

# Sistemas Embebidos: Una alternativa para la automatización de la agroindustria cubana



## Embedded Systems: An Alternative for Cuban Agroindustry Automation

<http://opn.to/a/otrXP>

Ing. Lieter Javier Silva-Díaz <sup>I\*</sup>, Dr.C. Yanoy Morejón-Mesa <sup>II</sup>

<sup>I</sup>Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>II</sup>Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN:** La automatización industrial se considera una etapa esencial en el desarrollo industrial de una nación. En Cuba, específicamente en el sector de la industria agropecuaria, la tecnología de automatización es obsoleta e incluso, en algunos casos, inexistente. Esto se debe fundamentalmente al difícil acceso a la tecnología y a su alto costo. En el presente trabajo se presenta el desarrollo de tecnología de automatización propia basada en sistemas embebidos, como una alternativa económicamente viable y adecuada para su uso en la automatización de la agroindustria en Cuba. Con este fin se realizó una búsqueda y comparación de las tecnologías de automatización disponibles, en la que se tuvo en cuenta la tecnología basada en Controladores Lógicos Programables (PLC) y Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) que tradicionalmente se emplea en la industria a nivel mundial, y la tecnología propia basada en sistemas embebidos, desarrollada por ejemplo a partir de microcontroladores. De esta búsqueda y comparación se determinó que el desarrollo de tecnología propia a partir de sistemas embebidos resulta más económico y se considera más adecuado para las condiciones de la agroindustria cubana.

**Palabras clave:** Agricultura, tecnología, automatización, sistemas embebidos, microcontrolador.

**ABSTRACT:** Industrial automation is considered an essential part in the industrial development of a nation. In Cuba, specifically in the agricultural industry, the automation technology is obsolete and even in some cases it does not exist. This is mostly due to the difficult access to the technology and its high cost. In the present work, the development of own automation technology it is presented. It is based on embedded systems as an economically and adequate alternative for its use on the automation of the agricultural industry in Cuba. To achieve this, a search and comparison of the available automation technologies were realized. It took into account, the worldwide industrial technology traditionally used, which is based on Programmable Logic Controller (PLC) and the Supervisory Control and Data Acquisition, and the own technology based on embedded systems, developed for example, with a microcontroller. From the search and comparison, it was determined that the development of own technology based on embedded systems is more economical and is considered more adequate for the Cuban agricultural industry conditions.

**Keywords:** Agriculture, technology, automation, embedded systems, microcontroller.

## INTRODUCCIÓN

La automatización es la rama de la tecnología que se ocupa de la aplicación de sistemas de control a las diversas actividades humanas, fundamentalmente a la industria. También se define como la acción y efecto de automatizar, esto es, de realizar un acto de producción,

distribución o gobierno, sin intervención directa de la conciencia y la voluntad (Mataix, 2008).

El diccionario en línea de Webster (<http://www.websters-online-dictionary.org/definition/automation>) define la automatización como una implementación altamente técnica que usualmente involucra hardware y dispositivos electrónicos para reemplazar a los humanos por máquinas en algunas labores.

\*Autor para correspondencia: Lieter Javier Silva-Díaz, e-mail: [lieter@ica.co.cu](mailto:lieter@ica.co.cu)

Recibido: 15/02/2019

Aceptado: 29/04/2019

Otra definición la realiza [Groover \(2016\)](#), quien plantea que la automatización, estrictamente en el ámbito de la manufactura, es la tecnología involucrada con la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en computadoras, para operar y controlar la producción.

Estas definiciones de forma general coinciden con la idea del uso de ‘cierta tecnología’ para controlar un proceso de producción. Además las dos primeras definiciones incluyen el concepto de ‘reemplazar a los humanos por máquinas’, con lo que se concuerda, pero es necesario agregar que este reemplazo es parcial y se realiza también para el beneficio del trabajador, al evitar la realización de tareas peligrosas y rutinarias.

A partir de estos elementos se puede plantear que la automatización es la tecnología que incluye elementos físicos, por ejemplo elementos mecánicos, electrónicos y sistemas de cómputo (hardware y software), y conocimientos teóricos, como la ingeniería de control, que se implementa en diversas actividades humanas, fundamentalmente en la industria, con la finalidad de sustituir al ser humano en actividades repetitivas y tediosas, que exigen gran precisión y velocidad o que pudieran resultar peligrosas o perjudiciales para su vida, quedando éste relegado a un rol donde se puede aprovechar mucho más su intelecto, por ejemplo como supervisor.

La automatización de los procesos industriales, incluyendo la industria agropecuaria, es una práctica generalizada a nivel mundial, pues es uno de los elementos principales que permiten a las empresas aumentar sus beneficios y la competitividad. La tecnología de automatización es costosa y algunas empresas no la pueden adquirir; y en el caso de Cuba, el costo no es el único problema, pues la importación de estas tecnologías se dificulta por el alcance del embargo comercial, económico y financiero que impone el gobierno de Estados Unidos. Además, el déficit de mano de obra en la producción agropecuaria pudiera suplirse con la automatización y aumentar la eficiencia de la producción misma.

Teniendo en cuenta los altos costos de las tecnologías de automatización tradicionales, la dificultad de acceso a estas por parte del país, el

déficit de mano de obra en la producción agropecuaria y conociendo además las necesidades de desarrollar la esfera agropecuaria y la industria asociada a esta, de obtener productos con alto valor agregado, aptos para el consumo de la población, la exportación y la industria turística; el objetivo principal de este trabajo es proponer una tecnología de automatización económica y adecuada para la agroindustria cubana.

## MÉTODOS

Se realiza una búsqueda de precios de las tecnologías, tanto la tradicional como la de los sistemas embebidos, en sitios web y catálogos comerciales de algunos de los principales fabricantes y proveedores de estas tecnologías. Además, la comparación se realiza fundamentalmente teniendo en cuenta el costo económico. También se comparan varios de los procesadores usados en sistemas embebidos a partir de sus características básicas y sus posibilidades de uso en la automatización de la agroindustria.

Primero se procede a exponer los beneficios de la automatización en la industria. Según [Sharma \(2017\)](#), algunos de los beneficios del uso de la automatización en los procesos industriales son:

- Reducción de las pérdidas en la producción.
- Optimización de recursos (ahorro de materias primas y energía).
- Mayor seguridad, confiabilidad y seguridad funcional.
- Contribución al cumplimiento de requerimientos regulatorios externos como los medioambientales.
- Flexibilidad en el control, permitiendo adaptarse con facilidad a otras producciones.

El uso de la automatización en la agroindustria, pudiera generar un grupo de beneficios como los anteriormente expuestos, en los que se pueden resaltar: el ahorro de materias primas, el aumento de la eficiencia energética y el cumplimiento de normas ambientales, pero también se deben incorporar: la facilidad de obtención de un producto de mayor valor agregado, el aumento de los beneficios económicos, la competitividad de las empresas y

la posibilidad de suplir el déficit de mano de obra en la producción agropecuaria.

### **Seguridad funcional**

En toda planta industrial o agroindustrial, los procesos o las máquinas que se operan suponen cierto nivel de amenaza o riesgo para la integridad de los operadores, la planta o el medioambiente. Esto obliga a adoptar medidas de seguridad con el fin de reducir eficientemente los riesgos. Estas medidas o tareas son controladas e implementadas a través del sistema de automatización y son llamadas 'Funciones de seguridad'. Cuando los sistemas de protección se ejecutan con sistemas de automatización, la norma internacional más relevante en cuanto a la seguridad funcional es la IEC 61508, "Seguridad funcional de los sistemas eléctricos / electrónicos / electrónico programables relacionados con la seguridad". Además de esta norma básica, para el ámbito de la industria de procesos se aplica la norma específica IEC 61511 ([Smith y Simpson, 2016](#)).

La seguridad funcional en algunas industrias como la petrolera es obligatoria mientras en otras, que poseen menos requerimientos funcionales, como la mayoría de las aplicaciones de la agroindustria, es solo opcional. Aunque es recomendado por los beneficios que brinda como la protección al personal de la planta y el equipamiento, cuando no es un proceso crítico en seguridad funcional, o lo que es lo mismo, cuando no tiene grandes requerimientos funcionales, no se aplica debido a los altos costos.

### **Tecnología 'tradicional'**

La solución industrial al problema del control de un proceso o una planta incluye el empleo de controladores como los Controladores Lógicos Programables, PLC por sus siglas en inglés, y sistemas de monitorización y/o supervisión, como los Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, SCADA por sus siglas en inglés.

La tecnología de automatización tiene un alto costo, en el que se incluye el costo del dispositivo físico, del software para configurar, controlar y monitorizar esos elementos físicos, costo que muchas veces es superior al del hardware y el de la capacitación. La diferencia principal entre los

países desarrollados y los que están en vías de desarrollo es el acceso a la tecnología y la consecuente dependencia tecnológica.

### **Sistemas embebidos**

Existen varias definiciones de sistemas embebidos que se caracterizan por demarcar a estos por varias particularidades específicas, como la limitada capacidad de software y hardware en comparación con una PC, la cantidad de funciones a las que son dedicados y por los requerimientos de confiabilidad y seguridad ([Noergaard, 2005](#)). El mismo autor y [Holt y Huang \(2018\)](#), plantean la dificultad de definición del concepto debido a la evolución del mismo como consecuencia de los constantes avances de la tecnología y el decremento de los costos de implementación.

Por lo abarcador del concepto se emplea el establecido por [Noergaard \(2005\)](#), en el que definen como sistemas con una computadora aplicada, que se distinguen de otros tipos de computadoras como las computadoras personales (PC) o supercomputadoras.

A partir de esta definición, y a efectos del presente trabajo, se pudiera redefinir como un sistema electrónico, diferente a una computadora personal, que utiliza un procesador, como el microprocesador de las computadoras personales, con la finalidad de controlar un proceso determinado.

Algunos de los procesadores disponibles son:

- **Microprocesador**

Muchos de los sistemas embebidos en tiempo real emplean microprocesadores de propósito general. Un microprocesador es un procesador de computadoras en un circuito integrado, el que contiene todos, o la mayoría de las funciones de la unidad de procesamiento central o CPU por sus siglas en inglés ([Wang, 2017](#)).

- **Microcontrolador**

Comparado con un microprocesador de propósito general, un microcontrolador es un sistema autosuficiente con periféricos, memoria y un procesador que es diseñado para realizar tareas específicas ([Wang, 2017](#)).

- **Procesadores digitales de señal (DSP)**

Los procesadores digitales de señal, DSP por sus siglas en inglés, son diseñados para aplicaciones que requieren altas tasas de cálculos. Los DSP implementan algoritmos en hardware ofreciendo gran desempeño en tareas intensivas de cálculos repetitivos ([Wang, 2017](#)).

- **Arreglo de compuertas programables en campo (FPGA)**

Un FPGA, del inglés Field Programmable Gate Array, lo que en español se traduce como arreglo de compuertas programables o configurables en campo, es un dispositivo que contiene una red de celdas o compuertas lógicas que pueden ser rápidamente reconfiguradas, lo que facilita la rápida creación de prototipos de sistemas embebidos ([Wang, 2017](#)).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comparación de procesadores para su aplicación en la agricultura

#### Microprocesador

Los microprocesadores encuentran sus aplicaciones cuando las tareas no son específicas. Por ejemplo las computadoras personales usan estos como procesador, lo que permite realizar una variedad de tareas complejas como el desarrollo de software, juegos, y sitios web. En estos casos la relación entre las entradas y las salidas no está definida. Necesitan una gran cantidad de recursos, como memorias RAM, ROM y puertos de Entrada/Salida (E/S). El software embebido puede ser ajustado a las tareas específicas que son diseñadas para sistemas embebidos.

#### Microcontrolador

Los microcontroladores son empleados en sistemas donde la relación entre las entradas y las salidas usualmente están claramente definidas. Algunos ejemplos son el ratón o mouse de la computadora, lavadoras, cámaras digitales, hornos de microondas, teléfonos celulares y relojes digitales. Como las aplicaciones son muy específicas, poseen poca demanda de recursos como memoria RAM, ROM, puertos E/S, y por lo tanto pueden ser embebidos en un solo chip con el procesador. Esto reduce el tamaño y el costo. Un microcontrolador es muy fácil de

reemplazar, mientras que los microprocesadores son 10 veces más costosos. Además, los microcontroladores generalmente consumen menos energía y son más inmunes a los picos de potencia comparada con otras técnicas ([Wang, 2017](#)).

#### Procesadores digitales de señal (DSP)

Los procesadores digitales de señal son de dos a tres veces más rápidos que las aplicaciones de procesamientos de señales basadas en microprocesadores de propósito general, incluyendo audio, video y las comunicaciones. Según [Wang \(2017\)](#), entre sus desventajas se pueden citar que generalmente poseen un alto costo y que algunos DSP disponibles comercialmente les falta un soporte adecuado en cuanto al compilador.

#### Arreglo de compuertas programables en campo (FPGA)

Los FPGA son comúnmente utilizados en la etapa de diseño y generalmente se reemplazan en el producto final con circuitos personalizados, debido a un mayor rendimiento y menor costo. Cuando la reconfiguración es una parte esencial de la funcionalidad de un sistema integrado en tiempo real, los FPGA aparecen en el producto final.

En las aplicaciones más comunes que requieren procesamiento de datos, generalmente se usan microprocesadores, microcontroladores, DSP o FPGA. Los microprocesadores encuentran sus aplicaciones cuando las tareas no son específicas, los diseños basados en microprocesadores requieren gran cantidad de recursos, son complejos y costosos comparados con los microcontroladores. Los microcontroladores son sistemas autosuficientes con periféricos, memoria y un procesador que es diseñado para realizar tareas específicas. En la gran mayoría de los casos, un diseño basado en microcontrolador es suficiente. Además, es más simple y menos costoso que el diseño basado en microprocesadores. Los DSP se emplean cuando se necesita implementar ciertos algoritmos en hardware, por ejemplo para procesamiento de señales, lo que permite mayores velocidades de procesamiento, disminuyendo la carga del procesador. Los FPGA son hardware reconfigurable, muy costosos, que generalmente

se utilizan en la etapa de diseño de nuevos productos, pero también y quizás la aplicación más importante, es cuando se requiere reconfiguración en tiempo real, lo cual es un requerimiento poco usual en la mayoría de las aplicaciones.

Particularmente para aplicaciones de control y automatización en el sector agroindustrial, que no poseen grandes requerimientos de procesamiento y seguridad funcional, se recomienda usar microcontroladores por encima de la opción basada en microprocesadores, por su simplicidad y costo. Cuando se requiere realizar procesamiento de señales, lo que demanda gran potencia de procesamiento, se recomienda usar los DSP, ya que implementan algunos algoritmos en hardware. También, cuando se requiere reconfiguración en tiempo real, requerimiento poco usual, se recomienda usar FPGA.

### Sistemas embebidos en la agricultura a nivel mundial

Los sistemas embebidos se han utilizado ampliamente en diversas esferas de la agricultura. Un estudio realizado por [Zhang y Pierce \(2013\)](#), reportan varias aplicaciones durante ese año, como se muestran en la [Tabla 1](#).

Entre los principales resultados devenidos del proceso de investigación, en la [Tabla 2](#), se

muestran los precios de algunos de los productos de SIEMENS\*, fabricante de gran prestigio en el campo de la automatización, y en la [Tabla 3](#), los de algunos microcontroladores de Microchip†, compañía también prestigiosa y muy popular entre los desarrolladores de sistemas embebidos.

En la [Tabla 4](#) se realiza una comparación de precios de algunos de los PLC y microcontroladores anteriormente expuestos.

Es necesario aclarar que la función del microcontrolador en el sistema de control es la de ejecutar los algoritmos de control, por lo que puede ser considerado como el ‘núcleo’ del sistema. Además, se debe tener en cuenta que esta comparación se realiza considerando solo el costo del procesador.

Como se puede apreciar, desde el punto de vista de costo económico del procesador y para aplicaciones de bajos requerimientos funcionales, la automatización basada en microcontroladores es mucho más económica que la que usa la tecnología tradicional basada en PLC y SCADA. Esto representa para países en vías de desarrollo o empresas con bajos recursos económicos, y específicamente para la agroindustria cubana, una alternativa u oportunidad a explorar.

**TABLA 1.** Algunos reportes del uso de sistemas embebidos en la agricultura durante el año 2013

Aplicación	Autores
Vehículos robóticos agrícolas	<a href="#">Noguchi (2013)</a>
Sistemas infotrónicos agrícolas	<a href="#">Zhang et al. (2013)</a>
Agricultura de precisión	<a href="#">Yang y Lee (2013)</a>
Producción automatizada de cultivos	<a href="#">Shearer y Pitla (2013)</a>
Mecanización, monitoreo y control en producción de algodón	<a href="#">Sui y Thomasson (2013)</a>
Producción automatizada en huertos y viñedos	<a href="#">Burks et al. (2013)</a>
Recintos automatizados y producción animal	<a href="#">Purswell y Gates (2013)</a>
Automatización y gestión de la nutrición	<a href="#">He et al. (2013)</a>
Sistemas automatizados de aplicación de pesticidas	<a href="#">Karkee et al. (2013)</a>
Gestión automatizada del riego	<a href="#">Wang et al. (2013)</a>
Automatización de pos-cosecha	<a href="#">Kondo y Kawamura (2013)</a>

\*Siemens es una marca registrada.

†Microchip es una marca registrada.



**TABLA 2.** Selección de algunos PLC de gama baja y media (con software) ([Siemens, 2016](#))

PLC	Características	Precio
LOGO! 8 12/24RCE	Modulo lógico simple LOGO! 8 12/24 RCE. LOGO! Soft Comfort V8.	241,66 USD
SIMATIC S7-1200 + KTP300 Basic	WinCC Basic V13 CPU 1212C AC/DC/RLY. KP300 Basic Mono PN.	605,23 USD
SIMATIC S7-1200 + KTP700 Basic	SIMATIC STEP 7 Basic V13 en el TIA Portal. CPU 1212C AC/DC/RLY. HMI KTP700 Basic Color PN.	1128,38 USD
SIMATIC S7-1511-1PN Compacto	Step7 Basic. SIMATIC S7-1500C, CPU compacta 1511C-1PN. Módulo central que Integra: Memoria central 175 KB para programa y 1 MB para datos, 16 entradas digitales, 16 SD, 5 entradas analógicas, 2 salidas analógicas, 6 contadores de alta velocidad, 1 Interfaz: PROFINET IRT. SIMATIC S7 - STEP 7 Professional V13 - Licencia flotante para TIA Portal	2281,25 USD

**TABLA 3.** Selección de algunos microcontroladores de Microchip ([Microchip, 2017](#))

Microcontrolador	Características	Precio
PIC10F322	8-bit PIC MCU, Memoria de programa: 0.896 KB, Memoria RAM: 64 b, Conteo de Pin: 6, Velocidad máxima de la CPU: 16 MHz, Canales de conversor A/D (Max.): 3 (8 bits), Cantidad de temporizadores: 2 (8 bits), Salidas PWM (Max.): 4 (10 bits)	0,37 USD
PIC16F18323	8-bit PIC MCU, Memoria de programa: 3.5 KB Flash, Memoria RAM: 256 b, Conteo de Pin: 12, Velocidad máxima de la CPU: 32 MHz, Canales de conversor A/D (Max.): 5 (10 bits), Cantidad de temporizadores: 2 (8 bits) y 1 (16 bits), Salidas PWM (Max.): 2 (10 bits) con CWG	0,82 USD
PIC18F97J94	8-bit PIC MCU, Memoria: 128KB Flash, Memoria RAM: 4KB, Conteo de Pin: 100, Velocidad máxima de la CPU: 64 MHz, Canales de conversor A/D (Max.): 24 (10/12 bits), Cantidad de temporizadores: 4 (16 bits), Salidas PWM (Max.): 7 (10 bits) con CWG, Comunicaciones: USB V2.0, SPI, I2C, USART (RS-485, RS-232 y LIN/J2602).	3,56 USD
PIC24FJ256GB406	16-bit PIC MCU, Memoria: 256kB Flash, Memoria RAM: 4KB, Conteo de Pin: 64, Velocidad máxima de la CPU: 32 MHz, Canales de conversor A/D (Max.): 24 (10/12 bits), Canales de conversor D/A: 1, Cantidad de temporizadores: 5 (16 bits), Salidas PWM (Max.): 6 (16 bits), Comunicaciones: I2C, SPI, UART, USART, LIN.	3,87 USD
PIC32MX110F016B	32-bit PIC MCU, Memoria: Hasta 128 KB Flash y 32 KB SRAM, Conteo de Pin: 28, Velocidad máxima de la CPU: 40 MHz, Canales de conversor A/D (Max.): 10 (10 bits), Cantidad de temporizadores: 5 (16 bits), Salidas PWM (Max.): 6 (16 bits), Comunicaciones: USB, I2C, SPI, UART, USART.	1,47 USD
DSPIC33EP32MC202	16-bit dsPIC MCU, Memoria: 32KB Flash Memoria RAM: 4KB, Conteo de Pin: 28, Velocidad máxima de la CPU: 40 MHz, Canales de conversor A/D (Max.): 6 (10/12 bits), Cantidad de temporizadores: 5 (16/32 bits), Salidas PWM (Max.): 6 (16 bits), Comunicaciones: CAN, I2C, SPI, UART, USART.	1,44 USD

**TABLA 4.** Comparación de precios

PLC	Precio	Microcontrolador	Precio
LOGO! 8 12/24RCE	241,66 USD	PIC10F322	0,37 USD
SIMATIC S7-1200 + KTP300 Basic	605,23 USD	PIC18F97J94	3,56 USD
SIMATIC S7-1511-1PN Compacto	2281,25 USD	DSPIC33EP32MC202	1,44 USD
SIMATIC S7-1200 + KTP700 Basic	1128,38 USD	PIC24FJ256GB406	3,87 USD
Promedio	1064,13 USD	Promedio	2,31 USD

### CONCLUSIONES

- Se realizó una búsqueda y comparación de las tecnologías de automatización disponibles, en la que se tuvo en cuenta la tecnología basada en Controladores Lógicos Programables (PLC) y Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) que tradicionalmente se emplean en la industria a nivel mundial, y la tecnología propia basada en sistemas embebidos, desarrollada por ejemplo a partir de microcontroladores.
- Se determinó que el desarrollo de tecnología propia a partir de sistemas embebidos resulta más económica y se considera más adecuada para las condiciones de la agroindustria cubana.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURKS, T.; BULANON, D.; KYU, S.Y.; ZHIJIANG, N.; SUNDARARAJAN, A.: “Producción automatizada en huertos y viñedos”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.

GROOVER, M.P.: *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*, no. solc. TS183 .G76 2008, Ed. Prentice Hall, 3rd ed ed., Upper Saddle River, N.J, 815 p., 2008, ISBN: 978-0-13-239321-8.

HE, Y.; LIU, F.; WU, D.: “Automatización y gestión de la nutrición”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.

HOLT, A.; HUANG, C.-Y.: *Embedded Operating Systems. A Practical Approach, [en línea]*, Ed. Springer International Publishing AG, 2.ª ed., London, 2018, ISBN: 978-3-319-72977-0,

Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72977-0>.

KARKEE, M.; STEWARD, B.; KRUCKEBERG, J.: “Sistemas automatizados de aplicación de pesticidas”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.

KONDO, N.; KAWAMURA, S.: “Automatización de pos-cosecha”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.

MATAIX LORDA, M.: *Diccionario de Electrónica, Informática y Energía Nuclear: Inglés-Español. Español-Inglés, [en línea]*, Ed. Ediciones Díaz de Santos, España, 2008, ISBN: 978-84-7978-411-9, Disponible en: <https://library.biblioboard.com/content/bc283ab0-7ba8-474c-9b04-d35f16db1990> , [Consulta: 11 de octubre de 2017].

MICROCHIP: *Microcontroladores PIC, [en línea]*, 2017, Disponible en: <http://www.microchip.com/>.

NOERGAARD, T.: *Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers, [en línea]*, Ed. Elsevier Inc., 2005, ISBN: 0-7506-7792-9, Disponible en: <http://www.books.elsevier.com>.

NOGUCHI, N.: “Vehículos robóticos agrícolas”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices* , Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.

PURSWELL, J.L.; GATES, R.S.: “Recintos automatizados y producción animal”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and*

- Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.
- SHARMA, K.L.S.: *Overview of Industrial Process Automation*, 2017, ISBN: 978-0-12-809303-0.
- SHEARER, S.A.; PITLA, S.K.: “Producción automatizada de cultivos”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.
- SIEMENS: *SIEMENS SIMATIC Catálogo de ofertas de automatización 2025-2016*, [en línea], 2016, Disponible en: <http://www.siemens.es/simatic>.
- SMITH, D.J.; SIMPSON, K.G.: “The Meaning and Context of Safety Integrity Targets”, [en línea], En: *The Safety Critical Systems Handbook (Fourth Edition)*, Ed. Butterworth-Heinemann, 4th ed., pp. 3-23, 2016, ISBN: 978-0-12-805121-4, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128051214000015>, [Consulta: 7 de diciembre de 2017].
- SUI, R.; THOMASSON, A.: “Mecanización, monitoreo y control en producción de algodón”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.
- WANG, D.; O'SHAUGHNESSY, S.A.; KING, B.: “Gestión automatizada del riego”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.
- WANG, J.: *Real-Time Embedded Systems*, ser. Quantitative software engineering series, Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2017, ISBN: 978-1-119-42070-5.
- YANG, C.; LEE, W.S.: “Agricultura de precisión”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.
- ZHANG, Q.; PIERCE, F.J. (eds.): *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.
- ZHANG, Q.; SHAO, Y.; PIERCE, F.J.: “Sistemas infotrónicos agrícolas”, En: *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, ISBN: 978-1-4398-8058-6.

Lieter Javier Silva-Díaz, Investigador, Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Carretera Central km 47½, Mayabeque. Cuba, e-mail: [lieter@ica.co.cu](mailto:lieter@ica.co.cu)

Yanoy Morejón-Mesa, Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [ymm@unah.edu.cu](mailto:ymm@unah.edu.cu)  
Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.