



Programa de Doctorado de Ingeniería de Sistemas y de Control

Dpto. Informática y Automática-UNED



Robótica en Invernaderos

Francisco Rodríguez Díaz

Ingeniería de Sistemas y Automática

Dpto. de Informática

frrodrig@ual.es

28 de abril de 2018

Universidad de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática

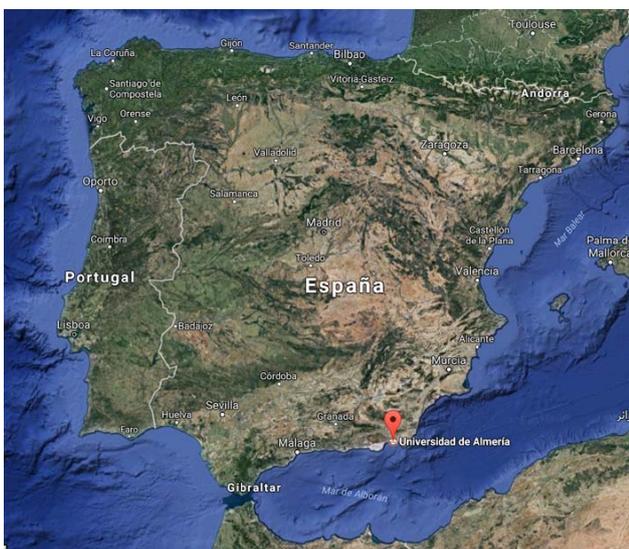
2



Provincia de Almería

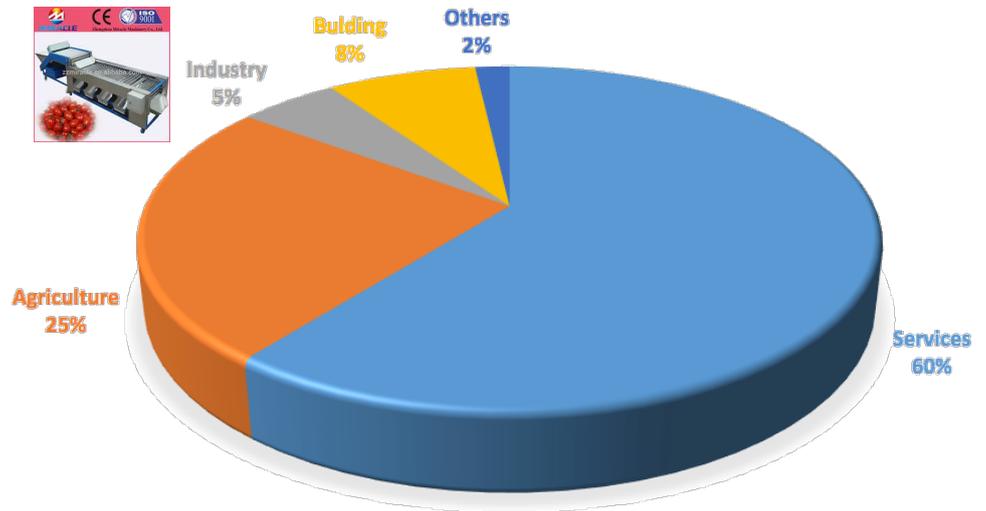


Almería es una provincia situada en el sudeste de España a orillas del mar Mediterráneo



Universidad de Almería

- Almería posee el mayor número de horas de sol de toda Europa (media anual de 3000 horas) y donde menos llueve
- La economía de Almería



La mayor concentración de invernaderos en el mundo se encuentra en la provincia de Almería con : 30.230 hectáreas



La mayor concentración de invernaderos en el mundo se encuentra en la provincia de Almería con : 30.230 hectáreas



- **Productos:** tomate, pimiento, pepino, sandía, calabacín, melón, berenjenas, lechuga,...
- **Producción:** 3.375.970 toneladas con 1.803 millones € (para agricultores)
- **Exportación:** 2.408.345 toneladas (75,4%), 2.194 millones € (para exportadoras)
 - UE: Alemania, Francia, Holanda, Reino Unido
 - No-UE: Suiza, Rusia



La agricultura de Almería



El éxito de la agricultura de Almería radicó en:

- El uso de invernaderos de bajo coste y poco tecnificados
- Mano de obra barata
- Producción fuera de temporada



La agricultura de Almería



Actualmente, existe una fuerte competencia



Países
Alta tecnología
Calidad excelente
Mano de obra más cara



Países
Condiciones similares
Calidad aceptable
Mano de obra más barata



Los objetivos son



Cómo?

HighTech





Grupo ARM TEP-197



Universidad de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática



Grupo ARM TEP-197



Robótica en invernaderos



Oportunidad de la robótica agrícola

Universidad
de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática

12



Robots y trabajo humano

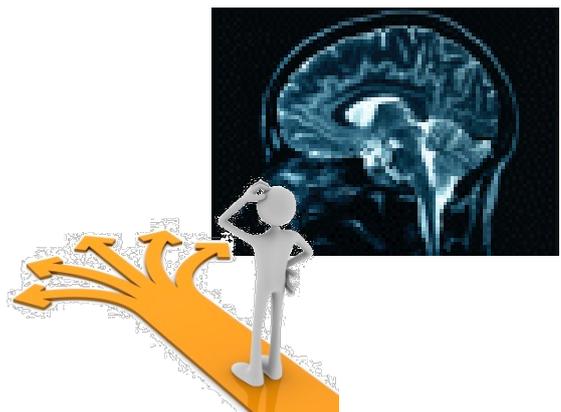


Robot se utiliza para sustituir a personas en tareas:

- Peligrosas
- Repetitivas
- Tediosas

Características fundamentales del trabajo humano

- **Inteligencia** (toma de decisiones)



Universidad
de Almería



Características del trabajo humano



Características fundamentales del trabajo humano

- Capacidad de trabajar con objetos y herramientas **Manipular**



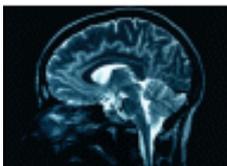
- Capacidad de movimiento **Movimiento**



Sustitución del trabajo humano



- Inteligencia



Inteligencia artificial



ARTIFICIAL INTELLIGENCE

- Manipulación



Robótica de manipulación



- Movimiento



Robótica móvil



Tipos de tareas



Coger y situar



RECOLECCIÓN



PODA



Herramientas



PULVERIZACIÓN

Transporte



Tipos de tareas



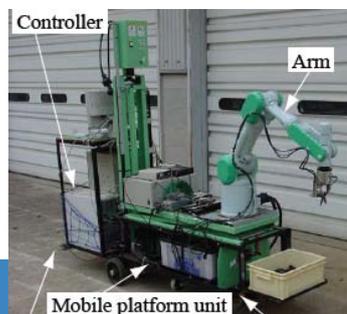
Coger y situar



Herramientas



Transporte





Tareas agrícolas



Tareas agrícolas mecanizadas





Tareas agrícolas robotizadas



5. Post-recolección



1. Preparación de suelos



2. Plantación



4. Recolección



3. Producción



Universidad de Almería

20



Competitividad por sectores

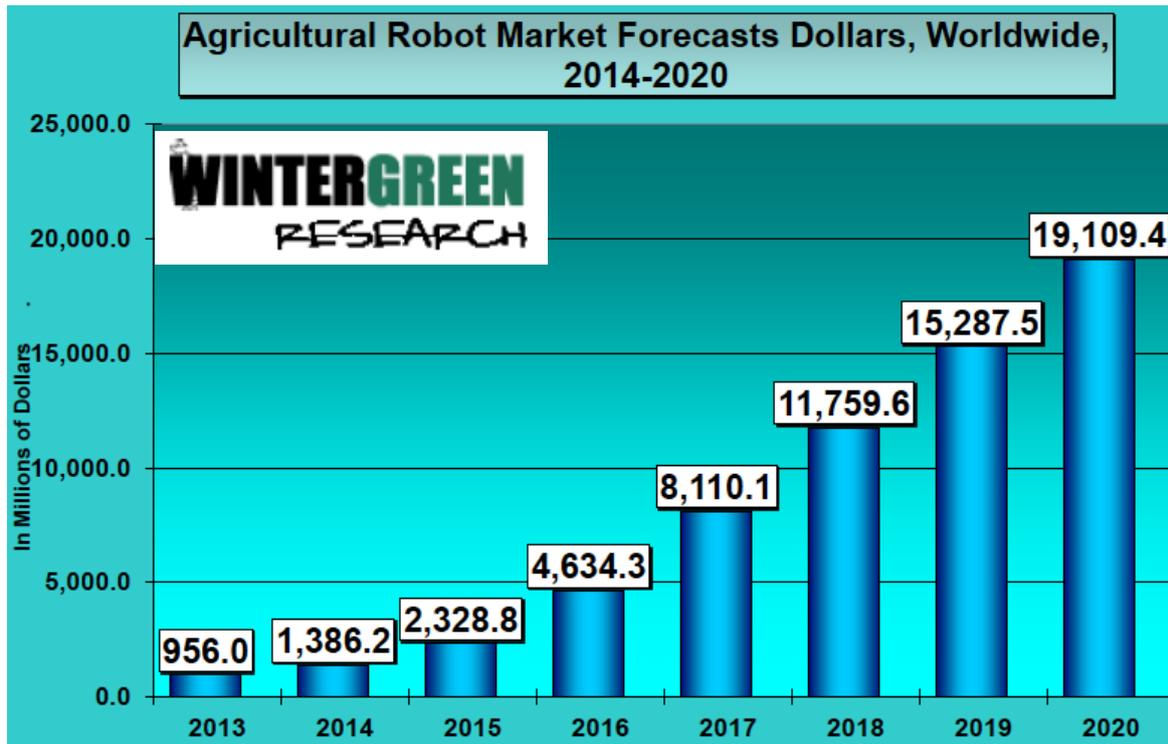


Sectores	Japón	USA	Europa
Manufactura (industria)	Competitivo	Medio	Medio
Construcción	Competitivo	No competitivo	No competitivo
Medicina	No competitivo	Medio	No competitivo
Energía nuclear	Medio	Competitivo	Competitivo
Aplicaciones espaciales	Medio	Competitivo	Medio
Agricultura	Medio	Medio	Competitivo
Aplicaciones marinas	Medio	Competitivo	Competitivo
Prevención de desastres	No competitivo	Medio	Medio
Entretenimiento	Competitivo	Competitivo	No competitivo

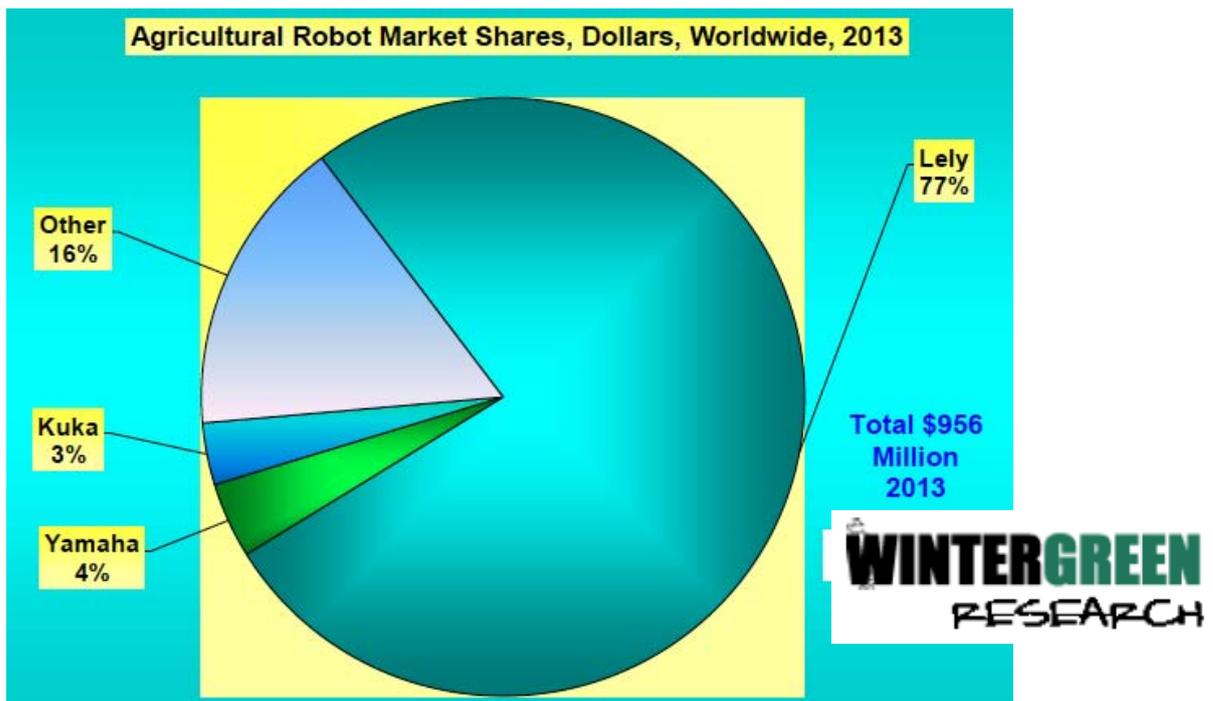
Universidad de Almería



Predicción de unidades por sectores



Mercado de robots agrícolas





Mercado de robots agrícolas



Types of robots	Sales In 2009 No. of units	Sales In 2010 No. of units	Sales In 2009 \$1,000	Sales In 2010 \$1,000	Forecast 2011-2014 No. of units	Forecast 2011-2014 \$million
Section II						
17-23						
Professional service robots						
Field robotics	4,013	4,198	708,062	743,975	27,705	4,854
17 – Agriculture	1	1			1,700	
18 – Miking robots	3,950	4,100			25,500	
19 – Other robots of livestock farming	59	971			500	
20 – Forestry and silviculture					1,700	
21 – Mining robots					1,700	
22 – Space robots	3				5	
23 – Others						



asociación española de robótica y automatización tecnologías de la producción

Robots según sector	Definiciones	A 31/12/09	Altas 2010	Bajas > 12 años	TOTAL ACTUAL
A Agricultura	Agricultura, ganadería, caza y servicios relacionados, la silvicultura y la explotación forestal, la pesca y la acuicultura	6	2	0	8

Universidad de Almería



Informes de análisis



May 21, 2009

A Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics

Organized by

- Georgia Institute of Technology
- University of Southern California
- Johns Hopkins University
- University of Pennsylvania
- University of California, Berkeley
- Rensselaer Polytechnic Institute
- University of Massachusetts, Amherst
- University of Utah
- Carnegie Mellon University
- Tech Collaborative

Sponsored by

European ROBOTICS Research Network

Key Area 1 on "Research Coordination" – KA1

Co-chairs: Prof. Paolo Dario, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy
Prof. Rüdiger Dillman, Universität Karlsruhe (TH), Germany
Prof. Henrik I Christensen, Royal Institute of Technology, Sweden

EURON Research Roadmaps

Contributors (in alphabetical order):

- Carlos Balaguer, University Carlos III of Madrid, Spain
- Alicia Casas, Universitat Politècnica de Catalunya, Spain
- Raja Chatila, LAAS, Toulouse, France
- Thomas Christaller, Fraunhofer AIS, Sankt Augustin, Germany
- Ian S. Dai, King's College, London
- Paolo Fiorini, University of Verona, Italy
- Martin Haegeler, IPA, Germany
- Serd Hirzinger, DLR, Munich, Germany
- Alois Knoll, University of Bielefeld, Germany
- Christian Laugier, INRIA, France
- Claudio Melchiorri, University of Bologna, Italy
- Rezia Mollino, University of Genova, Italy
- Anibal Ollero, University of Seville, Spain
- Erwin Prassler, FAW, Germany
- José Santos-Victor, Institute for Systems and Robotics (ISR), Lisbon, Portugal
- Pedro Sanz Valero, University Jaume I, Castellon, Spain
- Klaus Schilling, University of Applied Sciences Ravensburg-Weingarten, Germany
- Roland Siegwart, EPFL, Lausanne, Switzerland
- Janwei Zhang, University of Bielefeld, Germany

Date: 23 April 2004

<http://www.us-robotics.us/reports/CCC%20Report.pdf>

<http://www.cas.kth.se/euron/euron-deliverables/ka1-3-Roadmap.pdf>

Universidad de Almería



Informes de análisis



WinterGreen Research, INC.

Agricultural Robots: Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2014 to 2020

Mountains of Opportunity



Picture by Susan Beattie

REPORT # SH25851953 430 PAGES 236 TABLES AND FIGURES 2014
\$3,900 SINGLE COPY -- \$7,800 WEB SITE POSTING

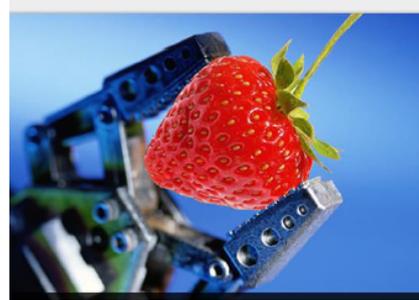



Agricultural Robots Executive Summary

Agricultural Robots Executive Summary

Agricultural Robot Market Driving Forces

FIGURE ES-1
AGROBOT STRAWBERRY PICKER



Source: Agrobot.

COPYRIGHT 2014, WINTERGREEN RESEARCH, INC. ES-1
www.wintergreenresearch.com www.wintergreenresearch.com/blog
Telephone 781-863-5078 Email: info@wintergreenresearch.com
Lexington, Massachusetts




Titulaciones de agronomía



Asociaciones internacionales



USAEE
University Studies of Agricultural Engineering in Europe

<i>Cursos clásicos de ingeniería</i>	<i>Cursos modernos de ingeniería</i>
<i>Electrónica</i>	<i>Informática</i>
<i>Ingeniería de los materiales</i>	<i>Tecnología de sensores</i>
<i>Ingeniería de sistemas</i>	<i>Robótica</i>
<i>Diseño de sistemas de control</i>	<i>Sistemas modernos de control (predictivo, óptimo, etc.)</i>
	<i>Tratamiento de imágenes</i>

Nuevas titulaciones (Febrero 2008)



MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

Ingeniería Agrícola



De tecnología específica	48	Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principio de:
Industrias Agrarias y Alimentarias		<ul style="list-style-type: none"> - Ingeniería y tecnología de los alimentos. - Ingeniería y operaciones básicas de alimentos. Tecnología de alimentos. Procesos en las industrias agroalimentarias. Modelización y optimización. Gestión de la calidad y de la seguridad alimentaria. Análisis de alimentos. Trazabilidad. - Ingeniería de las industrias agroalimentarias. - Equipos y maquinarias auxiliares de la industria agroalimentaria. Automatización y control de procesos. Ingeniería de las obras e instalaciones. Construcciones agroindustriales. Gestión y aprovechamiento de residuos.



Titulaciones de agronomía



Nuevas titulaciones (Febrero 2008)



Ingeniería Agrícola



Mecanización y Construcciones Rurales

Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principio de:

- Tecnologías de la producción vegetal y animal
- Motores y máquinas agrícolas. Características y diseño de maquinaria para instalaciones agrarias. Automática agraria.

Ingeniería Agrónomica



Tecnología de las Industrias Agroalimentarias

10

Conocimientos adecuados y capacidad para desarrollar y aplicar tecnología propia en:

- Sistemas productivos de las industrias agroalimentarias. Equipos y sistemas destinados a al automatización y control de procesos agroalimentarios. Gestión de la calidad y de la seguridad alimentaria, análisis de alimentos y trazabilidad.

Universidad de Almería



Titulaciones en ingeniería



AGROTECHNOLOGY & FOOD SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR



Field Robot Event

<http://www.fieldrobot.nl/>

Universidad de Almería



Titulaciones en ingeniería



BEST Agrotech 2.0: Robot challenge reloaded!



Universidad
de Almería

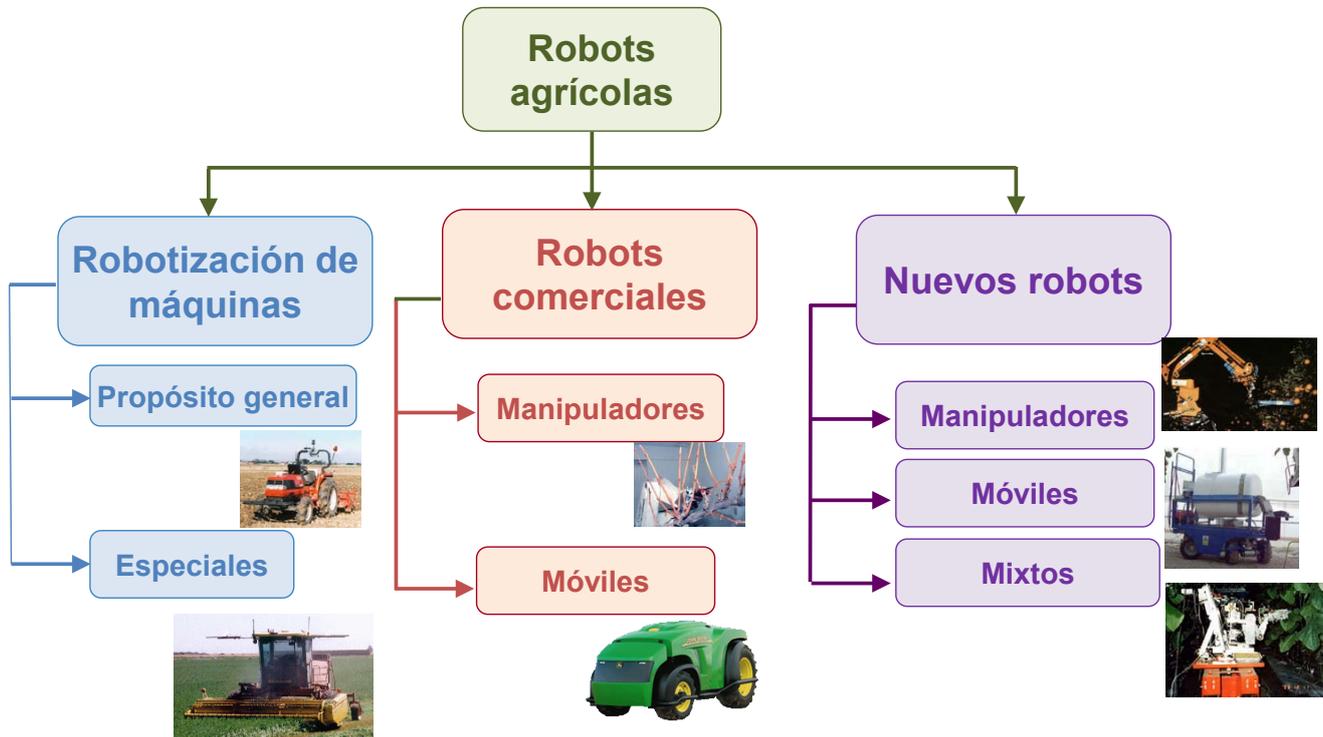
Robótica en invernaderos



Implementación de robots agrícolas

Universidad
de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática



Robotizar maquinaria agrícola ya existente conducida por operarios humanos para hacerla autónoma





Robotización de maquinaria agrícola



Robotizar maquinaria agrícola ya existente conducida por operarios humanos para hacerla autónoma



Utilizar robots comerciales



Utilizar robots comerciales industriales y adaptarlos/programarlos para realizar tareas agrícolas





Utilizar robots comerciales



Utilizar robots comerciales industriales y adaptarlos/programarlos para realizar tareas agrícolas



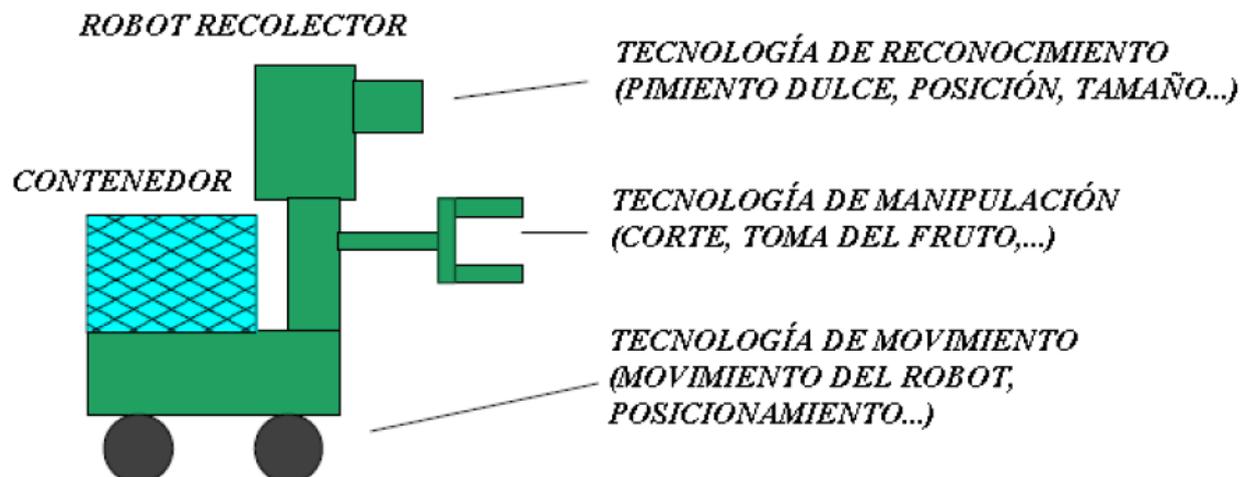
Diseño de robots agrícolas



Robot recolector de pimiento
Universidad de Kochi (Japón)



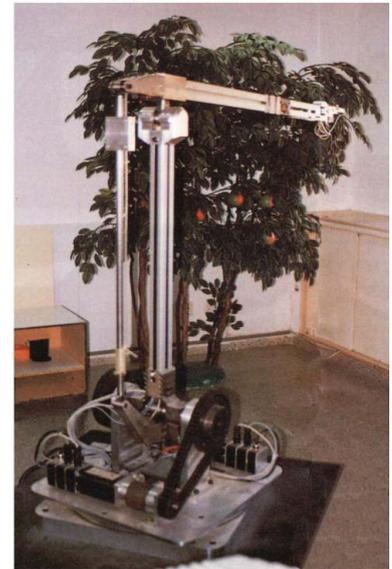
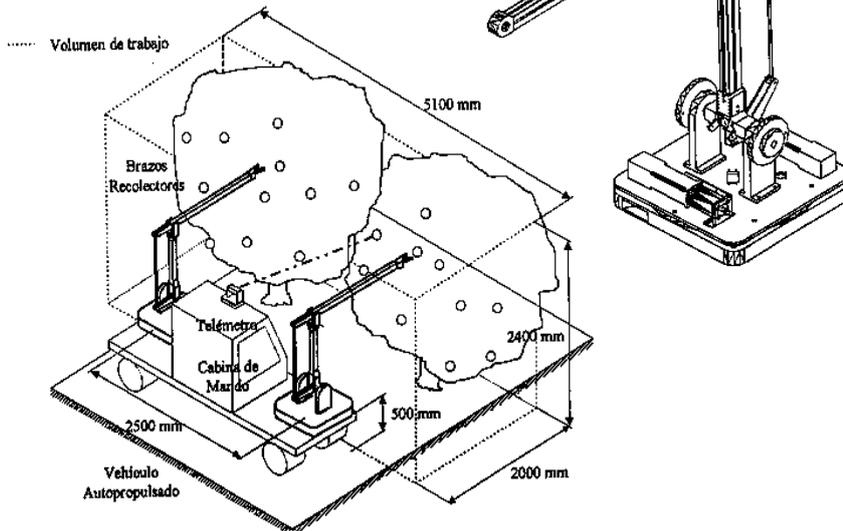
Sistemas propuesto



Diseñar sistemas robotizados específicos para las tareas a realizar

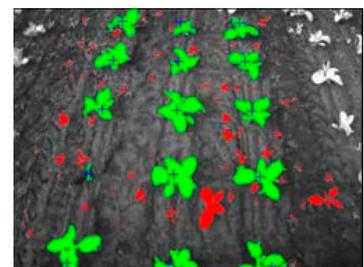
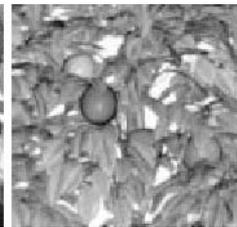


CONSEJO
SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS



Diseñar sistemas robotizados específicos para las tareas a realizar





(a) Escena real

(b) Mapa de distancias

(c) Mapa de reflectancia

(d) Frutos detectados

Se recurre a fusión de sensores como cámaras, láseres, etc.

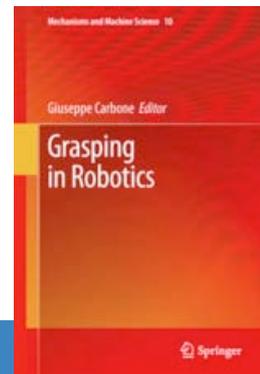




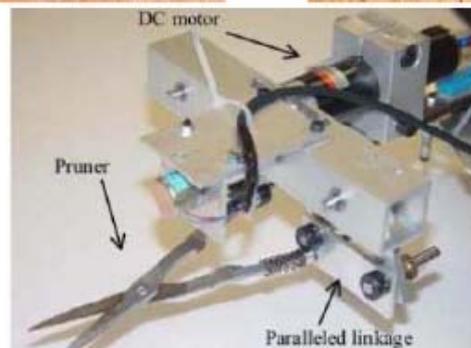
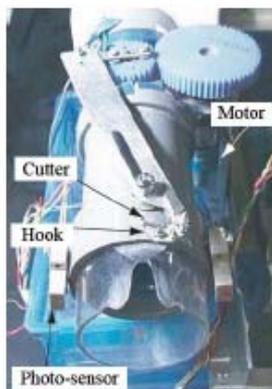
Elemento terminal



	Transplante	Injertos Poda	Recolección	
Material	Semillas y plántulas	Plantas y partes de plantas	Frutas y hortalizas	Planta completa
Propiedades				
Físicas básicas	Tamaño	Tamaño Forma Peso Situación	Tamaño Forma Peso Situación Simetría Textura Redondez	Tamaño Forma Peso Situación
	Mecánicas	Resistencia de manipulación Resistencia de corte Resistencia de rotura	Elasticidad Resistencia a deformarse Compresibilidad Resistencia de piel Firmeza Resistencia al impacto Resistencia a la fricción Resistencia de corte Viscosidad	Resistencia de manipulación Resistencia de corte Elasticidad Resistencia al impacto Firmeza



Elemento terminal





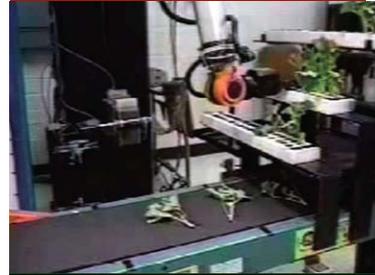
Robótica agrícola



Preparación de suelos

Plantación

Esquejes



Transplante

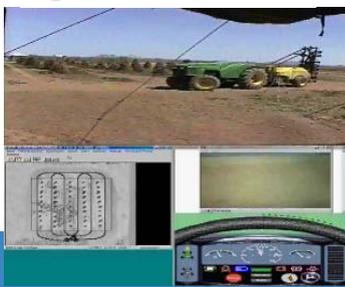
Pulverización

Malas hierbas

Poda



VISION ROBOTICS Corporation



Robótica agrícola



Recolección

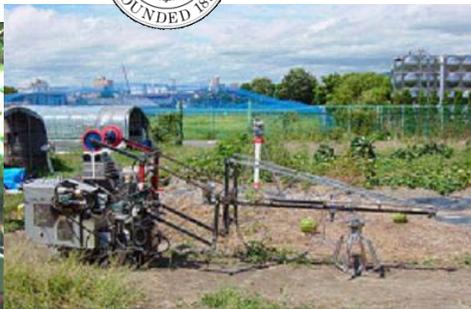


INSTITUTO VALENCIANO DE INVESTIGACIONES AGRARIAS



National Agricultural Research Center

OKAYAMA UNIVERSITY



Robótica en invernaderos



Robotización de procesos bajo invernadero

Universidad de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática



Tareas agrícolas



5. Post-recolección



4. Recolección



3. Producción



1. Preparación de suelos



2. Plantación



Universidad de Almería



Robotización del transporte



Universidad de Almería



Robotización de tareas de producción



Estaciones de trabajo robotizadas
Universidad de Torino (Italia)

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO
ALMA UNIVERSITAS TAURINENSIS



Universidad de Almería



Robotización de la poda



Robot poda hojas de pepino
IMAG-DLO (Holanda)



1. Aproximación del brazo



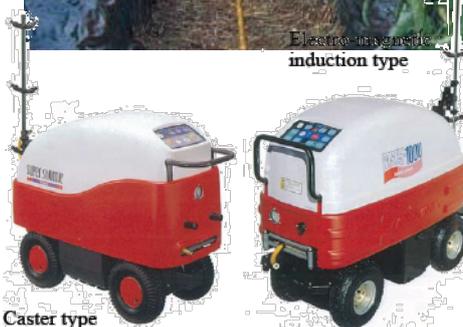
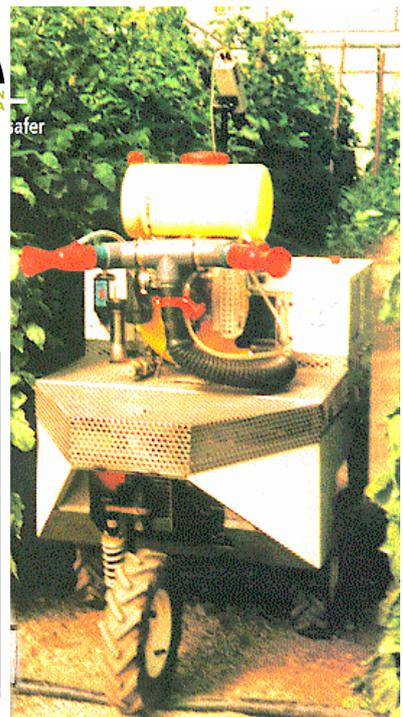
2. Posicionamiento de elemento terminal



3. Corte de hoja



Robotización de la pulverización



Caster type

Electro magnético induction type





Robotización de la recolección



Dificultades debido a:

- Complejidad y variabilidad de los entornos y productos
- Variabilidad de las condiciones ambientales y de estacionalidad
- Factores socioeconómicos y culturales

Fundamentos de la recolección por piezas

- Las plantas se sitúan en una gran superficie de terreno por lo que hay que proporcionarles una movilidad al robot. Por tanto, los robots recolectores suelen ser de tipo híbrido, es decir brazos manipuladores embarcados en plataformas o robots móviles.
- En la operación de recolección de frutos hay que realizar dos acciones: atraparla y separarla de la planta, por lo que el diseño del elemento terminal es fundamental



Robotización de la recolección



Fases de la recolección

1. Guiado del sistema
2. Posicionado en el entorno
3. Detección de las piezas
4. Localización de las piezas
5. Aproximación del extremo del robot hasta la fruta u hortaliza.
6. Agarre de la pieza.
7. Separación de la pieza
8. Apilamiento o almacenamiento de las piezas recolectadas



Robotización de la recolección



Robot Agrobot (Tomate)

Universidad de Génova (Italia)



Robot recolector de pepino

Universidad de Okoyama (Japón)



Universidad de Almería

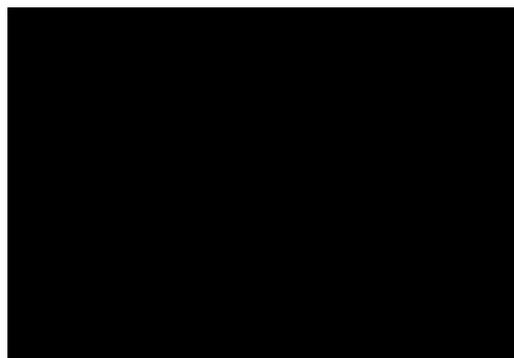


Robotización de la recolección



Robot recolector de tomate

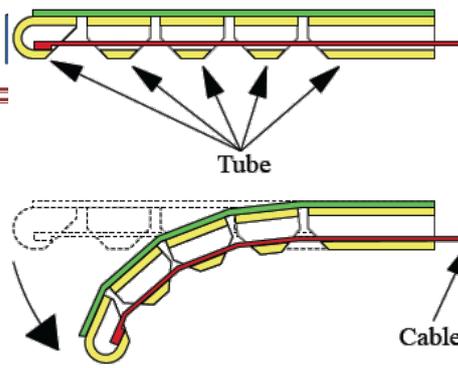
Universidad de Okoyama (Japón)



Universidad de Almería



Robotización de



Robot recolector de tomate

Universidad de Okoyama (Japón)



Modificaciones: **Dedos retráctiles**



Universidad de Almería



Robotización de la recolección



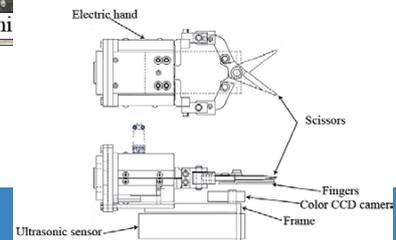
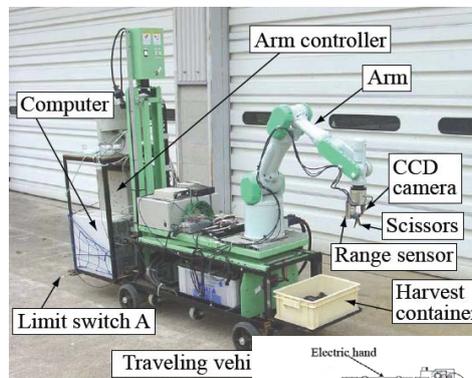
Robot recolector de pepino

IMAG-DLO (Holanda)



Robot recolector de berenjena

National Institute of Vegetable and Tea Science (Japón)





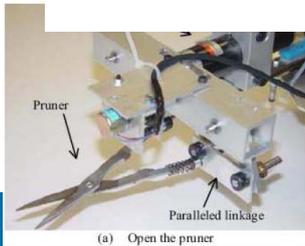
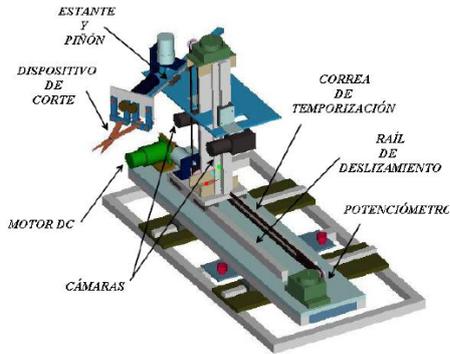
Robotización de la recolección



Robot recolector de pimiento

Universidad de Kochi (Japón)

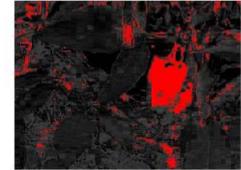
KU KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



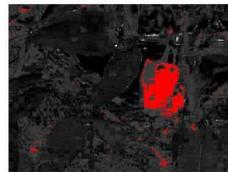
(a) Toma de la imagen



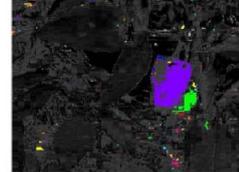
(b) Binarización (intensidad)



(c) Binarización (saturación)



(d) Binarización (tono)



(e) Etiquetado



(f) Cantidad de característica



Robotización de la recolección



Robot recolector de pimiento

IMAG-DLO (Holanda)



Sweeper



First market-ready harvesting robot in development

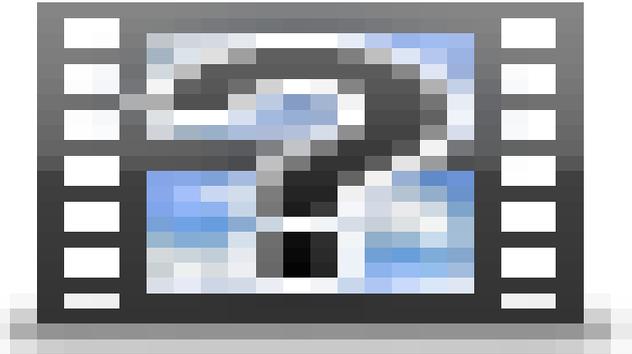
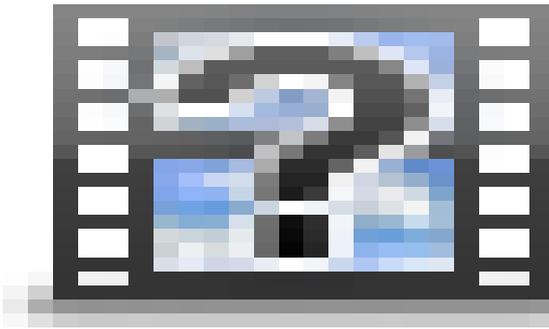
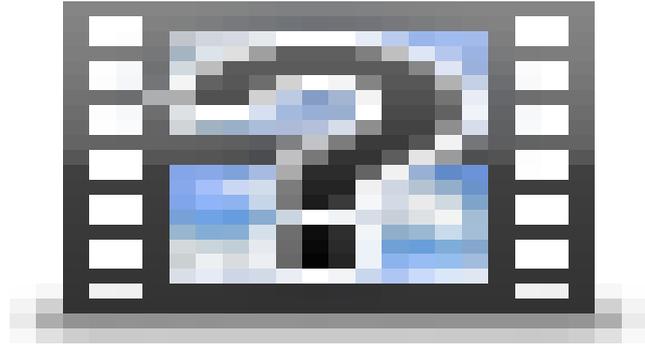
SWEeper, an international research programme with the aim of developing a first-generation sweet pepper harvesting robot, will be launched on 12 February 2015. Wageningen UR will be coordinating the international network composed of partners from Sweden, Israel, Belgium and the Netherlands. This will be the first harvesting robot in the world to be deployed in a commercial greenhouse.



Robotización de la recolección



Robot recolector de pimiento
IMAG-DLO (Holanda)



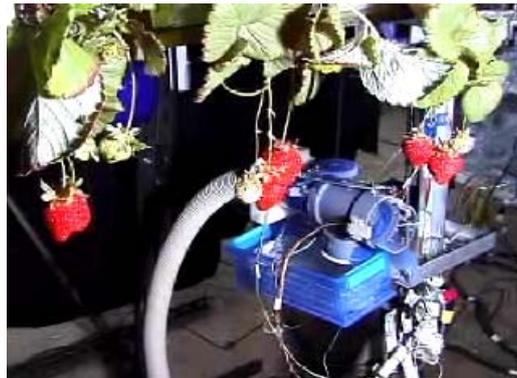
Universidad
de Almería



Robotización de la recolección



Robot recolector de fresas
Universidad de Okayama (Japón)



Universidad
de Almería



Robotización de la recolección



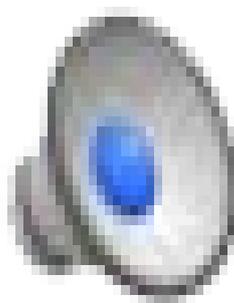
Robot recolector de fresas AGROBOT
HDL Ingenieros



Robotización de la recolección



Robot recolector de fresas AGROBOT
HDL Ingenieros





Resumen de prototipos



Tarea Agrícola

Recolección	52.5 %
Pulverización	22.5 %
Transplante	10.0 %
Estaciones de trabajo	7.5 %
Control de maleza, poda o deshoje	7.5 %



Cultivo

Tomate	23.07 %
Pimiento	15.38 %
Pepino	15.4 %
Fresa	15.4 %
Plántulas	15.4 %



Tipo de robot

Manipulador	37.5 %
Móviles	30.0 %
Mixtos	32.5 %



Movimiento

Ruedas	32.5 %
Rieles	25.0 %
Orugas	5.0 %
Estáticos	37.5 %



Desarrollo novedoso

Sis. de visión	34.3 %
Elem. Terminal	34.3 %
Locomoción	20.9 %
Brazo robótico	2.9 %
Est. de trabajo	7.5 %



comercial

Prototipo	72.5 %
Comerciales	7.5 %
No comerciales	5.0 %
Sin referencia	15.0 %



Zona Geográfica

Japón	27.5 %
USA	17.5 %
China	12.5 %
España	15.0 %
Holanda	10.0 %
Taiwan	10.0 %
Otros	10.0 %

Robótica en invernaderos



Robots para invernaderos desarrollados en la Universidad de Almería

Colaboración con el grupo de investigación

Tecnología de la Producción Agraria en Zonas Semiáridas (AGR-199)



Proyecto de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (2005-2008)



Desarrollo y evaluación de nuevas técnicas y sistemas de aplicación de productos fitosanitarios usando plataformas móviles autónomas en cultivos hortícolas bajo invernadero

Proyecto de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (2002-2005)



Racionalización de las aplicaciones fitosanitarias en los cultivos hortícolas bajo invernadero mediante una plataforma móvil autónoma

DISEÑO DE UNA PLATAFORMA MÓVIL PARA TAREAS BAJO INVERNADERO



FITOROBOT

El proceso de la pulverización en invernaderos tal y como se realiza actualmente no garantiza la eficiencia del tratamiento, además de acarrear riesgos para el personal que realiza la aplicación y para el medioambiente.



Baja eficiencia

Riesgos de salud

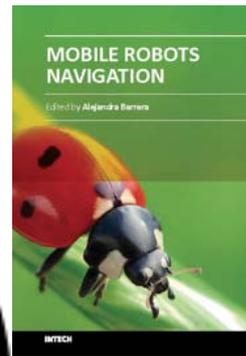
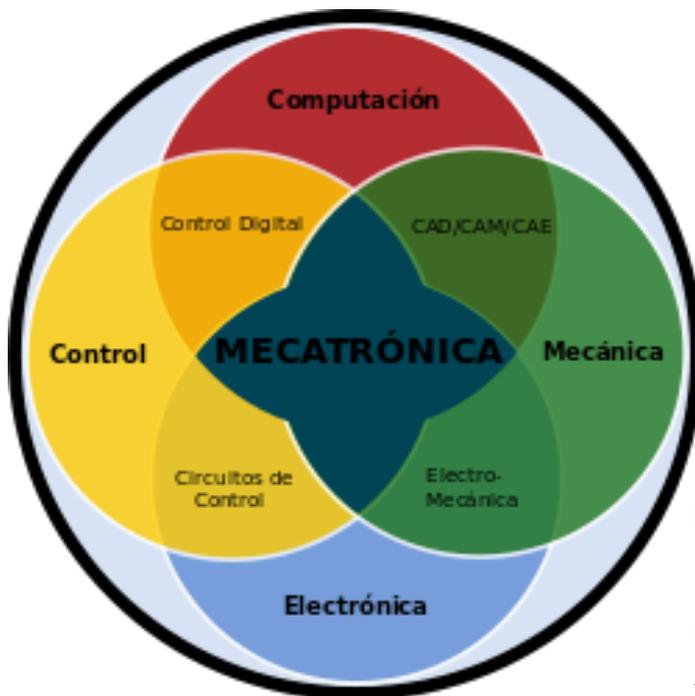
Riesgos medioambientales



Mejora en eficiencia

Reducción riegos

Requiere peso y potencia

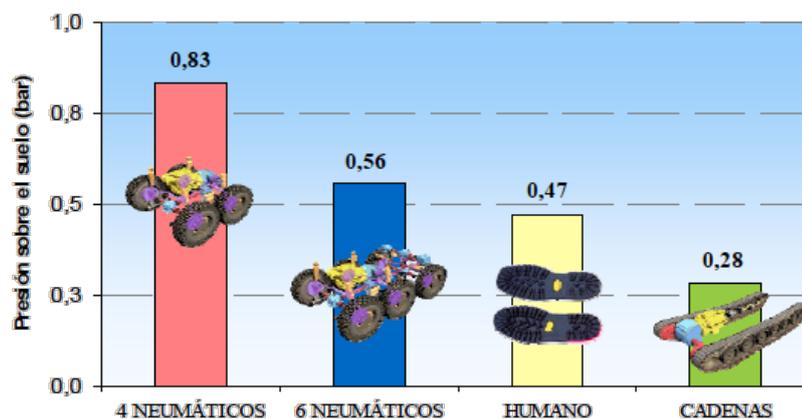


A mechatronic description of an autonomous mobile robot for agricultural tasks in greenhouses

Julián Sánchez-Hermosilla¹, Francisco Rodríguez², Ramón González², José Luis Guzmán² and Manuel Berenguel²
¹Departamento de Ingeniería Rural, ²Departamento de Lenguajes y Computación, University of Almería, Spain

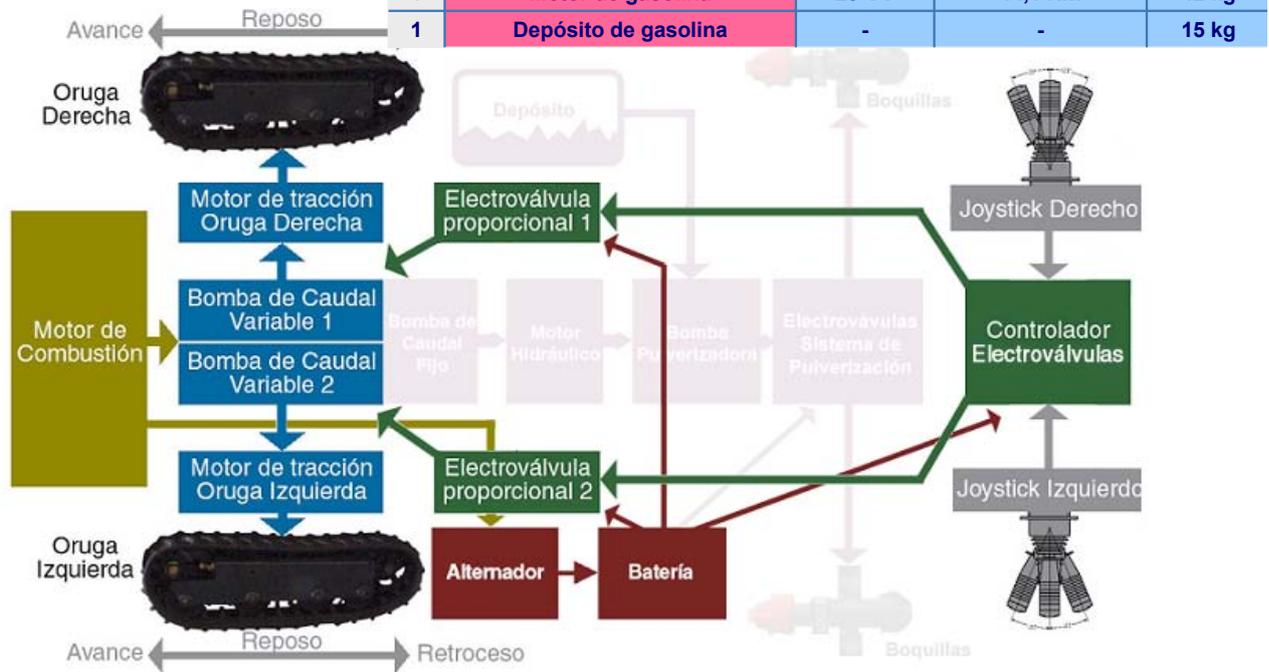
J. Sanchez-Hermosilla, F. Rodriguez, R. Gonzalez, J.L. Guzman and M. Berenguel (2010). A Mechatronic Description of an Autonomous Mobile Robot for Agricultural Tasks in Greenhouses, Mobile Robots Navigation, Alejandra Barrera (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/9003.

- Anchura entre 60-70 cm.
- Alta maniobrabilidad
- Sistema de transmisión flexible y automatizable
- Depósito aproximado de 400 litros
- Baja compactación del suelo



Sistema

Se ha utilizado un sistema de control para facilitar la facilidad de control



Elementos estructurales



Proporcionan estabilidad, rigidez, agarre y soporte

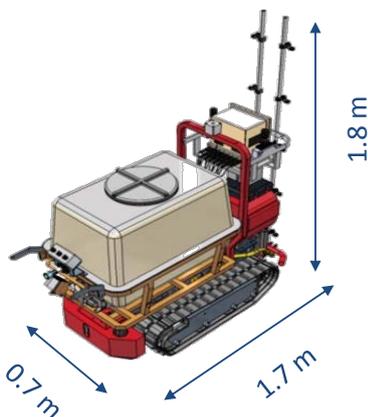
CHASIS o BASTIDOR

DEPÓSITO DE ACEITE

DEFENSA TRASERA

MARCO ANTIVUELCO

MARCO DE LA CUBA





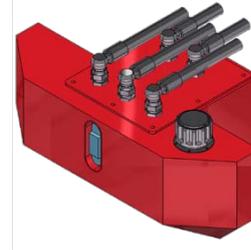
Elementos estructurales



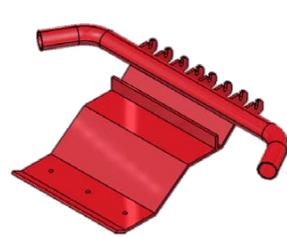
Chasis o bastidor



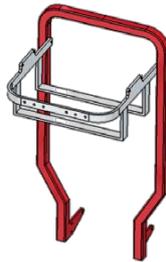
Depósito de aceite



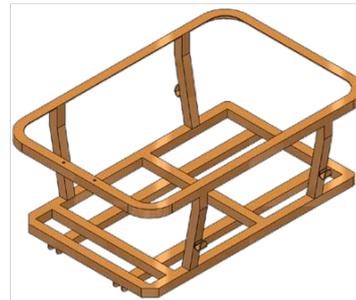
Defensa trasera



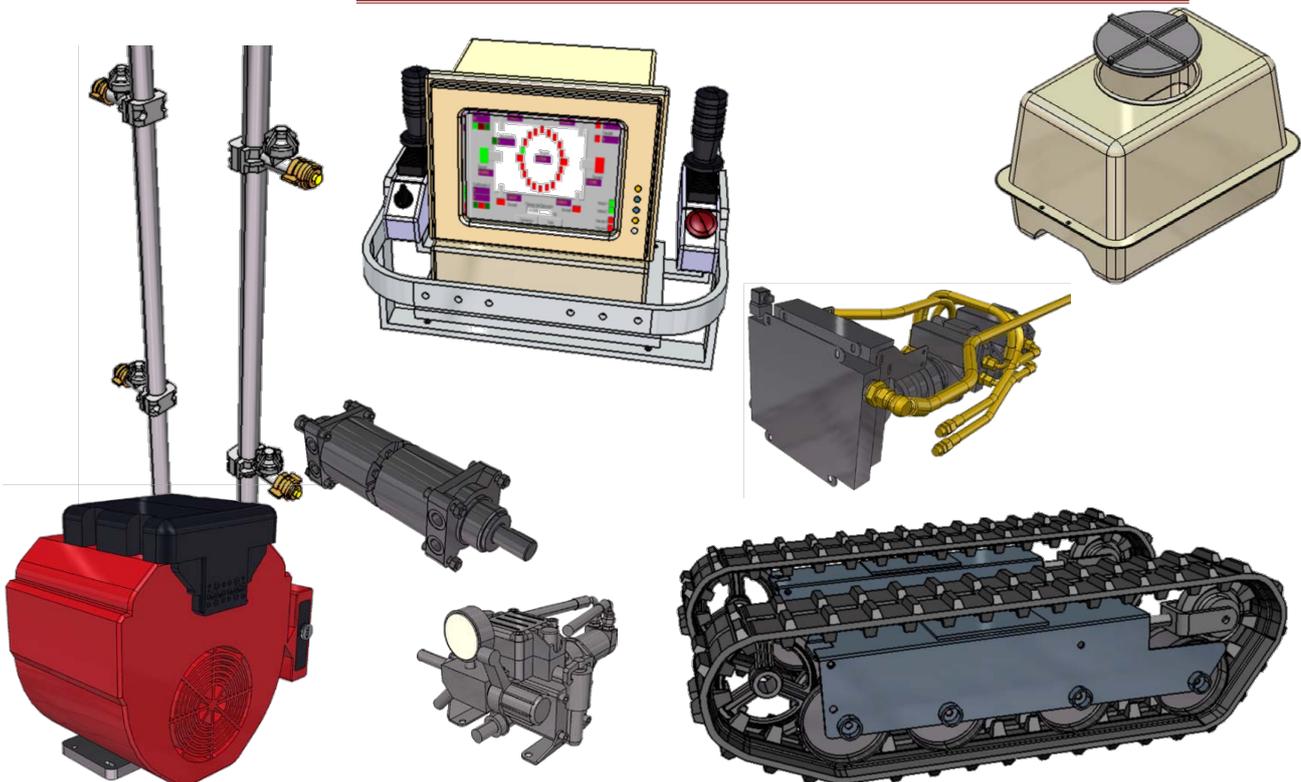
Marco antivuelco

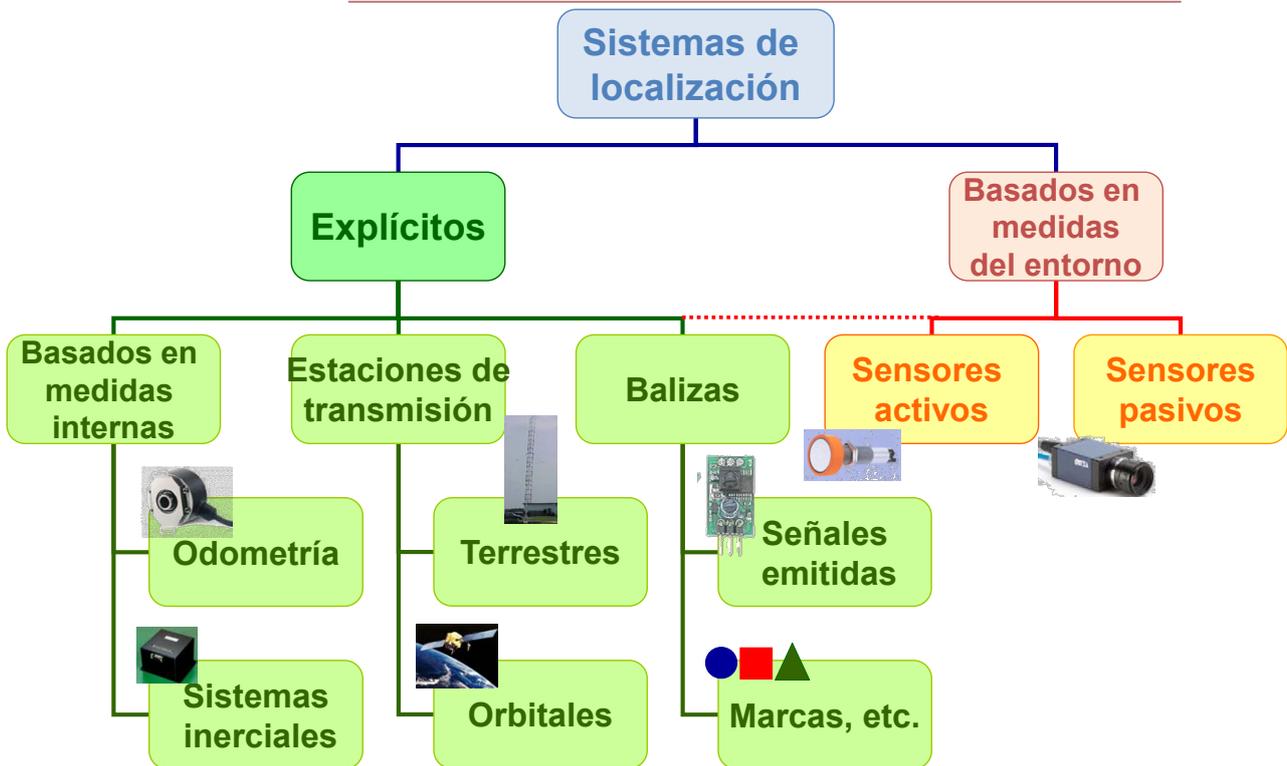


Marco de la cuba



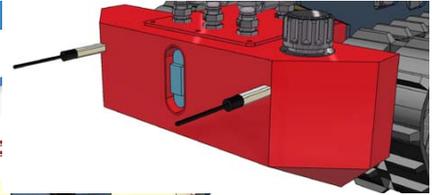
Resto de elementos



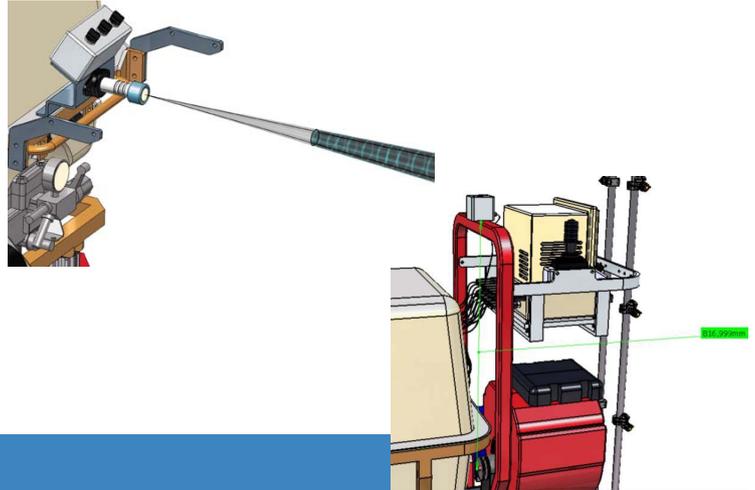
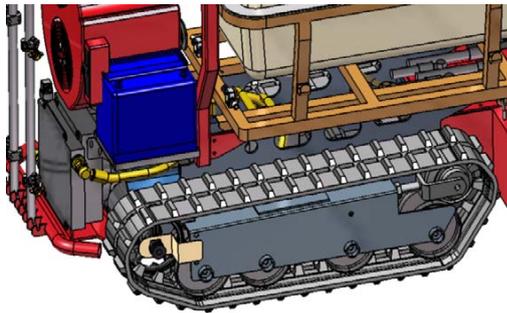
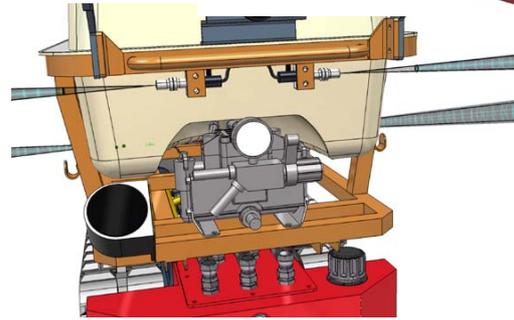
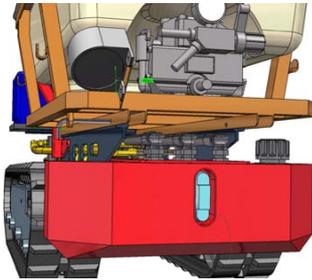


Tipos de sensores

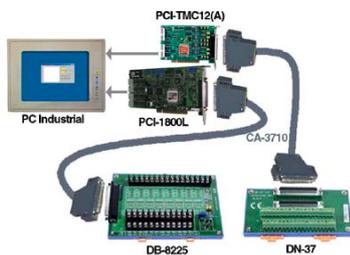
Medida	Sensor	Rango	Resolución	Salida
SISTEMA DE NAVEGACIÓN				
Posición	Codificador	0-360°	1024 p/v	Pulsos
Orientación	Brújula	0-360°	0,1°	0,1-1,9VDC
Media distancia	Sónar	40-300 cm	2.5 %	0-10 VDC
Corta distancia	Sónar	15-100 cm	3 mm.	0-10 VDC
Velocidad	Rádar	0,08-17,3 m/s	5 %	Pulsos
Obstáculos	Fin de carrera	Si/No	-	13 VDC



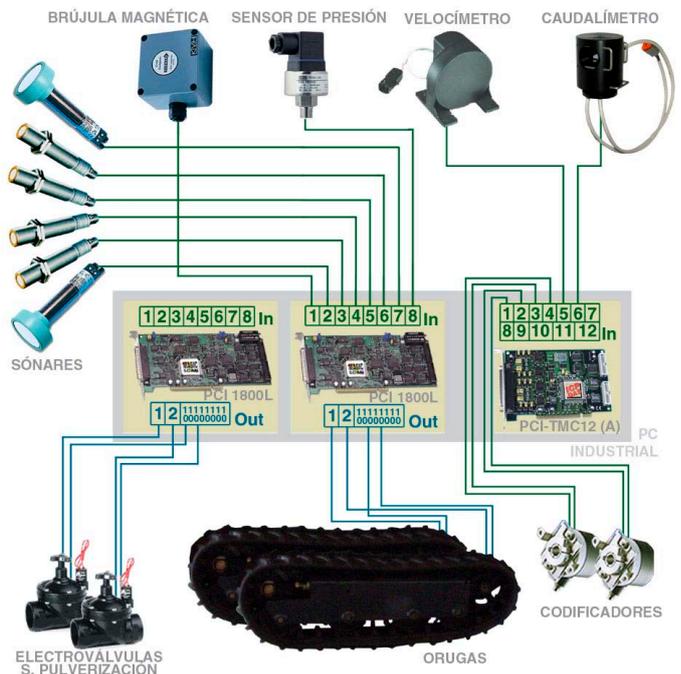
Ubicación de sensores

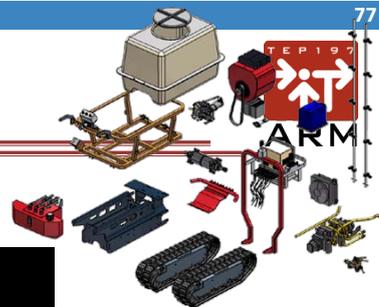


Inicialmente: Computador industrial



LabVIEW





Prototipo



Arquitectura de control

Las funciones deben estar integradas en la arquitectura de control

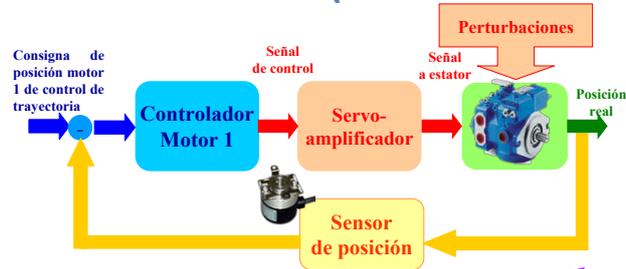
Arquitectura de control de un robot móvil

Las funciones básicas de control para el movimiento autónomo de robots.

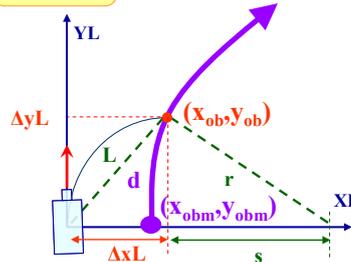
Las funciones inteligentes de control en robots son aquellas que permiten la realización parcial o totalmente autónoma de operaciones.

Las **funciones básicas** de control en robots son:

- Control de las articulaciones (servomecanismos)



- Generación de trayectorias
- Teleoperación



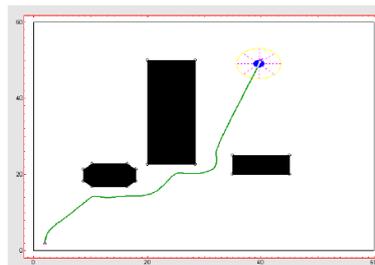
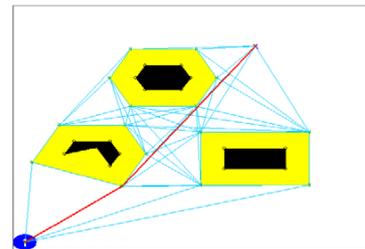
$$L = \sqrt{(x_{ob} - x)^2 + (y_{ob} - y)^2}$$

$$\Delta x = (x_{ob} - x) \cos \phi - (y_{ob} - y) \sin \phi$$

$$\gamma_r = \frac{1}{r} = -\frac{2(\Delta x)}{L^2}$$

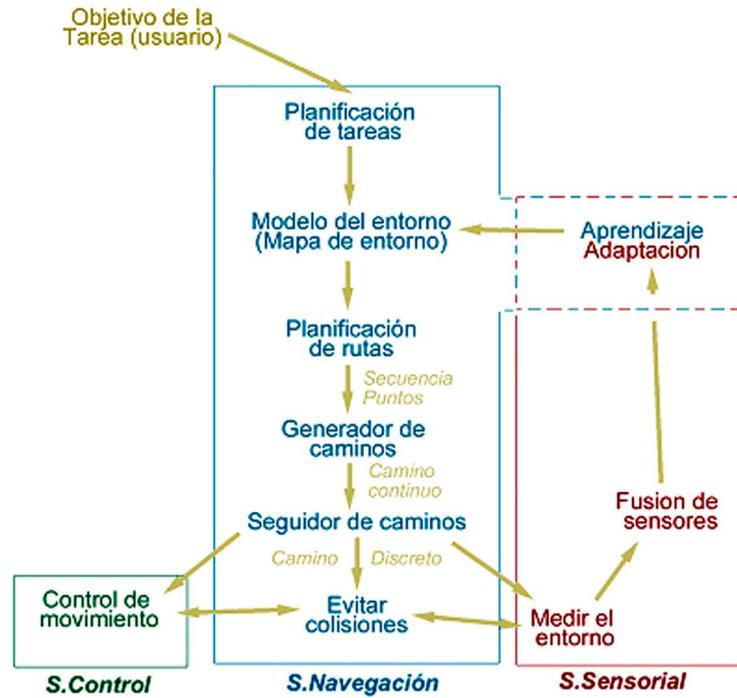
Las funciones "inteligentes" de control en robots son aquellas que permiten la realización parcial o totalmente autónoma de operaciones tales como :

- Planificación de tareas
- Planificación de movimientos
- Percepción sensorial

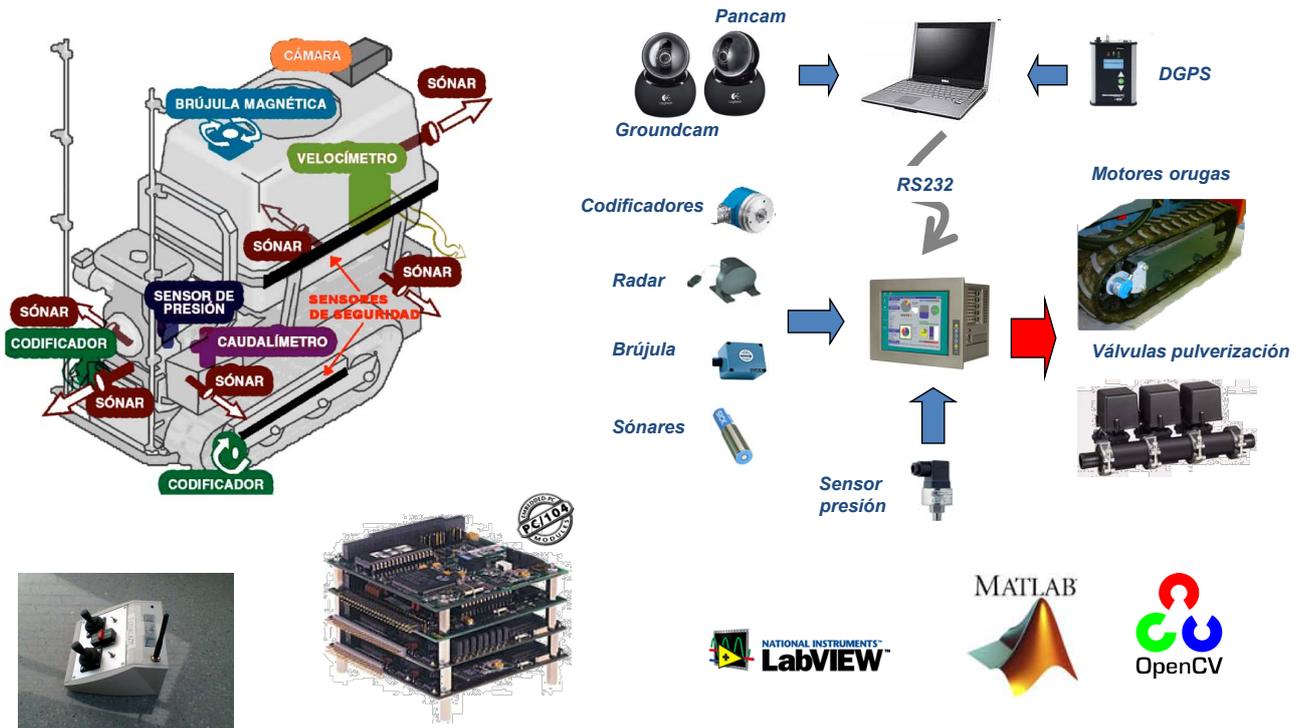


- Reacción ante la presencia de obstáculos y condiciones no previstas

Funciones de control



Sistema sensorial y Control



- Navegación visual



Problemas con las podas

Comparación de algoritmos de visión para la generación de trayectorias de robots móviles en el interior de invernaderos:

- Técnicas de umbralización
- Técnicas de segmentación orientada a regiones
- Técnicas de segmentación orientada a detección de bordes

- Navegación visual

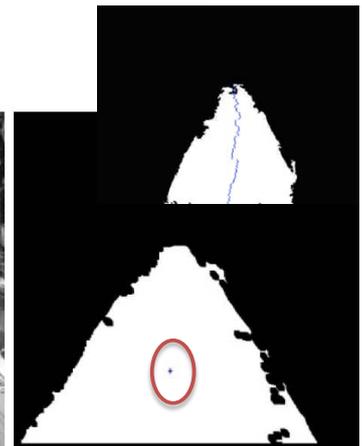
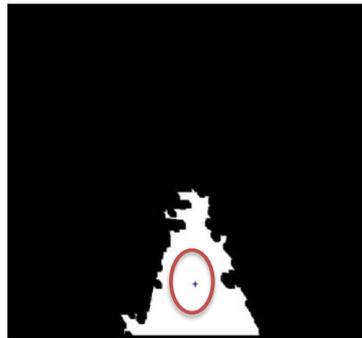


Imagen real

Imagen segmentada

Suelo de tierra

Imagen real

Imagen segmentada

Suelo con lona y manchas

Tras analizar varias estrategias para segmentar el pasillo del invernadero respecto al resto de elementos, se ha llegado a la conclusión de que el mejor método es el de detección de bordes aplicando el **operador de Sobel**



Fitorobot: Prueba real




 OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
 ESPAÑA
 PATENTE DE INVENCIÓN

Número de publicación: **2 329 107**
 Número de solicitud: 200801645
 Int. Cl.: **G02D 1/28 (2006.01)**
B60 52/06 (2006.01)
A01B 69/00 (2006.01)

Titular: **Universidad de Almería**
 OTS: Edificio CAC, Ctra. de Sacramento, s/n
 04101 La Cañada de San Urbano, Almería, ES
 Inventores: **Sanchez-Hernandez Lopez, Julian;**
Rodriguez Diaz, Francisco;
Sanchez-Gonzalez, Alfredo;
Gonzalez-Sanchez, Angel Luis;
Gonzalez-Sanchez, Manuel Y
Benavente Sorita, Manuel
 Agente: **No consta**

Fecha de presentación: **19.06.2008**
 Fecha de publicación de la solicitud: **20.11.2009**
 Fecha de la concesión: **18.06.2010**
 Fecha de anuncio de la concesión: **07.06.2010**
 Fecha de publicación del folleto de la patente: **07.06.2010**

Título: Vehículo autónomo polivalente para trabajos en invernadero.

Resumen:
 Vehículo autónomo polivalente para trabajos en invernadero. El objeto de la invención es un vehículo que de forma autónoma puede moverse entre las líneas de cultivo en invernadero para realizar diversas operaciones. Está diseñado en un chasis diseñado para poder montar diversos tipos de implementos, así como un brazo de extensión en la parte trasera para el acoplamiento de máquinas y equipo agrícola. El sistema de navegación por visión computada controla automáticamente que permite mover el equipo en un rango de velocidades controlado para asegurar su funcionamiento. A las exigencias del trabajo, además de autonomía energética y los implementos que lo equipan. El movimiento de extensión de carga mediante el eje lateral dinámico de cada una de las orugas que componen el sistema de tracción. Para ello dispone de un sistema sensorial compuesto por capacitores de presión, codificadores incrementales y un motor.
 El sistema sensorial del vehículo se completa con sensores de ultrasonido distribuidos por todo el perímetro del vehículo para detectar obstáculos, una cámara digital orientada permite la localización y navegación del vehículo en el entorno de trabajo. Toda la información es gestionada por un sistema integrado, donde se ejecutan los programas que controlan el vehículo.
 El equipo también está diseñado con una cámara multiespectro, adecuada para realizar un seguimiento continuo de determinados parámetros del cultivo, como pueden ser: detectar problemas fitosanitarios y de nutrición, controlar la evolución de la masa vegetal, localizar frutos, determinar la maduración de los frutos, etc.

ES 2 329 107 B1
 Aviso: Se puede realizar consulta previa por art. 27.3.B LP.
Modelo de Solicitud: Oficina Española de Patentes y Marcas. P. 28 de la Circular 1/11 - 2011 Madrid

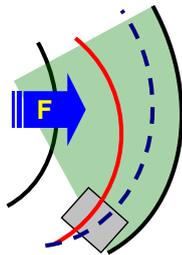
Patente de invención
Número Ref. P200801645



Problema del deslizamiento

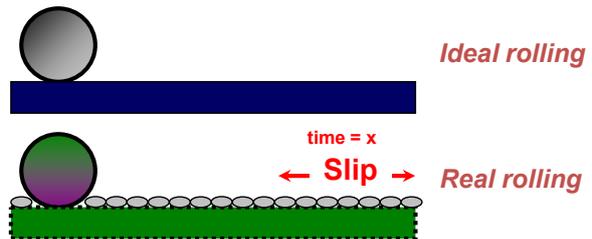


Deslizamiento lateral



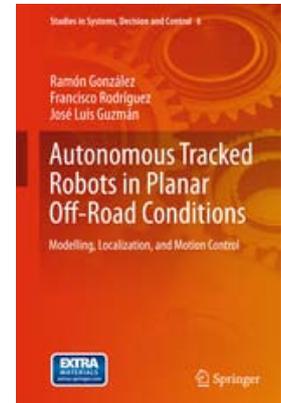
Enarenado de invernadero

Deslizamiento longitudinal

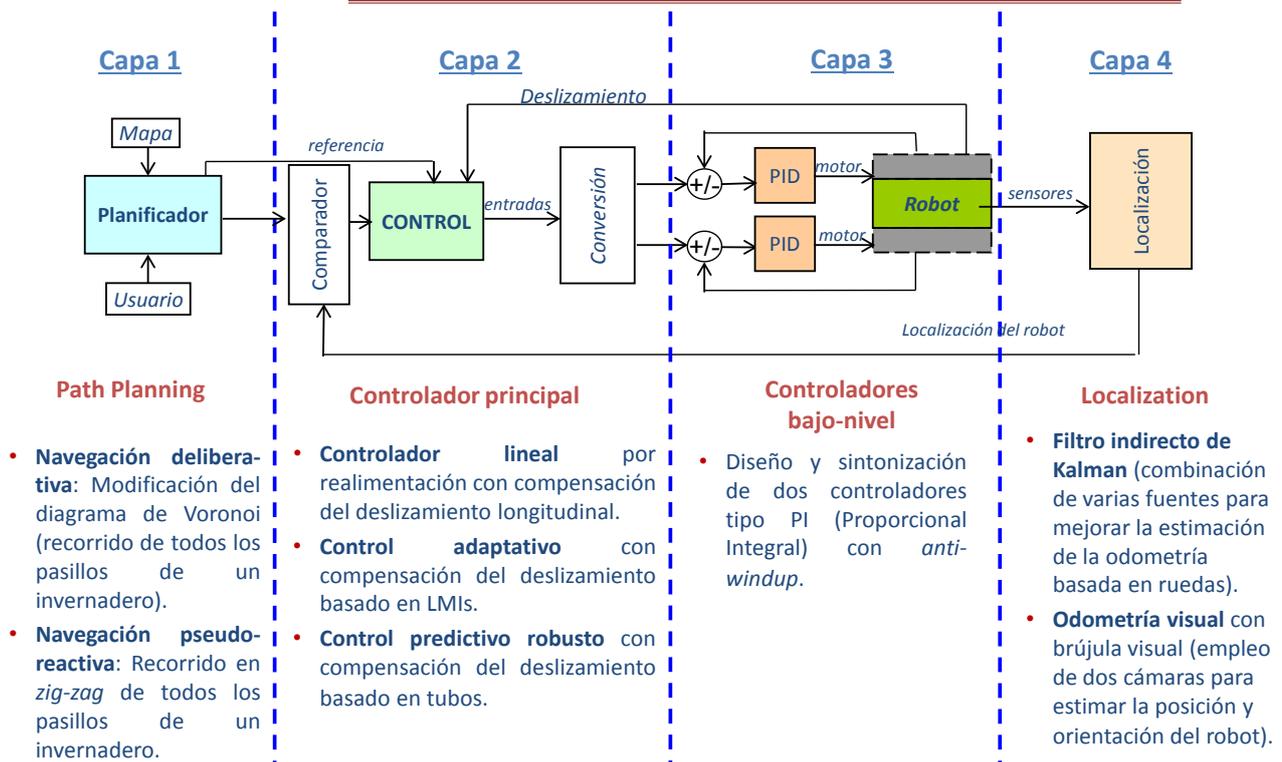


Comportamiento en suelo

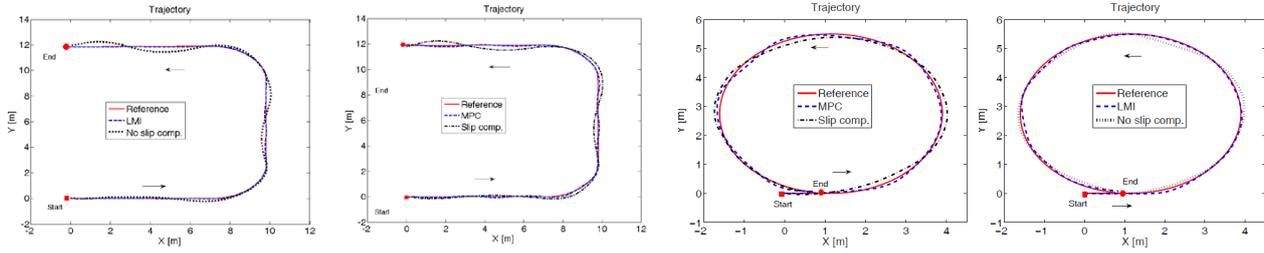
1. Modelado cinemático considerando el deslizamiento
2. Localización del robot
 - Odometría visual
 - Filtro de Kalman
3. Control de movimiento:
 - Feedback linealization
 - LMI
 - MPC robusto



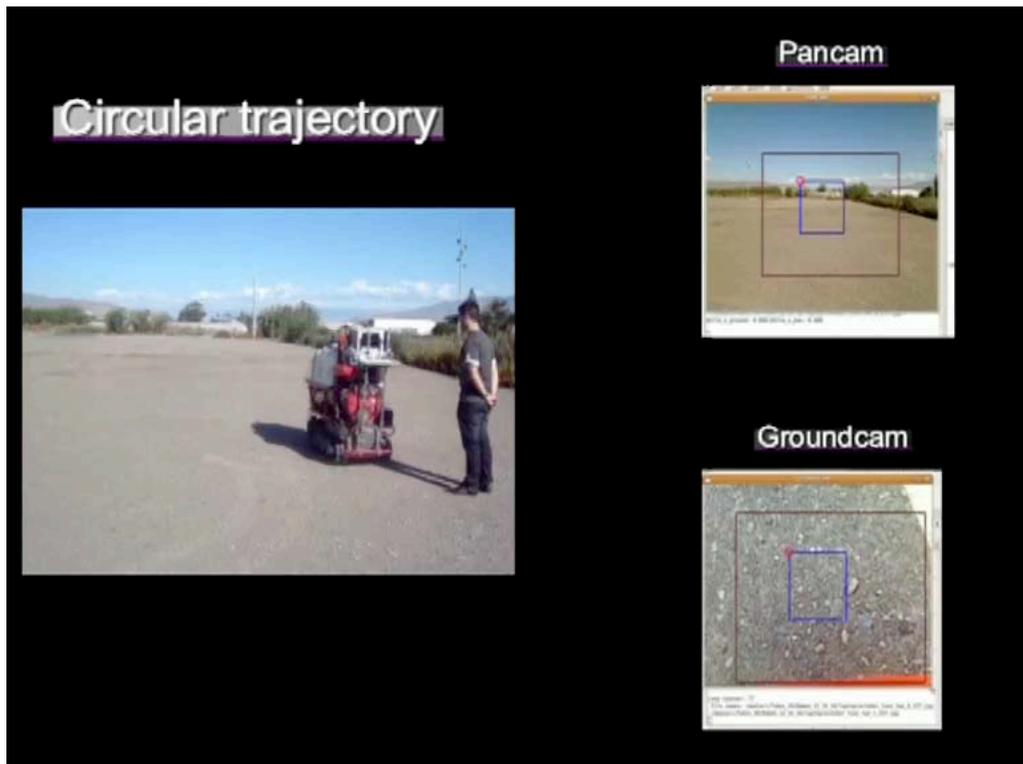
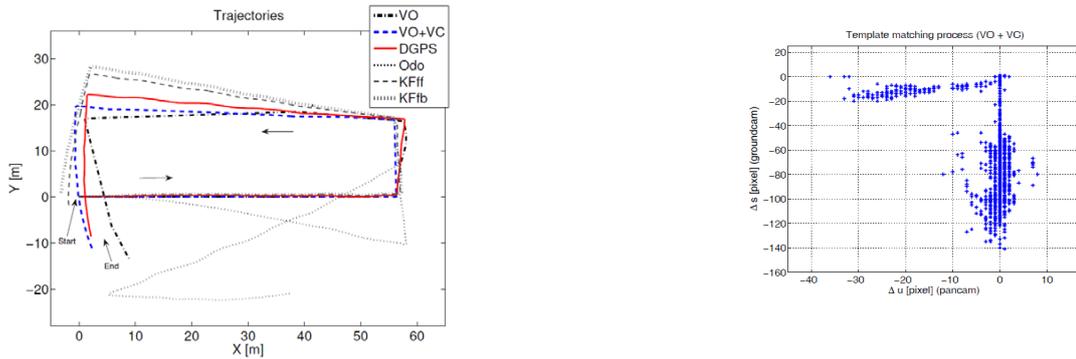
R. González, F. Rodríguez and J.L. Guzmán (2014). Autonomous Tracked Robots in Planar Off-Road Conditions. Modelling, Localization, and Motion Control, Springer, ISBN: 978-3-319-06037-8.



CONTROLADORES CON COMPENSACIÓN DEL DESLIZAMIENTO



ESTRATEGÍAS DE LOCALIZACIÓN PARA EXTERIORES





Robot móvil INVERSOS

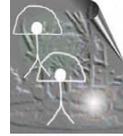


Colaboración con el grupo de investigación

Estación Experimental de la Fundación CAJAMAR



Tecnología de la Producción Agraria en Zonas Semiáridas (AGR-199)



Proyecto Inversos (2007-2010)

$c+t=a^n$

Mejora de la eficiencia de la producción hortícola en invernadero en clima semi-árido

El aumento en la eficiencia en la mano de obra y en las operaciones de cultivo.

Se propone el diseño e implementación de un sistema polivalente de movimiento automático en el interior del invernadero que pueda ser empleado para tareas diversas como tratamientos fitosanitarios, transporte de recolección y trabajadores, etc.

Universidad de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática



Estructura mecánica

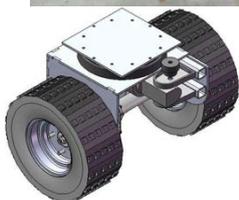


Mejora de Fitorobot (más maniobrabilidad, menos ruido, vibraciones, etc.)

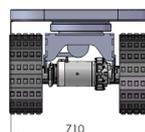
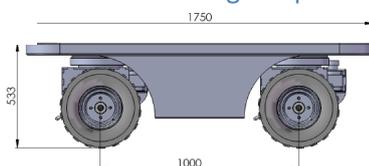


Elevador para tareas culturales (poda, recolección, etc.)

Sistema Pulverización



- Gran maniobrabilidad
- Facilidad de manejo
- Radio giro aprox. 1 [m]



SolidWorks

Universidad de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática



Sistema sensorial y Control



Cámaras
(Logitech Quickcam)



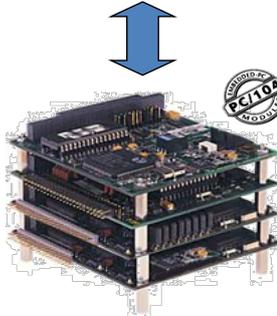
Codificadores absolutos
(Sick, ARS60)



Codificadores
(Sick, DRS61)



Sensor de velocidad
(LH Agro, Compact II Radar)



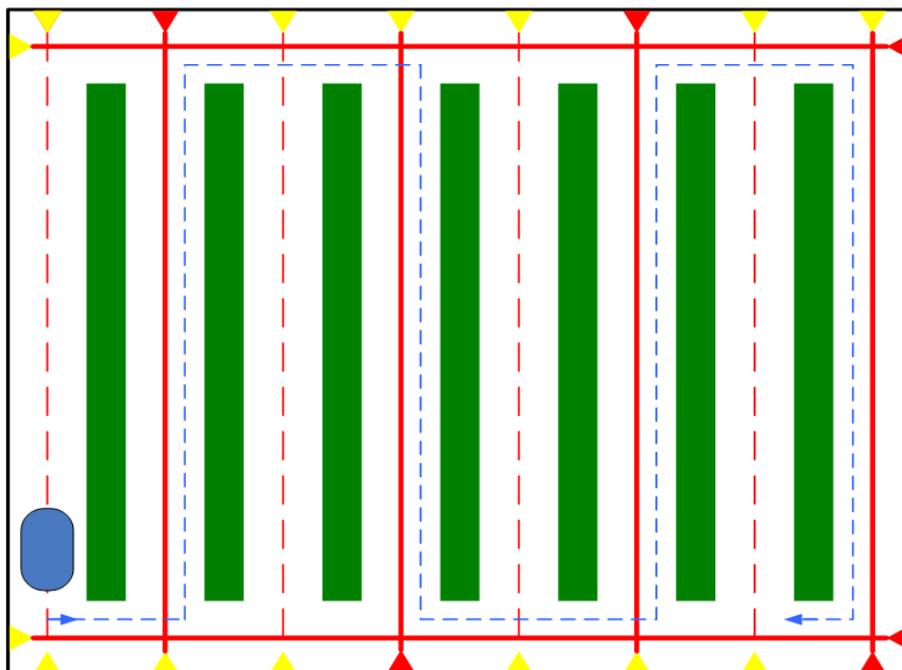
Sensor de distancias
(Siemens, Bero 3)



Sensores fin de carrera
(Telemecanique, OSIsense)



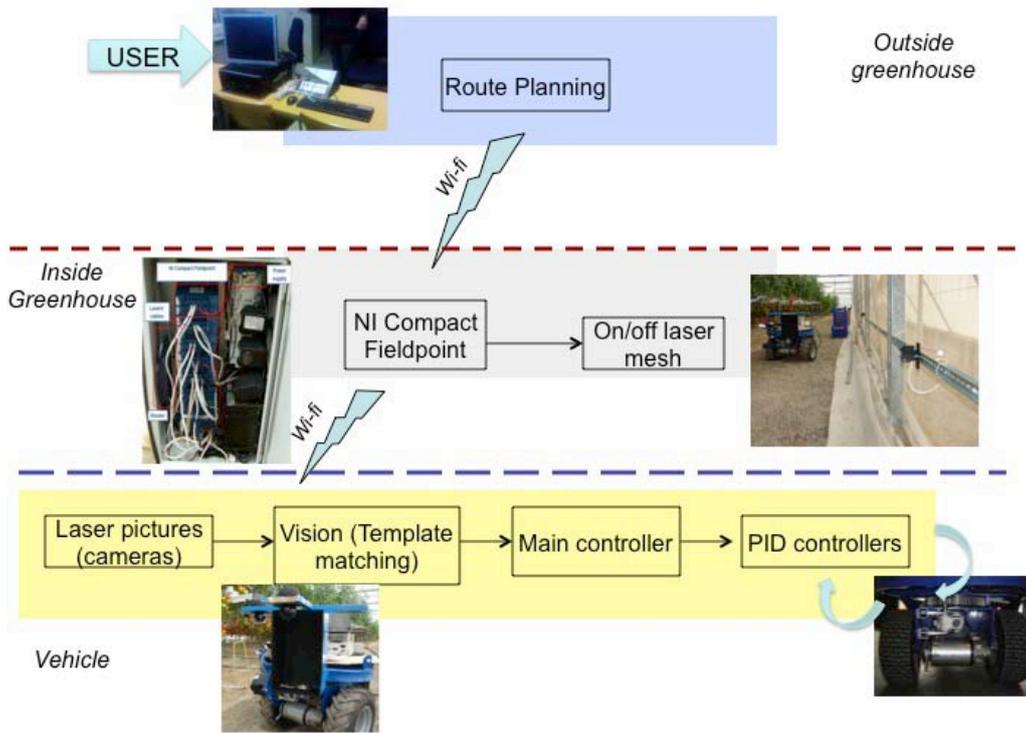
Guiado láser



- Mapa de trayectorias
- Trayectorias marcada por rayo de laser
- Camino de robot
- Robot móvil
- Emisor laser inactivo
- Emisor laser activo
- Línea de cultivo



Guiado láser

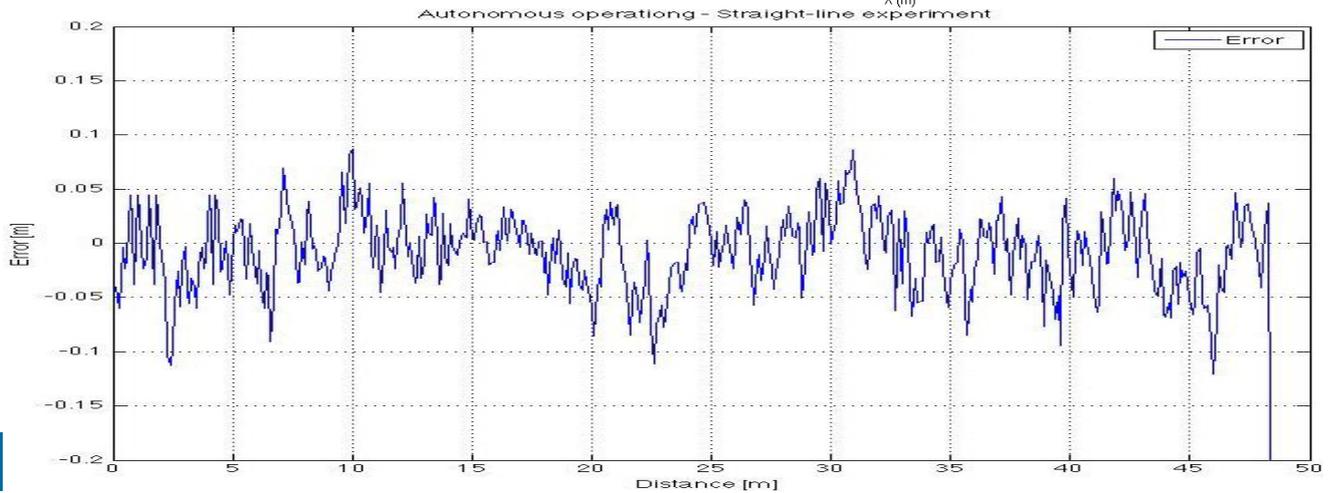
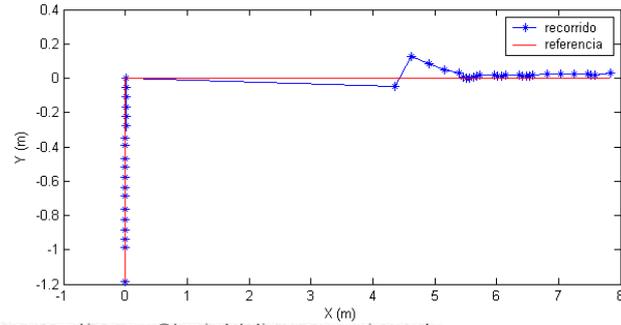
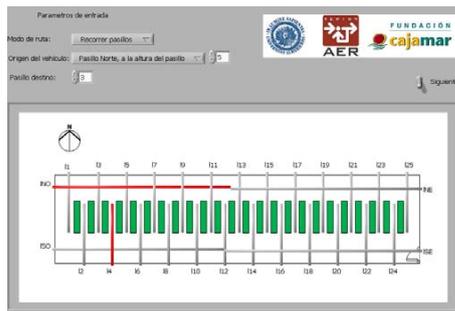


Guiado láser





Guiado láser



Guiado láser en invernadero



Sensors 2013, 13, 769-784; doi:10.3390/s130100769

OPEN ACCESS

sensors

ISSN 1424-8220

www.mdpi.com/journal/sensors

Article

Mechatronic Description of a Laser Autoguided Vehicle for Greenhouse Operations

Julían Sánchez-Hermosilla ¹, Ramón González ^{2*}, Francisco Rodríguez ² and Julián G. Donaire ²



Patente de invención
Número Ref. P201101119





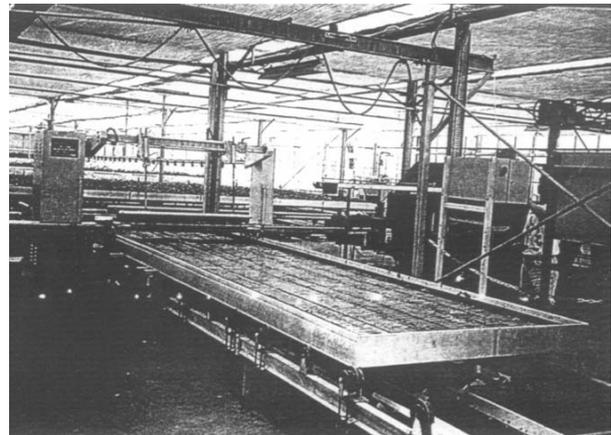
Robotización del transporte



En los invernaderos de plantas con macetas ha surgido el nuevo concepto de **estación central de trabajo**, que consiste en un lugar diseñado para que la mano de obra realice las operaciones de cultivo con el máximo rendimiento sin necesidad de desplazarse a la zona de cultivo

El sistema consta de dos partes bien diferenciadas :

1. **Estación central de trabajo:**
(Preparadora del sustrato, mezcladora y llenado de macetas, robots y sistema de lavado y almacenamiento)



2. **Sistema de transporte**



Estaciones robotizadas



Colaboración con el grupo de investigación

Estación Experimental de la Fundación CAJAMAR



ULMA Packaging



Proyecto CENIT-MEDIODIA (2007-2010)



Centro para el Desarrollo
Tecnológico Industrial

Multiplicación de esfuerzos para el desarrollo, innovación, optimización y diseño de invernaderos avanzados

En los invernaderos con plantas en maceta o en cultivo con sustrato ha surgido el concepto de **ESTACIÓN CENTRAL DE TRABAJO** el cual consiste en un lugar diseñado para que la mano de obra realice con el máximo rendimiento las operaciones de cultivo sin necesidad de desplazarse a la zona donde éste se sitúa.

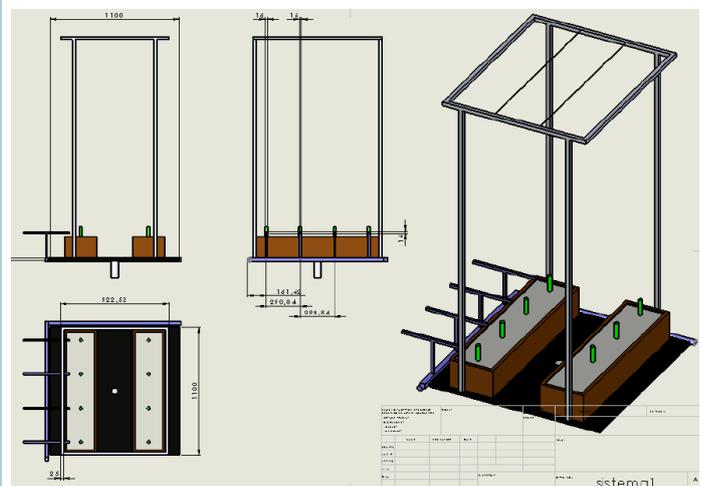
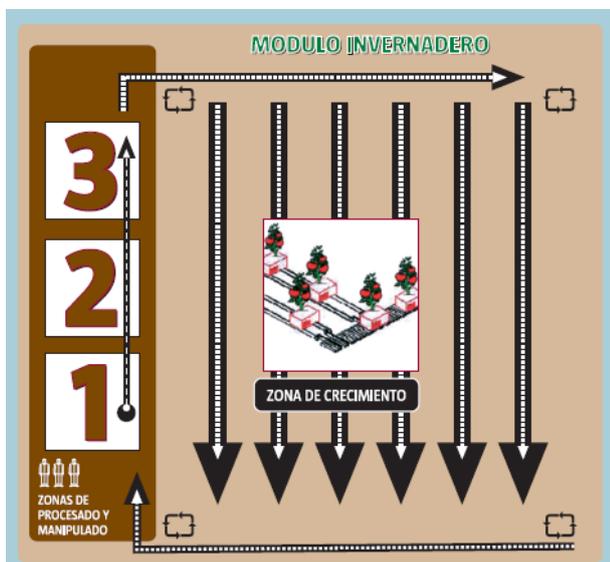
En estas estaciones de trabajo se realizarán tareas tediosas, peligrosas, repetitivas o laboriosas que son factibles de robotizar, como la pulverización de productos fitosanitarios, la poda o deshojado, el riego localizado y de precisión, el trasplante o la recolección de frutos y envasado

PRINCIPAL OBJETIVO DE ESTE PROYECTO

Analizar si alguna de estas tareas son viables de robotizar y, en caso afirmativo, diseñar en simulación todos los elementos de estas estaciones así como la implementación del programa que las gestione mediante la herramienta RobotStudio de la empresa ABB.

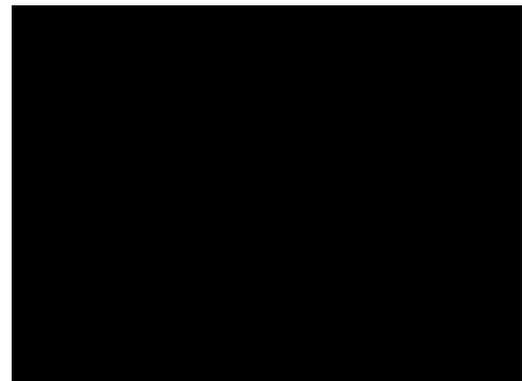
Plano del invernadero

Estructura de las mesas móviles

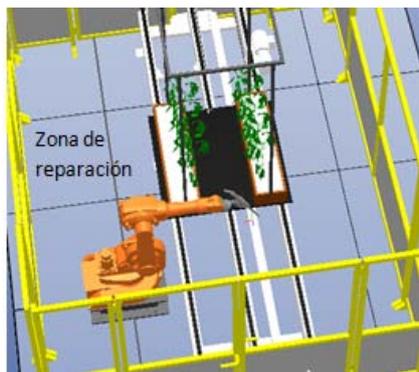
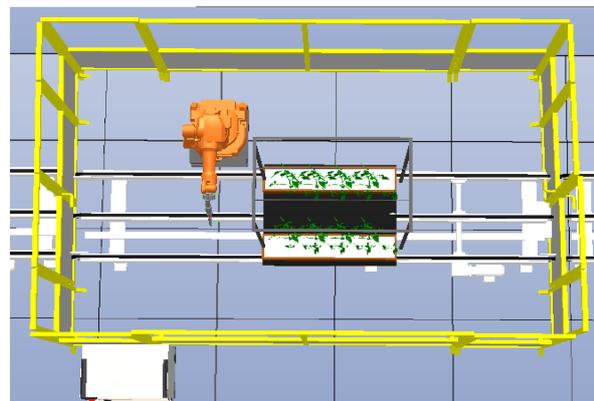
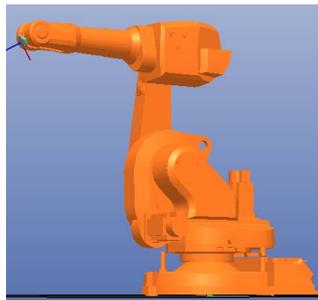




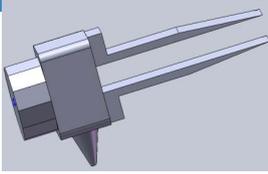
Sistema de movimiento



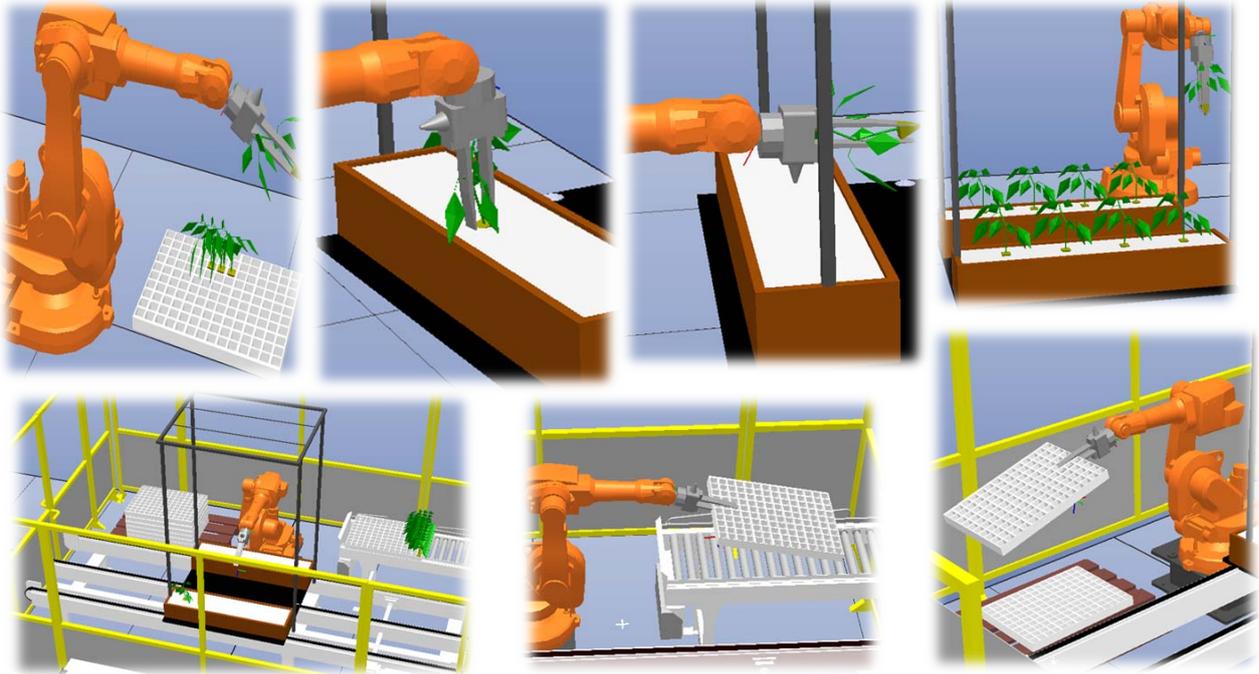
Especificaciones generales de las estaciones



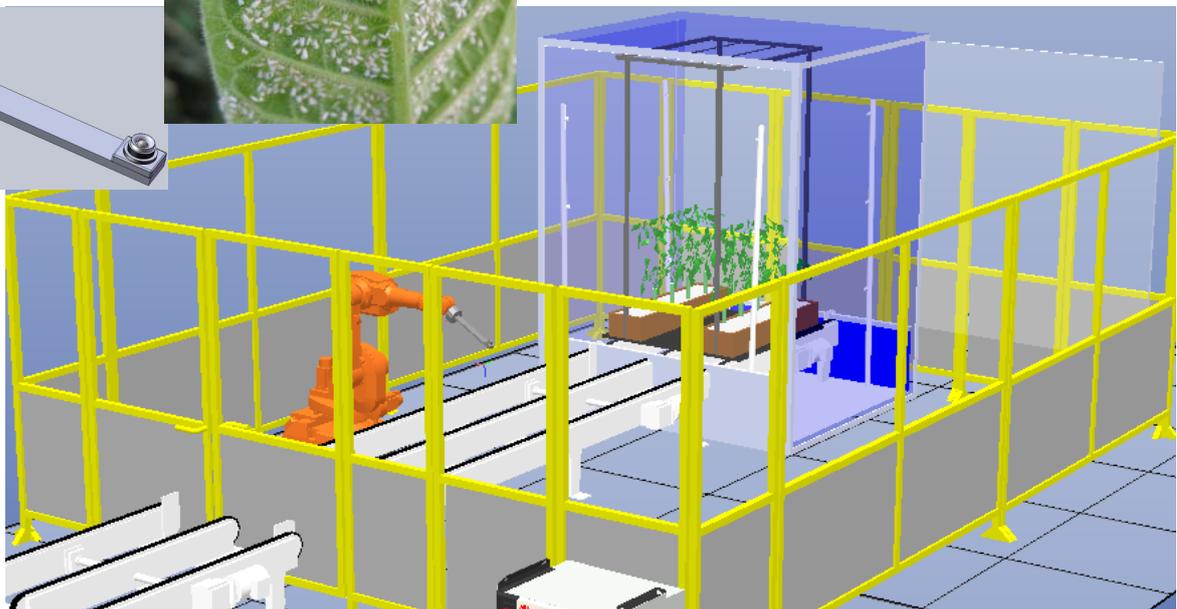
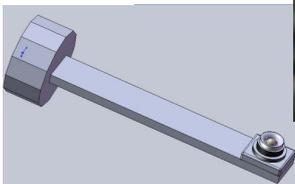
Se han tenido en cuenta la Normativa Internacional ISO 10218:1992 y las Normativas Europea EN 775 y Española UNE-EN 775



Estación de transplante

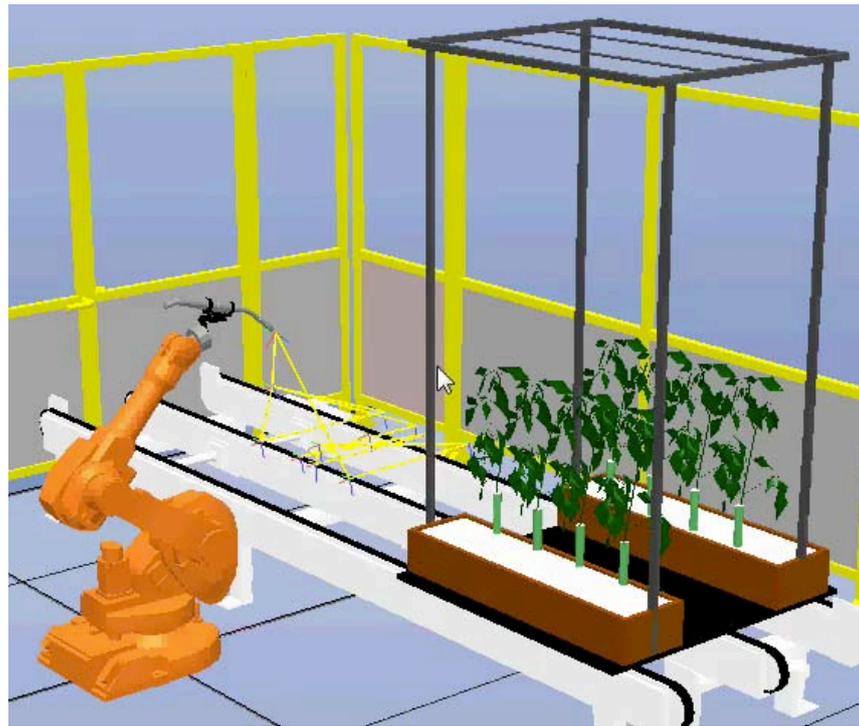


Estación de pulverización





Estación de abonado de precisión



Universidad
de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática



Proyecto Greenpack



Transportable system for harvesting, sorting, and packaging horticulture products in greenhouses



Colaboración con el grupo de investigación

Estación Experimental de la Fundación CAJAMAR



Universidad de Almería (España)

Università di Cassino e del Lazio Meridionale (Italia)



RWTH AACHEN
UNIVERSITY

RWTH Aachen University (Alemania)

Universidad Transilvana de Brasov
(Rumania)



Universidad de Sheffield (Reino Unido)

Mechanimata Ltd. (Italia)



VÚTS Ltd., Liberec (República Checa)

Universidad
de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática



Proyecto Proyecto Greenpack



Transportable system for harvesting, sorting, and packaging horticulture products in greenhouses

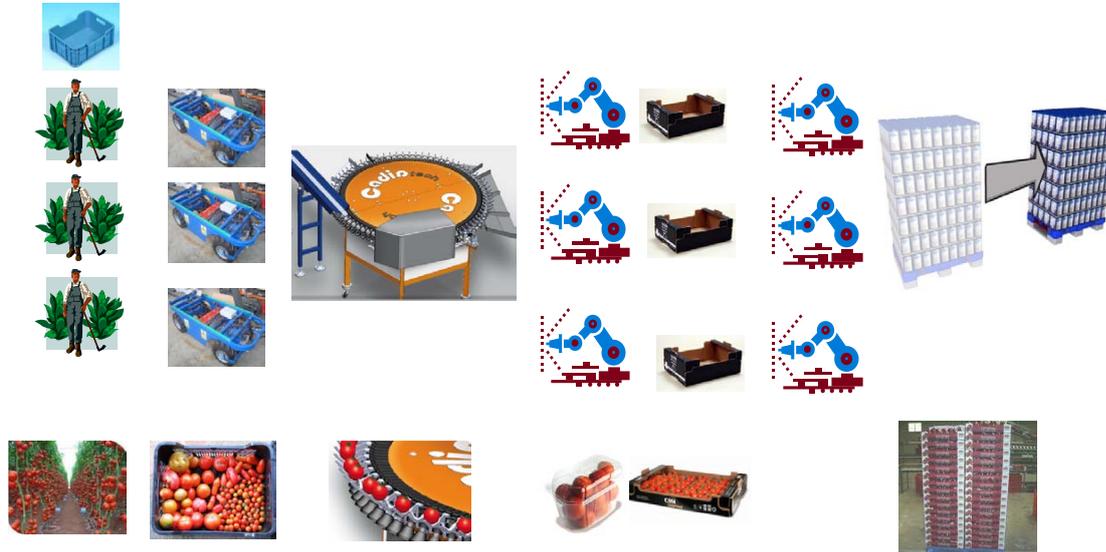
Recolección

Transporte

Clasificación

Empaquetado

Paletizado



Universidad
de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática

Robótica en invernaderos



Análisis de viabilidad

Universidad
de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática



Metodología



Por su importancia económica en la zona se seleccionaron los cultivos del tomate y pimiento



Se analizan dos tipos de actividades:
Pulverización y Recolección



Viabilidad técnica



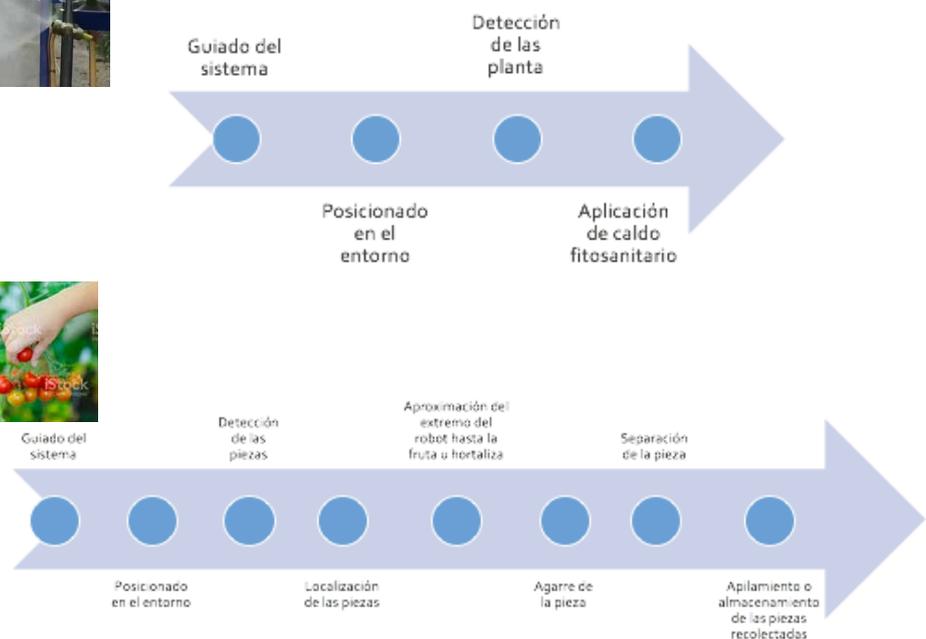
Factores de diseño

Estos sistemas son una combinación de robots móviles, con sistemas inteligentes de fumigación.

El vehículo móvil debe ser capaz de navegar en un entorno estructurado con obstáculos desconocidos específicos para invernadero. Los sistemas de control empotrados, con hardware específico, deben permitir cumplir las restricciones de velocidad y movilidad con bajo costo.

Los robots recolectores suelen ser de tipo híbrido, es decir, brazos manipuladores embarcados en plataformas o robots móviles.

En la operación de recolección de frutos hay que realizar dos acciones: atrapar y separarlos de la planta, por lo que el diseño del elemento terminal es fundamental.





Viabilidad técnica



Pulverización



Aspectos a considerar:

El guiado del sistema, el reconocimiento del entorno, generación de un mapa del entorno y localización del robot en el mismo, Posicionado del entorno, detección de las plantas, y aplicación del caldo fitosanitario en el que es muy importante coordinar la relación velocidad de desplazamiento/velocidad de pulverización

Recolección



Aspectos a considerar:

Guiado del sistema móvil hasta la cercanía de la planta, Localización del robot en el entorno, detección de los frutos, **localización precisa de los frutos**, aproximación del extremo del robot hasta la fruta u hortaliza, **agarre de la pieza**, **separación de la pieza**, **apilamiento o almacenamiento de las piezas recolectadas**



Viabilidad económica



Aspectos a considerar:

- Los costes considerados en las operaciones tradicionales están basados en datos medios contabilizados por campaña para toda la producción hortícola bajo invernadero
- Para determinar el coste de usos de los robots se ha empleado el método de estimación de costes de máquinas agrícolas de la *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE Standard EP 496.3. 2014)
- Relación costes de inversión/ganancia (TIR, VAN, Periodo retorno)



	Pistola Pul.	Robot Pulv. ²
Coste medio fitosanitario (€)/tratamiento	150	90
Vida útil (años) ³	10	12
Nº operarios	2	1
Sueldo (€/h) ¹	7,03	7,03
Tiempo empleado (h/ha)	6,54	1,26
Valor inicial del equipo (€)	2000	35000



	Robot Recolector
Vida útil (h) ¹	12000
Localization rate (%) ²	85
Harvest rate (%) ²	66
Cycle time (s) ²	33
	35000



¹ Convenio Colectivo Provincial de Trabajo en el Campo para los años 2012-2015

² Utiliza barras que reducen el volumen de aplicación aprox. un 40%

³ ASABE Standard EP 496.3. 2014

³ ASABE Standard EP 496.3. 2014

² Bec et al. (2014)

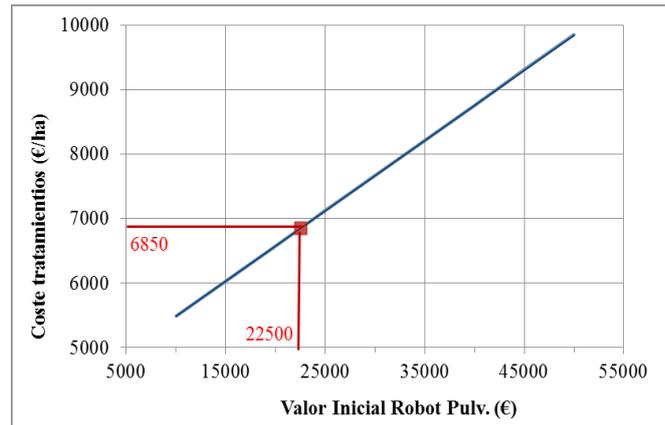
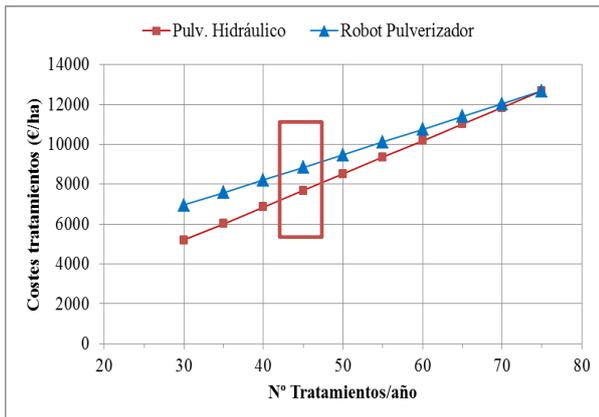
Viabilidad económica

Pulverización



Aspectos a considerar:

Número de tratamientos que se hace un año, costes asociados a cada tratamiento, calculo del coste del robot pulverizador



Viabilidad económica

Recolección



Aspectos a considerar:

Rendimiento medio por hectárea, tiempo de localización de frutos, tiempo de separación de frutos, tipos de recolección, número de robots

	Robot recolector		Recolección
	1 robot	4 robots	Tradicional
Nº de frutos/ha ¹	770000		
Capacidad de trabajo robot recolector (frutos/h)	109		--
Duración recolección (h)	6000	1500	--
Duración recolección ³ (meses)	25	6.25	7
Coste horario (€/h) ²	--	56	--
Coste (€/ha)	--	84000	7500

¹ Sánchez-González et al., 2016

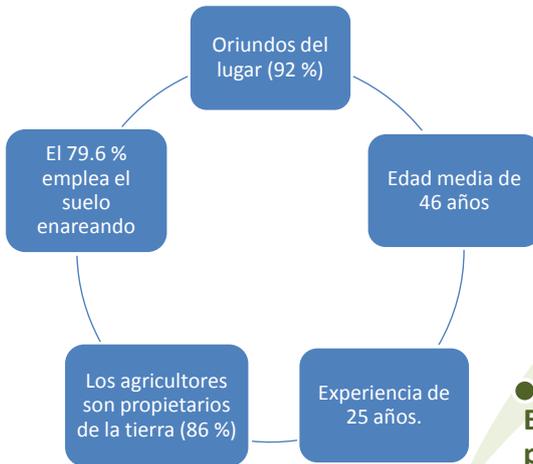
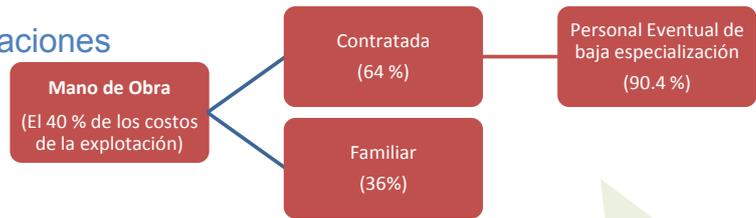
² ASABE Standard EP 496.3. 2014. El coste horario de un solo robot es 14 €/h

³ Considerando jornadas de 8 h/día

Gasto 11 veces mayor que la tradicional con una perdido de cosecha de un 33%

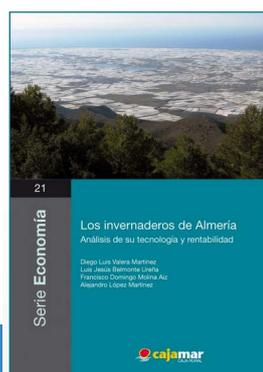
Aspectos a considerar:

- Agricultor promedio de las explotaciones
- Nivel de uso de la tecnología
- Mano de obra empleada
- Riesgos para la salud



Conclusiones

- Tendencia de los agricultores al uso de la tecnología y otros avances tecnológicos
- Perfil promedio de la segunda generación de agricultor es actual: 46 años, 25 años produciendo, un porcentaje alto con titulaciones de grado medio (ITA)
- Tareas peligrosas demostrada con riesgos para la salud como la pulverización de productos fitosanitarios
- Tarea de recolección tediosa, repetitiva y con coste alto



Robótica en invernaderos



Conclusiones



Conclusiones



- La agricultura presenta retos y oportunidades emocionantes para el desarrollo de sistemas robotizados, aunque la viabilidad todavía no se ha demostrado.
- La robotización de las tareas agrícolas es beneficioso tanto para la salud del ser humano como para la optimización de tiempo y de recursos, mejorando la calidad de los productos finales
- Sería conveniente que las plantaciones, fincas o invernaderos se adapten al uso de robots, así como las formas de cultivo.
- Se han obtenido unos resultados satisfactorios de los prototipos planteados.
- Existen poco sistemas robotizados comerciales
- La mayoría de las propuestas provienen de países asiáticos como Japón y Corea del seguido por los desarrollos europeos

Conclusiones

- Desde un punto de vista tecnológico, los principales problemas son:
 - El reconocimiento de las frutas y verduras (en general con las condiciones cambiantes de luz y con una gran variedad de diferentes propiedades físicas),
 - La velocidad de operación del robot (en en general mucho más bajo que el ser humano operario de velocidad)
 - El almacenamiento de los productos
- Desde un punto de vista económico, no esta claro el uso de robots ya que la inversión inicial es elevada y en algunas zonas los rendimientos del cultivo son bajos. Sería conveniente usar la característica de que un robot es reprogramable y multifuncional para que realice varias tareas en cada una de las fases de cultivo.

Empresas





Ideas



AGRO MAPPING



- CANTIDAD DE FRUTA (UNIDADES, TONELADAS)
- DISPERSIÓN DE CALIBRES
- DISTRIBUCIÓN DE COLOR
- CALIDAD DE LA FRUTA
- MAPAS DE VARIABILIDAD ESPACIAL DEL PREDIO, ENTRE OTROS.

YA NO DEBERÁ ESPERAR A LA COSECHA PARA SABER CUANTA FRUTA TIENE O EN CUANTO SE EQUIVOCÓ EN LA ESTIMACIÓN.

DESARROLLADO POR:



Ideas



DJI Introduces Company's First Agriculture Drone





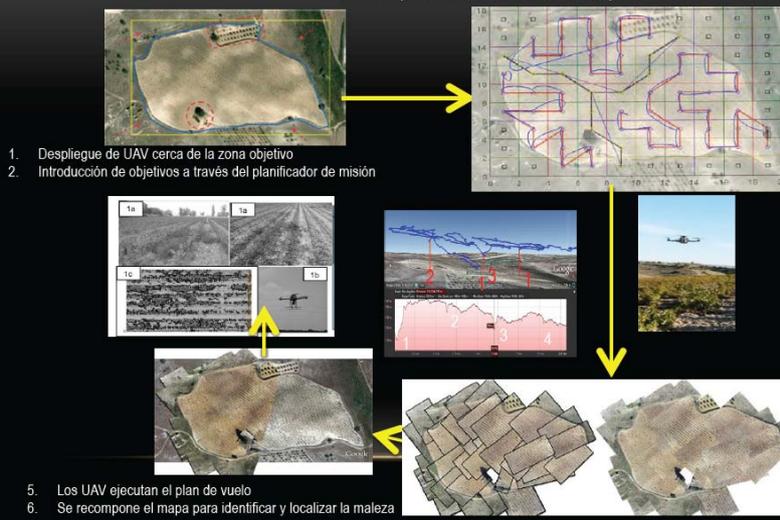
Ideas



Flotas de robots para una agricultura eficaz



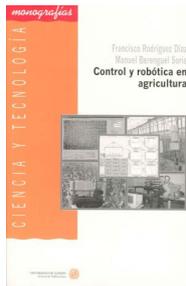
LA MISIÓN DE LOS UAV



Ideas

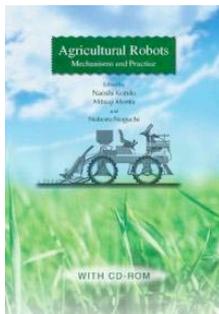
東京農業大学 TOKYO UNIVERSITY OF AGRICULTURE



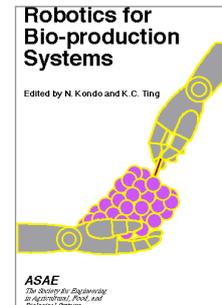


Rodríguez, F.; Berenguel, M.; 2004; *Control y robótica en agricultura; Monografías de Ciencia y Tecnología*; Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería; Almería (España); 433 pp.

Kondo, N.; Ting, K.C.; 1998; *Robotics for bioproduction system*; Editados por Kondo, N. y Ting, K.C.; ASAE; Estados Unidos; 323 pp.

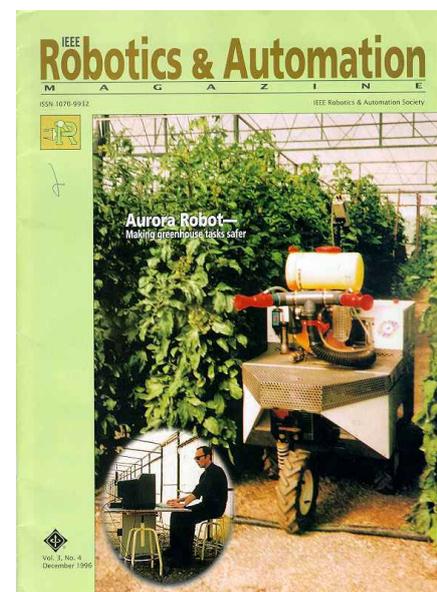
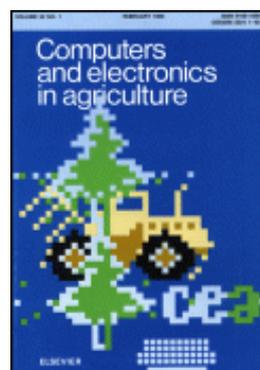
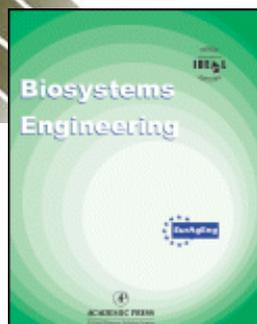
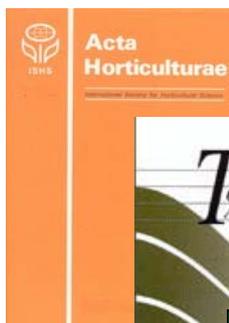


Kondo, N.; Monta, M.; Noguchi, N.; , 2011; *Agricultural robots. Mechanism and Practice*; Hyoto University Press y TransPacific Press.; Japón; 348 pp.



Revistas de agronomía

Revistas de robótica





UNED

Programa de Doctorado de Ingeniería de Sistemas y de Control

Dpto. Informática y Automática-UNED



Robótica en Invernaderos

Robots

*create
jobs!*

28 de abril de 2018

Universidad
de Almería

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática