**XVIII Simposio de Ingeniería Eléctrica**

**Título**

**Grupo de trabajo para el desarrollo de la robótica en Cuba**

***Title***

***Working group for the development of robotics in Cuba.***

**Luis Hernández Santana1**

1- Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. E-mail:luishs@uclv.edu.uc.

**Resumen:** Por indicación de la más alta dirección del país, se ha estado trabajando en la creación de un grupo de trabajo y desarrollo de la robótica en Cuba bajo la dirección del Ministro de Educación Superior, con su sede en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Con un enfoque inter y multidisciplinario.

En el país los principales colectivos científicos dedicados a la robótica se han concentrado en la ingeniería de control, con experiencias de impartición de docencia de pre y postgrado en Cuba y en el extranjero.

En la conformación del grupo nacional primeramente se desarrolló la fase de análisis para caracterizar las tendencias mundiales, el nivel de los desarrollos nacionales y los problemas a resolver y sus causas.

Dando paso a la fase de formulación, que ha definido el Grupo nacional y con subgrupos de: Robótica Industrial, Robots de servicio para uso personal, Robots de servicio para uso profesional (de uso general y médico), Capacitación y Escenarios sociales. Igualmente, los objetivos y resultados enfocados a elevar la presencia de procesos automatizados y robotizados en sistemas electromecánicos de la producción, los servicios y la sociedad. En este momento se trabaja en la confección de los planes de acción del grupo nacional.

**Palabras Clave:** Robótica; Automatización; Sistemas electromecánicos.

***Abstract:***

At the suggestion of the highest management in the country, work has been done on the creation of a working group and development of robotics in Cuba under the direction of the Minister of Higher Education, with its headquarters at the Central University "Marta Abreu" of The villages. With an inter and multidisciplinary approach.
In the country, the main scientific groups dedicated to robotics have focused on control engineering, with experience in teaching pre and postgraduate courses in Cuba and abroad.
In the formation of the national group, the analysis phase was first developed to characterize global trends, the level of national developments and the problems to be solved and their causes.
Giving way to the formulation phase, which has been defined by the National Group and with subgroups of: Industrial Robotics, Service Robots for personal use, Service Robots for professional use (general and medical use), Training and Social Scenarios. Likewise, the objectives and results focused on increasing the presence of automated and robotic processes in electromechanical systems of production, services and society. At this moment, work is being done on the preparation of the national group's action plans.

***Keywords:****.* Robotics; Automation; Electromechanical systems

**1. Introducción**

Por indicación de la más alta dirección del país de prestar atención a la robótica, se ha estado trabajando en la creación de un grupo de trabajo y desarrollo de la robótica en Cuba bajo la dirección del Ministro de Educación Superior, con su sede en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

La robótica es la ciencia y la tecnología de los robots, se encarga de su diseño, manufactura y aplicaciones. Combina diferentes disciplinas como: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control. Relacionado especialmente con la robótica en la comunidad científica se maneja el concepto de Mecatrónica. Por tanto, su enfoque es obligadamente inter y multidisciplinario.

En el país los principales colectivos científicos dedicados a la robótica se han concentrado en la ingeniería de control, con experiencias de impartición de docencia de pre y postgrado en Cuba y en el extranjero. La actividad científica es esta temática ha sido reconocida en tres ocasiones por Premios de la Academia de Ciencias de Cuba, en los que han participado las tres Universidades con la Carrera de Automática.

En la conformación del grupo nacional se han desarrollado dos etapas. Primero, la fase de análisis para caracterizar las tendencias mundiales, el nivel de los desarrollos nacionales y los problemas a resolver y sus causas. Segundo, la fase de formulación, que ha permitido definición de la estructura del Grupo nacional y sus subgrupos, los objetivos y resultados a lograr y en este momento se trabaja en la confección de los planes de acción. Sobre la base de estos conceptos se organiza el trabajo.

**2. Fase de análisis**

En la conformación del grupo nacional primeramente se desarrolló una fase de análisis para caracterizar las tendencias mundiales, el nivel de los desarrollos nacionales y los problemas a resolver y sus causas.

**2.1 Tendencias en el desarrollo de la robótica.**

**2.1.1 Robótica Industrial**

La robótica industrial fue un activo tema de investigación científica en el último cuarto del siglo pasado, proceso en el que investigadores cubanos del ICIMAF y las Universidades participaron destacadamente [1,2], este esfuerzo fue reconocido en el 2007 con un Premio de la Academia de Ciencias de Cuba. En la actualidad los principales aspectos de esta tecnología son ciencia constituida.

La robótica industrial es una tecnología con una expansión extraordinaria debido a su notable impacto en: la mejora de la calidad de la producción, el aumento de la productividad, el ahorro de energía y materias primas, la humanización del trabajo y el ahorro de fuerza de trabajo. Siendo el aumento de la calidad de la producción y la alta flexibilidad de los procesos productivos el factor que determina su notable presencia en el sector industrial. Entre el 2009 y las cifras previstas hasta el 2021, el mercado de los robots industriales tiene un crecimiento anual del 14%, Figura 2. Se estima un promedio mundial es de 85 robots industriales por cada 10 000 trabajadores.

La utilización de los robots industriales está estrechamente vinculada a los sectores industriales más dinámicos, concentrándose principalmente en la industria del automóvil y la electrónica, con altos índices de robots en operación e importantes crecimientos anuales.

La introducción de robots industriales es consecuencia de una industria desarrollada que accede a un mercado diverso y de altos estándares de calidad. En el país, la industria farmacéutica y electrónica parecen ser los sectores más preparados para asimilar sistemas de robots industriales. En otra dirección es de prever que inversiones relacionadas con capital extranjero y otras acciones puntuales pueden demandar esta tecnología.

**2.1.1 Robótica de Servicios**

Ante el desarrollo de otro grupo de soluciones robotizadas, no vinculada con el sector industrial entre 1995 y 1997 se introduce el concepto de robot de servicio [3].

* **Robótica de servicio para uso personal** implica un robot de servicio usado para una tarea no comercial, generalmente por personas no profesionales. Algunos ejemplos son el robot de servicio doméstico, la silla de ruedas automatizada, el robot de asistencia de movilidad personal y robot mascota.
* **Robótica de servicio para uso profesional** implica un robot de servicio usado para una tarea comercial, generalmente operado por un operador debidamente capacitado. Los ejemplos son: robot de limpieza, robot de entrega en oficinas u hospitales, robot de lucha contra incendios, robot de rehabilitación y robot de cirugía en hospitales.

La actividad científica principal en el ámbito de la robótica recae en la actualidad en la robótica de servicios. Por un lado, dada la gran diversidad de soluciones para los diversos escenarios que plantea importantes retos en la integración de información de variados sistemas de sensores y en la relación hombre máquina.

De igual forma, en el país la investigación científica de las universidades ha derivado hacia esta tendencia con resultados en la solución de problemas de control visual de robots [4] y soluciones de control de robots paralelos usados como simuladores [5,5], en coordinación con SIMPRO de las FAR, resultados premiados en el 2012 por la Academia. Posteriormente se ha trabajado en la solución guiado autónomo de vehículos aéreos y subacuáticos [7,8], con una intensa relación con entidades de las fuerzas armadas en el marco de la Tarea Triunfo, principalmente con el CIDNAV.

El piloto automático para vehículos subacuáticos desarrollado entre la UCLV y el CIDNAV, premiado en el 2014 por la Academia de Ciencias es un exitoso ejemplo de relación universidad empresa.

Más allá de los resultados exitosos de explotación de sistemas robóticos de servicio para uso profesional como el mencionado del CIDNAV o el trabajo con drones de Geocuba, esta es la línea, que a nuestro concepto, tiene mayores potencialidades de desarrollo en el futuro inmediato, tanto desde el punto de vista científico como de investigación científica.

Aplicaciones en la agricultura (máquinas de riego de pivote central, cosechadoras, etc.) son potenciales sistemas a ser modernizados, donde la inversión primaria ha sido realizada en los sistemas mecánicos, en esta dirección existe una clara conexión con los esfuerzos que se realizan en agricultura de precisión.

Los trabajos en el país en la robótica de servicio para uso personal son prácticamente nulos. No obstante, ha sido identificado como una importante prioridad como preparación en la atención a la tercera edad, dado el claro pronóstico de envejecimiento poblacional del país.

**2.2 Análisis del desarrollo de la robótica en Cuba**

El desarrollo de la robótica en el país está caracterizado por un pobre impacto en: la mejora de la calidad de la producción y los servicios, el aumento de la productividad, el ahorro de energía y materias primas, la humanización del trabajo, el ahorro de fuerza de trabajo y la calidad de vida. A partir de lo que podemos identificar como problema principal la:

* **Escasa presencia de procesos robotizados y automatizados en la producción y los servicios**.

Este problema central se puede entender como consecuencia de diversos factores con índices de complejidad tecnológica y social diversos, en esta dirección hemos identificado los siguiente:

* Causas externas
* Tecnologías automatizables no automatizadas
* Limitaciones en la explotación de tecnologías robotizadas
* Distancia científica y tecnológica de las tendencias mundiales

A continuación, relacionamos los aspectos más relevantes relacionados con los factores relacionados anteriormente.

**Causas externas**

Existen un grupo de factores de la realidad socio política del país que inciden directamente sobre cualquier política de robotización que se intente desarrollar, su modificación nunca estará en manos del eventual grupo de trabajo que se cree para el desarrollo de esta tarea, pero es necesario tenerlos en cuenta a la hora de enfrentar la misión de impulso de la robotización en el país. Resumidamente las podemos enunciar como:

* Pobre incentivo para ahorro de fuerza de trabajo pagada en CUP a partir de automática pagada en CUC.
* Escaso desarrollo de industria manufacturera con una producción asociada a un mercado de pobres índices de calidad.
* Opciones laborales más atractivas salarialmente para el personal calificado fuera de este proyecto.
* Pobre aceptación social de la introducción de tecnologías que puede atentar contra las fuentes de ingreso de los trabajadores: legales (sustitución de puestos de trabajo) o ilegales (mayor control sobre desvíos de recursos).
* Limitado mercado interno de tecnologías para el desarrollo de la automática.

**Tecnologías automatizables no automatizadas**

A lo largo del tiempo se han acumulado, por diversas causas, la tendencia a disponer de tecnología potencialmente automatizable que no están automatizadas. En esta dirección se disponen de sistemas mecánicos vitales desde la era soviética que, aunque poseen excelentes cualidades constructivas, están obsoletos por los sistemas de medición y control. Como ejemplo sirve el caso de las máquinas herramientas. De manera similar se da el caso de sistemas que se construyen en el país, tales como: máquinas de riego de pivote y maquinaria agrícola general, donde no se diseñan ni instalan sistemas automatizados.

Este escenario se complementa con el caso de maquinaria importada con automática incorporada, como las cosechadoras cañeras CASE o máquinas de control numérico, donde las funciones automáticas son utilizadas muy limitadamente o ignoradas completamente.

Modificar esta situación pasa por una limitada disponibilidad de recursos humanos que pueden formase en cursos universitarios cortos o con profesionales de ramas afines.

Resumidamente los factores asociados a ítem serian:

* Tecnologías potencialmente modernizables con automatización
	+ Máquinas de riego de pivote
	+ Máquinas herramientas
	+ Maquinaria agrícola nacional
* Sistemas automatizados no explotados
	+ Cosechadoras cañeras
	+ Máquinas de control numérico
* Limitada actualización técnica de profesionales
* Ausencia de demanda de educación superior corta

Experiencias positivas en esta dirección existen, en la Empresa Valle del Yabú [10] se tiene operativa una máquina de riego de pivote con monitoreo y mando a distancia, se ha demostrado la capacidad de recolectar y procesar la información de los computadores a bordo de las cosechadoras CASE, hay una extensa experiencia de controles de flotas con GPS, etc.

En términos de capacitación de profesionales afines son alentadores los resultados en la actualización de profesionales de la base aérea de Santa Clara y de la Refinería de Cienfuegos, con un positivo impacto en el desarrollo de esas instituciones en el plano de la automatización.

**Limitaciones en la explotación de tecnologías robotizadas**

En un segundo nivel de robotización, mirando a la introducción de sistemas robóticos de servicios u otros sistemas industriales asociados a los procesos inversionistas, existen claras limitaciones, aunque las buenas experiencias no están ausentes.

En la dirección de la explotación de robots móviles la experiencia de Geocuba con drones es reconocible, mientras que en desarrollo completo de estos sistemas de pilotos automáticos en vehículos subacuáticos y otros vehículos por el CIDNAV, en cooperación con la UCLV, es un ejemplo de que, si se puede desarrollar esta tecnología con un elevado nivel de independencia tecnológica, incluyendo los controladores empotrados con soluciones nacionales [11].

En el caso de la robótica médica destacan los trabajos de la Universidad e Oriente [12] en temas de rehabilitación con exoesqueletos.

La estrategia de recursos humanos pasa por evaluar adecuadamente las potencialidades de los planes de pregrado en relación con la robótica y realizar un enfoque hacia las maestrías y la formación de doctores con tareas del sector industrial, donde el trabajo realizado en el laminador de Las Tunas [13] es un ejemplo a destacar.

Resumidamente los factores asociados a ítem serian:

* Robótica móvil en explotación. UAV (Geocuba), AUV (CIDNAV)
* Poca utilización de resultados de las Universidades en la práctica:
* Robótica médica
* CAD/CAM/CAE
* Autopilotos agrícolas
* Sistema productivo de Biocubafarma
* Inversión extranjera
* Escasa formación de masters con poca vinculación a resolver problemas de la industria y los servicios
* Pocos doctorados vinculados a resolver problemas de la industria y los servicios

**Distancia científica y tecnológica de las tendencias mundiales**

Un desarrollo en robótica debe incluir el contacto de los centros de investigación con las tendencias mundiales más importantes en el ramo, es esa dirección de manifiestan evidentes debilidades que pueden resumirse en:

* Pobre contacto con las instituciones científicas punteras en la robótica
* Ausencia de una política científica definida
* Pobre formación de doctores en la materia

Como idea genera consideremos que la robótica es una tecnología constituida de muy notable impacto en la realidad económica y social del mundo, con una influencia creciente. A lo largo del tiempo, instituciones cubanas, principalmente del área del control, han participado con aportes científicos y tecnológicos.

A partir de los problemas identificados en el análisis realizado es posible presentar una estrategia hacia la solución de los mismos, en un alcance proporcional a la magnitud de los recursos humanos y materiales de que se disponga.

**3. Fase de Planificación.**

Sobre la base de los conceptos presentados el epígrafe anterior y las indicaciones del vicepresidente Dr. Roberto Morales Ojeda, emitidas el 22 de febrero, se ha estructurado la fase de planificación para la creación del Grupo de trabajo y desarrollo de la robótica en Cuba con los siguientes conceptos:

**Grupo de trabajo y desarrollo de la robótica en Cuba.**

Atendiendo a que el trabajo del grupo tendrá su esfera de actuación en el ámbito de la tecnología interdisciplinaria conocida como la mecatrónica se define como:

**Objeto de investigación:** Automática y robótica.

**Campo de aplicación:** Sistemas de la producción, los servicios y la sociedad; asociados a sistemas electromecánicos.

**Prioridad del Grupo:**

* Identificar necesidades y potencialidades de elevación de la productividad, eficiencia, calidad de vida, etc., basado en la Automática y robótica.
* Recopilar los principales resultados del país y potenciar su generalización.
* Socializar experiencias positivas.
* Proponer sistemas para la explotación de la tecnología automatizada no explotada.
* Proponer soluciones de modernización automática de sistemas productivos, de servicios y de la sociedad, basados en un análisis de factibilidad.
* Sugerir soluciones para la capacitación del personal.
* Definir una política de capacitación de personal en las tendencias punteras de la temática de cara al futuro de la nación.

**Áreas de interés:**

* Industria manufacturera y de procesos discontinuos.
* Agricultura
* Médica (logística, rehabilitación, cirugía, etc.)
* Logística
* Servicios personales (Envejecimiento, pacientes de tercera edad)

**Principales organismos implicados:**

MES CITMA MINDUS MINFAR (UIM) MINSAP Biocubafarma MINAGRI AZCUBA MINAL MINCOM MINED MINEM MITRANS

**3.1 Fase de Planificación. Lógica de intervención.**

Partiendo de los problemas identificados en la fase de análisis. Consideramos que el sistema de: objetivos, impacto y resultados a esperar, pueden estar estructurado de forma general por la siguiente lógica.

**Impacto del proyecto**

Contribuir a la mejora de la calidad de la producción y los servicios, el aumento de la productividad, el ahorro de energía y materias primas, la humanización del trabajo, el ahorro de fuerza de trabajo y la calidad de vida; a partir de la automatización y robotización de sistemas electromecánicos.

**I. Objetivo General (OG)**

Elevar la presencia de procesos automatizados y robotizados en sistemas electromecánicos de la producción, los servicios y la sociedad.

**III. Resultados (IR)**

IR 1 Son automatizadas y explotadas eficientemente tecnologías automatizables en sistemas electromecánicos.

IR 2 Son explotadas eficientemente tecnologías robotizadas emergentes

IR 3 Se incrementan los procesos de formación y capacitación, así como la formación científica en las tendencias mundiales de la robótica

IR 4 Son identificados y atendidos diferenciadamente los escenarios sociales.

**3.2 Estructura del Grupo Nacional y subgrupos**

Desde la mirada desde el MES el grupo nacional y sus subgrupos estaría vinculado con las experiencias previas de las universidades en temas de la robótica; y la necesidades y potencialidades territoriales.

Cada grupo adaptará el sistema de: objetivos, impacto y resultados a sus condiciones específicas y tendrá como tarea inicial identificar qué actividades son necesarias ejecutar para alcanzar los resultados, a la vez que debe definir alcance e indicadores que permitan evaluar el concepto de resultado vencido.

La lógica de la definición de los subgrupos se ha concebido sobre la base de las definiciones mundiales en la robótica, como quedó expresado en la fase de análisis.

Grupo Nacional de Robótica. Presidido por Ministro de Educación Superior, Dr. José Ramón Saborido Loidi. Apoyado por Dr. Luis Hernández Santana (UCLV) he integrado por los jefes de subgrupos

Subgrupos:

* **Robótica Industrial.** CUJAE. Dra. Ivón Oristela Benítez González.
* **Robots de servicio para uso personal.** UCI. Dr.C. Hassán Lombera Rodríguez
* **Robots de servicio para uso profesional.** UCLV. Dr. Yunier Valeriano Medina, UO, Dr. Roberto Sagaro Zamora, (Salud).
* **Capacitación.** CUJAE. Dr. Roger Misa, Dra. Ana Isabel González Santos.
* **Escenarios sociales**. UCLV. Dra. Anabel Diaz Hurtado

**4. Conclusiones**

**5 Bibliografía**

1. Daily Milanés Hermosilla, Alejandro Castilla Pérez. Generación de trayectorias para el brazo robótico (ArmX). RIELAC, Vol. XXXVII 3/2016 p. 58-71 Septiembre - Diciembre ISSN: 1815-5928
2. A. R. Sartorius Castellanos, L. Hernandez Santana, E. Rubio, I. Santana, y R. Aracil Santonja, "Virtual and remote laboratory for robot manipulator control study," International Journal of Engineering Education, vol. 22, pp. 702-710, 2006 (F.I. JCR: 0.355).
3. Luis Hernandez, Hichem Sahli and Rene Gonzalez (2010). Vision-based 2D and 3D Control of Robot Manipulators, Robot Manipulators Trends and Development, Agustin Jimenez and Basil M Al Hadithi (Ed.), ISBN: 978-953-307-073-5, InTech, Available from: http://www.intechopen.com/books/robot-manipulatorstrends-and-development/vision-based-2d-and-3d-control-of-robot-manipulators
4. Izaguirre, E., Hernández, L., Rubio, E., y Urquijo, O. “Cartesian Control of a 3-DOF Electro-pneumatic Actuated Motion Platform with Exteroceptive Pose Measurement”, International Journal of Advanced Robotic Systems, ISSN:1729-8806, vol. 8, No.4, pp. 120-128, 2011. Disponible en: http://www.intechopen.com/journals/international\_journal\_of\_advanced\_robotic\_systems/cartesian\_control\_of\_a\_3\_dof\_electro\_pneumatic\_actuated\_motion\_platform\_with\_exteroceptive\_pose\_meas
5. Santana, I., Izaguirre, E., Ferre, M., Aracil, R., Hernández, L. "Remote Laboratories for Education and Research Purposes in Automatic Control Systems”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, ISSN: 1551-3203, Volume: PP , Issue: 99 Page(s): 1 Disponible en: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6140966.
6. Alain Martínez, Yidier Rodriguez, Luis Hernández, Carlos Guerra, Jorge Lemus, Hichem Sahli: Diseño de AUV. Arquitectura de hardware y software. Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial (RIAI) 07/2013; 10(3):333–343. DOI:10.1016/j.riai.2013.04.004
7. Alain Martinez, Luis. Hernandez, Hichem. Sahli, Yunier. Valeriano-Medina, Maykel. Orozco-Monteagudo, Delvis. Garcia-Garcia: Model-aided Navigation with Sea Current Estimation for an Autonomous Underwater Vehicle. International Journal of Advanced Robotic Systems 01/2015; 12(103). DOI:10.5772/60415
8. Samy Kharuf, Luis Hernández, Osmany de la Caridad Aday, Irenaldo Delgado Mora, Ruben Orozco: Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, RIELAC, Vol. XXXIX 2/2018 p. 79-91 Mayo – Agosto ISSN: 1815-5928.
9. Norma ISO 8373:2012.
10. Avello-Fernández, L., Izaguirre, E., Vidal, M., Martínez, A., & Hernández, L. (2018). Remote supervision and control . based on wireless technology to operation of central pivot irrigation machine. Sistemas & Telemática, 16 (44), 63-74. doi:10.18046/syt.v16i44.2726
11. Brayan Rodriguez Rueda. Diseño de Autopiloto. Tesis de Maestría. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (2018).
12. Guillermo González Yero Tesis doctoral: Modelado y Control de Nivel en Molde para Vaciado Continuo. UNIVERSIDAD DE ORIENTE (2017).
13. Rodríguez, Ruthber; Sagaró Zamora, Roberto. Kinematic Model of the Scorbot 4PC Manipulator Implemented in Matlab's Guide. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 11, 2018, no. 4, 183 – 199 HIKARI Ltd, [www.m-hikari.com](http://www.m-hikari.com) <https://doi.org/10.12988/ces.2018.8112>.