos solares para producir la fotosíntesis en plantas que las contienen. Los invernaderos han sido generalmente diseñados para la protección de plantas que se cosechan fuera de estación o no, las cuales no pueden soportar bajas temperaturas o congelamiento, protegiéndolas, sobre todo, del excesivo calor o frío [Agricultural technology, 2007; Greenhouse, 2007].

La función principal de un invernadero es la de recrear las condiciones más apropiadas para dar vida y generar la reproducción de plantas de cualquier propósito, ya sean comestibles (como frutales y verduras), con fines medicinales, o de ornato. Para lograr lo anterior, se necesitan simular condiciones fisicoquímicas óptimas de temperatura, bióxido de carbono y humedad (entre otras) para el adecuado cuidado y crecimiento que requieren dichas plantas [Sammons *et al.*, 2005]. La literatura ha reportado casos exitosos de cosechas eficaces y eficientes en invernaderos. Basta realizar una búsqueda en los principales índices de revistas académicas, como REDALyC [REDALyC, 2007] para confirmar esto. Enumerar las ventajas y beneficios de los invernaderos merece un análisis detallado, pero esto se encuentra fuera del alcance de este artículo.

Sin embargo, los trabajadores de invernaderos están expuestos a las condiciones fisicoquímicas anteriormente citadas, pudiendo afectar su salud [Acaccia *et al.*, 2003]. Cabe hacer notar que el CO₂ puede incrementarse fácilmente dentro de un invernadero, con el consecuente riesgo para los humanos. Además, la temperatura durante el día puede ser elevada dentro de ellos (frecuentemente, más de 30 °C); por lo tanto, incómoda para alguien que usa el equipo de protección al realizar su trabajo [Sammons *et al.*, 2005]. Esto puede exponer al trabajador a riesgos como la deshidratación, así como la inhalación de los pesticidas usados dentro del invernadero, lo cual puede causar daños al tejido pulmonar y a la piel, en general, o ser fatal. La exposición a muchos productos químicos por periodos de tiempo prolongados puede ser perjudicial para cualquier trabajador. Además, investigaciones han demostrado que la ropa de seguridad reduce la cantidad de exposición, pero no la elimina.

Se ha encontrado que el área genital es la parte del cuerpo de los trabajadores que más absorbe pesticidas (aun cuando el trabajador utilice ropa adecuada), con una tasa de absorción dérmica de 11.8, comparada con el antebrazo, que es de 1.0 [Riley *et al.*, 2003]. Muchos pesticidas son demasiado intensos y llegan a penetrar la ropa de látex, e incluso los guantes de goma en un lapso de media hora de trabajo; y una rociadura manual de plantas puede tomar como mínimo varias horas, dependiendo del tamaño del invernadero [Sammons *et al.*, 2005]. Una opción viable para evitar los

problemas anteriores ha sido el automatizar las tareas dentro del invernadero, utilizando robots; y si no eliminar, por lo menos disminuir un gran porcentaje los riesgos y condiciones no adecuadas para el personal que labora en invernaderos de manera continua.

El objetivo principal de este artículo es el de describir el estado del arte acerca de la investigación y desarrollo de la tecnología de robots aplicada a invernaderos. El artículo sugiere, además, trabajo a futuro para desarrollar y utilizar robots en invernaderos; que sean pequeños, de bajo costo y de fácil mantenimiento.

Características técnicas de los robots aplicadas a invernaderos

La robótica es una de las ramas de la inteligencia artificial. Esta última, estudia el desarrollo de computadoras que tienen cierta capacidad de razonamiento y simulan a la mente humana. Según McCarthy [2004], la inteligencia artificial es “la ciencia y la ingeniería de construir máquinas inteligentes, especialmente programas de computadora inteligentes”. La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) define a un robot como un aparato “manipulador programable en tres o más ejes, controlado automáticamente, reprogramable y de propósitos múltiples, el cual puede estar en un lugar fijo o móvil, para su uso en aplicaciones de automatización industrial” [ISO 8373, 1994].

La visión computacional (CV, por sus siglas en inglés) permite darle “ojos” al robot para percibir información visual del ambiente que lo rodea y actuar de manera adecuada, de acuerdo también a la programación que haya recibido. La CV comprende una o varias cámaras de video montadas sobre el robot y un programa (*software*) que filtre, procese y analice la información concerniente a los cuadros o imágenes tomadas del video de las cámaras, para tomar decisiones; y, por ende, realizar acciones [Pajares Martínsanz y de la Cruz Garcá, 2002] [Russell y Norvig, 1995], como por ejemplo, identificar algún tipo de vegetal con ciertas características de maduración y tamaño, además de evaluar el estado de salud de las plantas [Jayas *et al.*, 2000]. Belforte *et al.* [2006] comentaron que la visión computacional también puede servirle al robot para evitar obstáculos que puedan estar presentes en los pasillos del invernadero por donde va a circular.

Además de poseer visión artificial, un robot también tiene partes mecánicas móviles que permiten al mismo desplazarse a través de un pasillo de un invernadero, aunque existen desarrollos donde el robot permanece fijo en un mismo lugar y puede ser transportado manualmente a donde se necesite dentro del invernadero. El subsistema de locomoción de un robot generalmente está compuesto por ruedas de considerable tracción o por rieles donde puede deslizarse [Russell y Norvig, 1995]. Los robots también cuentan con brazos mecánicos que pueden ser telescópicos, para poder alcanzar la fruta o plantas, los cuales son móviles y giran con cierto sentido o tipo de rotación

(grados de libertad) en cada una de sus articulaciones, generalmente sucediendo esto en tres dimensiones [Schildt, 1987]. Los brazos tienen pinzas para realizar ciertas tareas en el invernadero, tales como asir una pistola de aspersión o sostener herramientas para cosechar frutas o vegetales.

Revisión de la literatura sobre robótica en invernaderos

Uno de los primeros proyectos acerca del uso de robots móviles en invernaderos es el AGROBOT, desarrollado por Buemi *et al.* [1996]. El robot construido utiliza un brazo mecánico con seis grados de libertad, diseñado para recolectar jitomates de manera automática y eficiente y para rociar sustancias anticriptogámicas sobre las plantas, evitando con esto el esfuerzo repetitivo que los trabajadores del invernadero tienen que hacer al recolectar estas verduras a mano y aplicar pesticidas. Incluye un sistema de visión computacional estéreo en color para la identificación de jitomates maduros. La ventaja de este robot sobre otros es que éste se puede adaptar fácilmente a diferentes tipos de cultivos en el invernadero y realizar operaciones diversas, como trasplantar y empacar.

Kondo *et al.* [1996], demostraron en Japón que el uso de robots en invernaderos puede ser eficaz y eficiente, ya que podrían requerir de poca intervención humana y se llevaría a cabo en espacios reducidos, con tecnología de sensores y actuadores precisos para determinar si las frutas y legumbres están listas para cosecharse y poder cortarlas de las plantas. Kondo *et al.* [1996], además, propusieron que se puede aplicar la utilización de robots en invernaderos a la producción de cultivos en el espacio (por ejemplo, en la Estación Espacial Internacional) ya que los cultivos se tienen que llevar a cabo en espacios reducidos y ser controlados por pocas personas. Es por esto que los robots autónomos (capaces de razonar y tomar decisiones por sí mismos) serían ideales para utilizarse en el espacio, sin supervisión humana constante.

Según Kitamura *et al.* [2005] en Japón, en años recientes, los recortes en la fuerza laboral de la agricultura han empeorado debido al impacto de la caída de la tasa de natalidad y la edad actual de los agricultores. Una solución a este problema ha sido el uso de sistemas automáticos para la horticultura en invernaderos, como lo son el sistema de control de temperatura o de riego. Generalmente, los robots aplicados a la cosecha presentan retos en la identificación de las frutas, los sistemas para el corte y los sistemas de movimiento, entre otros. Uno de los grandes problemas es el control de las cámaras que permiten la visión computacional del robot. Kitamura *et al.* [2005] propusieron que para obtener la imagen de la fruta y realizar el corte de la misma, parte del reconocimiento de la fruta depende de un sistema de posicionamiento de cámaras que la reconozcan. Para lograr esto es necesaria la aplicación de dos cámaras que son posicionadas y manejan la información en tres dimensiones (horizontal, vertical y profundidad) usando motores de corriente continua, rieles, cinturones y otros aditamen-

tos. La posición de la fruta es obtenida con las dos cámaras para hacer la correcta recolección de la fruta.

De acuerdo a Sammons *et al.* [2005], el horario ideal para rociar las plantas dentro de un invernadero es por la tarde, ya que las plantas reaccionan al contacto con la luz ultravioleta y al calor intenso por lo que la aprovechan mejor. Se podría crear un sistema robótico para que comenzara la operación en la noche que evitara las horas de trabajo mientras que se asegura de que las plantas estén rociadas con las mejores condiciones y evitar que causen la menor cantidad de daño a las plantas. Es por esto que Sammons *et al.* [2005] plantearon un robot que incluyó un brazo situado sobre una plataforma con elevación, que ayudó a realizar la poda, la cosecha y la supervisión del producto. Los investigadores diseñaron y desarrollaron un prototipo de robot de bajo costo con las características anteriores para su uso en el Centro Nacional para los Invernaderos de Horticultura, en Australia.

Tal como apuntan Belforte *et al.* [2006], para que los robots se utilicen eficaz y eficientemente en cualquier tipo de invernadero, deben cumplir al menos con las siguientes características:

1. Los robots deben ser precisos en sus tareas, con un margen aceptable de error de algunos milímetros, debido a que las tareas que tienen que realizar en el invernadero no requieren de gran exactitud. Esto, además bajaría el costo del desarrollo del robot, ya que no se requerirían de piezas de alta precisión que sean costosas.
2. Dado que los invernaderos suelen ser ambientes con alta humedad, con gran cantidad de polvo y pesticidas, el material y estructura de los robots deben soportar este tipo de condiciones.
3. Los trabajadores del invernadero generalmente no tienen conocimientos de robótica, por lo que su mantenimiento debe ser fácil de realizar.
4. Aunque los invernaderos son infraestructuras que prácticamente no cambian, no están exentos de tener obstáculos que afecten a los robots móviles. Es por esto que se recomienda utilizar sensores integrados para que el robot pueda detectar objetos (o personas) que se interpongan a su paso y encontrar y seguir un camino específico. Belforte *et al.* [2006] recomiendan que el robot tenga un sistema de visión computacional para tal efecto. Los autores recomiendan también que el robot circule sobre un riel, para bajar los costos de adquisición del mismo. De esta manera, no se necesitaría de un sistema de visión computacional para encontrar su camino.
5. Ya que el espacio de los invernaderos se utiliza al máximo, los robots deben ser lo suficientemente compactos para no ocupar espacio considerable en los mismos.

6. El robot debe ser compatible con las estructuras del invernadero; esto, para su fácil instalación y manejo, además de que la inclusión de robots no debe representar un cambio (y costo) considerable en la estructura del invernadero.
7. El robot debe ser versátil y que se pueda reconvertir fácilmente, para poder adaptarlo a diversas tareas dentro del invernadero; como por ejemplo, cosechar diferentes tipos de verduras o frutas.

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de los tipos de robots desarrollados para llevar a cabo investigación en invernaderos, así como las actividades que realizan dentro del mismo y sus beneficios putativos en la literatura reportada en este artículo.

Cuadro 1. Tipos de robots reportados en la literatura.

Autores del proyecto de investigación	Tipo de robot	Actividades del robot en el invernadero	Beneficios putativos
[Acaccia <i>et al.</i> , 2003]	Robot montado sobre rieles que corren a lo largo del suelo o suspendidos por el techo del invernadero. Incluye un brazo mecánico de tres grados de libertad	Cultivar flores o vegetales (sugerencia de los autores, el robot se encuentra en desarrollo)	Análisis y comparación de desplazamiento de un robot suspendido por el techo del invernadero o por el suelo. Uso de baterías para mejorar la autonomía del robot. (su tecnología se encuentra en desarrollo)
[Belforte <i>et al.</i> , 2006]	Robot fijo con brazo extensible de tres grados de libertad	Rociar pesticidas y aplicar fertilizantes	Actividades de alta precisión a relativamente bajo costo
[Buemi <i>et al.</i> , 1996]	Robot autónomo con cuatro ruedas, con un brazo mecánico extensible de seis grados de libertad, utilizado para cosechar y rociar	Cosechar jitomates, cortar flores y rociar sustancias anticriptogámicas sobre las flores	Facilidad para moverse en espacios reducidos, buena maniobrabilidad para evitar obstáculos. Efectividad para recolectar jitomates sin dañarlos
[Kitamura y Takeda, 2005]	Robot móvil autónomo con cuatro ruedas	Identificar y cosechar pimientos dulces	Mecanismos exitosos de traslación, identificación y corte de la verdura, comprobado en un laboratorio y en un invernadero real

[Kondo <i>et al.</i> , 1996]	Brazo robot con siete grados de libertad, utiliza cuatro ruedas para el desplazamiento, con sistema de visión binocular	Identificación y cosecha de jitomates, uvas y pepinos	Identificación efectiva por visión computacional de frutas y verduras, en cuanto a discriminación, reconocimiento y distancia robot-verdura y robot-fruta
[Sammons <i>et al.</i> , 2005]	Robot móvil semiautónomo que puede moverse sobre ruedas o rieles dispuestos en el piso	Rociar pesticidas sobre ciertas plantas	Robot de relativamente bajo costo de construcción, con una efectividad de rociado de hasta 95%

Comentarios finales

Este artículo describe una visión de la tecnología robótica aplicada en invernaderos. Dado que en este tipo de espacios existen condiciones de humedad, temperatura, bióxido de carbono y pesticidas, entre otras, que pueden ser potencialmente dañinas a la salud de los seres humanos que laboran en ellos, una alternativa viable ha sido la investigación sobre la aplicación de la robótica para realizar tareas tales como la fumigación y cosecha de manera automática dentro de invernaderos. Se hace notar que la mayoría de los proyectos de investigación reportados en el mundo han desarrollado robots de gran tamaño, por lo que quizá no sean una opción adecuada si el invernadero y sus plantas son de tamaño pequeño.

Sin embargo, con la aplicación de robots en invernaderos pueden surgir algunas desventajas. Cierta número de horticultores pueden ser desplazados por los robots, aunque estas personas podrían darles mantenimiento y operarlos. Además, se considera que se necesita dar una capacitación inicial constante e intensa a los horticultores acerca del manejo, cuidados y mantenimiento de los robots que se utilicen en el invernadero. Esto puede generar costos e inversión de tiempo iniciales que no estén contemplados en las actividades y gastos generales del invernadero.

Como trabajo a futuro, se sugiere la construcción de robots de menor tamaño a los descritos en la revisión de la literatura y que su mantenimiento sea más fácil y económico. Se recomienda incluir, en futuros desarrollos, el utilizar locomoción de robots por ruedas, ya que de esta manera se podrían ahorrar costos de instalación de rieles en los pasillos del invernadero. Los futuros proyectos de investigación y desarrollo deberán tomar en cuenta las características deseables de robots en invernaderos descritas por Belforte *et al.* [2006], mostrada en la revisión de la literatura. Además, es necesario explotar el uso de la visión artificial en los futuros robots, dada su aplicación exitosa para identificar plantas y frutas por cosechar, tal como lo demostró Jayas *et al.* [2000].

Dado que muchas carreras de ingeniería de las universidades de este país ya cuentan con cursos especializados en robótica (o al menos incluyen temas relacionados, como inteligencia artificial, electromecánica, sistemas de control y otros), no es de extrañar que surjan proyectos de tesis de nivel licenciatura y posgrado en el corto plazo acerca del desarrollo de robots con aplicación en invernaderos, dirigidos por profesores-investigadores. Se espera que este artículo sirva de punto de partida para esos proyectos académicos y otros de mayor envergadura.

Agradecimientos

Se agradece la participación de todos los estudiantes de la maestría en computación de la Facultad de Telemática, de la Universidad de Colima, México.

Literatura citada

- Acaccia, G. M.; Michelini, R. C.; Molino, R. M. and Razzoli, R. P. 2003. *Mobile robots in greenhouse cultivation: inspection and treatment of plants*. ASER 2003, 1st International Workshop on Advances in Services Robotics, Bardolino, Italia.
- Agricultural technology. 2007. *Encyclopædia Britannica*. Disponible en: <http://www.britannica.com/eb/article-67808>. (Obtenido el 24 de octubre de 2007).
- Belforte, G.; Deboli, R.; Gay, P.; Piccarolo, P. and Ricauda Aimonino, D. 2006. *Robot Design and Testing for Greenhouse Applications*. *Biosystems Engineering*, 95(3): 309-321.
- Buemi, F.; Massa, M.; Sandini, G. and Costi, G. 1996. *The AGROBOT Project*. *Advanced Space Research*. 18(1/2): 185-189.
- Greenhouse. 2007. *Encyclopædia Britannica*. Disponible en: <http://www.britannica.com/eb/article-9037975>. (Consultada el 24 de octubre de 2007).
- ISO 8373. 1994. *Manipulating industrial robots-Vocabulary*. International Organization for Standardization. Norma ISO 8373. Ginebra, Suiza. 23 pp.
- Jayas, D. S.; Paliwal, J. and Visen, N. S. 2000. *Multi-layer neural networks for image analysis of agricultural products*. *J. Agric. Engng Res.*, 77 (2): 119-128.
- Kitamura, S.; Oka, K. and Takeda, F. 2005. *Development of Picking Robot in Greenhouse Horticulture*. SICE Annual Conference 2005, Okayama, Japón. p. 3176-3179.
- Kondo, N.; Monta, M. and Fujiura, T. 1996. *Fruit harvesting robots in Japan*. *Advanced Space Research*, 18(1/2): 181-184.
- McCarthy, J. 2004. *What is Artificial Intelligence?* <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/> (Consultada el 22 de agosto de 2007).
- Pajares Martínsanz, G. y de la Cruz Garcá, J. M. 2002. *Visión por computador. Imágenes digitales y aplicaciones*. Alfaomega Ra-Ma. México, D. F. 800 pp.
- REDALyC. 2007. Red de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Disponible en: <http://www.redalyc.com/>. (Consultada el 24 de octubre de 2007).
- Riley, B. and Siemsen-Newman, L. 2003. *Health Hazards Posed to Pesticide Applicators*. Northwest Coalition For Alternatives to Pesticides. p. 17-24.
- Russell, S. and Norvig, P. 1995. *Artificial Intelligence: A modern approach*. Prentice Hall. Londres, Reino Unido. 932 pp.

- Sammons, P. J.; Furukawa, T. and Bulgin, A. 2005. *Autonomous Pesticide Spraying Robot for use in a Greenhouse*. Australasian Conference on Robotics and Automation 2005. Sydney, Australia. p. 1-9.
- Schildt, H. 1987. *Utilización de C en Inteligencia Artificial*. Osborne/McGraw-Hill. México, D. F. 340 pp.

Recibido: Agosto 27, 2007

Aceptado: Noviembre 6, 2007