

# ACTAS

DE LAS

## XXXVIII Jornadas de Automática

Gijón · Palacio de Congresos · 6, 7 y 8 de Septiembre de 2017



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*



**CEA**  
*Comité Español  
de Automática*

Colabora

**Gijón**

Convention Bureau



Actas de

**XXXVIII**

**Jornadas de Automática**

© 2017 Universidad de Oviedo  
© Los autores

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo  
Campus de Humanidades. Edificio de Servicios. 33011 Oviedo (Asturias)  
Tel. 985 10 95 03 Fax 985 10 95 07  
[http: www.uniovi.es/publicaciones](http://www.uniovi.es/publicaciones)  
[servipub@uniovi.es](mailto:servipub@uniovi.es)

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

Todos los derechos reservados. De conformidad con lo dispuesto en la legislación vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reproduzcan o plagien, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo y soporte, sin la preceptiva autorización.

## Prefacio

Las *Jornadas de Automática* se celebran desde hace **40 años** en una universidad nacional facilitando el encuentro entre expertos en esta área en un foro que permite la puesta en común de las nuevas ideas y proyectos en desarrollo. Al mismo tiempo, propician la siempre necesaria colaboración entre investigadores del ámbito de la Ingeniería de Control y Automática, así como de campos afines, a la hora de abordar complejos proyectos de investigación multidisciplinares.

En esta ocasión, las Jornadas estarán organizadas por la Universidad de Oviedo y se han celebrado del 6 al 8 de septiembre de 2017 en el Palacio de Congresos de Gijón, colaborando tanto la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (EPI) como el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica de Computadores y de Sistemas del que depende el Área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Además de las habituales actividades científicas y culturales, esta edición es muy especial al celebrarse el **50 aniversario de la creación de CEA**, Comité Español de Automática. Igualmente este año se conmemora el 60 aniversario de la Federación Internacional del Control Automático de la que depende CEA. Así se ha llevado a cabo la presentación del libro que se ha realizado bajo la coordinación de D. Sebastián Dormido, sobre la historia de la Automática en España en una sesión en la que han participado todos los ex-presidentes de CEA conjuntamente con el actual, D. Joseba Quevedo.

Igualmente hemos contado con la presencia de conferenciantes de prestigio para las sesiones plenarias, comunicaciones y ponencias orales en las reuniones de los 9 grupos temáticos, contribuciones en formato póster. Se ha celebrado también el concurso de CEABOT, así como una nueva Competición de Drones, con el ánimo de involucrar a más estudiantes de últimos cursos de Grado/Máster.

En el marco de las actividades culturales programadas se ha podido efectuar un recorrido en el casco antiguo situado en torno al Cerro de Santa Catalina y visitar la Laboral.

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López  
Presidente del Comité Organizador



## Program Committee

Antonio Agudo	Institut de Robòtica i Informàtica Industrial
Rosa M Aguilar	University of La Laguna.
Luciano Alonso	University of Cantabria
Ignacio Álvarez García	Universidad de Oviedo
Antonio Javier Artuñedo García	Centre for Automation and Robotics (CSIC-UPM)
José M. Azorín	Miguel Hernandez University of Elche
Pedro Balaguer	Universitat Jaume I
Antonio Javier Barragán Piña	Universidad de Huelva
Alfonso Baños	Universidad de Murcia
Guillermo Bejarano	University of Seville
Gerardo Beruvides	Centro de Automática y Robótica
Carlos Bordons	University of Seville
Jose Manuel Bravo	University of Huelva
Jose Luis Calvo-Rolle	University of A Coruña
Fernando Castaño Romero	Centro de Automática y Robótica (UPM -CSIC)
José Luis Casteleiro-Roca	University of Coruña
Alvaro Castro-Gonzalez	Universidad Carlos III de Madrid
Ramon Costa-Castelló	Universitat Politècnica de Catalunya
Abel A. Cuadrado	University of Oviedo
Arturo De La Escalera	Universidad Carlos III de Madrid
Emma Delgado	Universidad de Vigo
Jose-Luis Diez	Universitat Politecnica de Valencia
Manuel Domínguez	Universidad de León
Juan Manuel Escaño	Universidad de Sevilla
Mario Francisco	University of Salamanca
Maria Jesus Fuente	Universidad de Valladolid
Juan Garrido	Universtiy of Cordoba
Antonio Giménez	Universidad de Almeria
Evelio Gonzalez	Universidad de La Laguna
José-Luis Guzmán	Universidad de Almería
Rodolfo Haber	Center for Automation and Robotics (UPM-CSIC)
César Ernesto Hernández	Universidad de Almería
Eloy Irigoyen	UPV/EHU
Agustin Jimenez	Universidad PolitÁcnica de Madrid
Emilio Jiménez	University of La Rioja
Jesus Lozano	Universidad de Extremadura
Jorge Luis Madrid	Centro de Automática y Robótica
Luis Magdalena	Universidad Politécnica de Madrid
David Martin Gomez	Universidad Carlos III de Madrid
Fernando Matia	Universidad Politecnica de Madrid
Joaquim Melendez	Universitat de Girona
Juan Mendez	Universidad de La Laguna
Luis Moreno	Universidad Carlos III de Madrid
María Dolores Moreno Rabel	Universidad de Extremadura
David Muñoz	Universidad de Sevilla
Antonio José Muñoz-Ramirez	Universidad de Málaga
Jose Luis Navarro	Universidad Politecnica de Valencia
Manuel G. Ortega	University of Seville
Andrzej Pawlowski	UNED
Mercedes Perez de La Parte	University of La Rioja
Ignacio Peñarrocha	Universitat Jaume I de Castelló, Spain
José Luis Pitarch	Universidad de Valladolid

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
Miguel Ángel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politecnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politecnica de Valencia (UPV)
José Pedro Santos	ITEFI-CSIC
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Alvaro Serna	University of Valladolid
José Enrique Simó	Universidad Politécnica de Valencia
José A. Somolinos	ETS I Navales. Universidad Politecnica de Madrid
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Alejandro Tapia	Universidad de Loyola Andalucía
David Tena	Universitat Jaume I
Jesús Torres	Universidad de La Laguna
Pedro M. Vallejo	Universidad de Salamanca
Guilherme Vianna	Universidad de Sevilla
Alejandro Vignoni	AI2 - UPV
Ramón Vilanova	UAB
Francisco Vázquez	Universidad de Cordoba
Jesús M. Zamarreño	University of Valladolid

## Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

Balbastre, Patricia  
Beltrán de La Cita, Jorge  
Bermudez-Cameo, Jesus  
Blanco-Claraco, Jose-Luis  
Blanes, Francisco  
Bonin-Font, Francisco

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

Garita, Cesar  
Gimenez, Antonio  
Gruber, Patrick  
Guindel, Carlos

Hernandez Ruiz, Alejandro  
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

Marin, Raul  
Marín Plaza, Pablo  
Mañanas, Miguel Angel  
Morales, Rafael  
Moreno, Francisco-Angel

Núñez, Luis Ramón

Ponz Vila, Aurelio  
Posadas-Yague, Juan-Luis  
Poza-Luján, Jose-Luis  
Pumarola, Albert

Raya, Rafael  
Revestido Herrero, Elías  
Rocon, Eduardo  
Ruiz Sarmiento, José Raúl  
Ruiz, Adria

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor



## Table of Contents

---

<b>Ingeniería de Control</b>	
<hr/>	
TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS .....	1
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN FOTOBIORREACTORES MEDIANTE RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES .....	16
<i>José Carreño, Jose Luis Guzman, José Carlos Moreno and Rodolfo Villamizar</i>	
Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim .....	23
<i>Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado and Miguel Díaz-Cacho</i>	
Maniobra de aterrizaje automática de una Cessna 172P modelada en FlightGear y controlada desde un programa en C .....	31
<i>Mario de La Rosa, Antonio Javier Gallego and Eduardo Fernández</i>	
Alternativas para el control de la red eléctrica aislada en parques eólicos marinos .....	38
<i>Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha, Ricardo Vidal-Albalade and Ester Sales-Setién</i>	
CONTROL PREDICTIVO DISTRIBUIDO UTILIZANDO MODELOS DIFUSOS PARA LA NEGOCIACIÓN ENTRE AGENTES .....	46
<i>Lucía Fargallo, Silvana Roxani Revollar Chavez, Mario Francisco, Pastora Vega and Antonio Cembellín</i>	
Control Predictivo en el espacio de estados de un captador solar tipo Fresnel .....	54
<i>Antonio Javier Gallego, Mario de La Rosa and Eduardo Fernández</i>	
Control predictivo para la operación eficiente de una planta formada por un sistema de desalación solar y un invernadero .....	62
<i>Juan Diego Gil Vergel, Lidia Roca, Manuel Berenguel, Alba Ruiz Aguirre, Guillermo Zaragoza and Antonio Giménez</i>	
Depuración de Aguas Residuales en la Industria 4.0 .....	70
<i>Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Ana María Jiménez Arévalo, Laura Eiroa Mateo and Fco. Javier Fernández-De-Cañete-Rodríguez</i>	
Control robusto con QFT del pH en un fotobioreactor raceway .....	77
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>	
Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos .....	84
<i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3 .....	92
<i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>	
Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...	100
<i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>	

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....	108
<i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>	
Control Predictivo Basado en Datos.....	115
<i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....	122
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	
Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.	130
<i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>	
AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....	138
<i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>	
OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	146
<i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>	
Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....	154
<i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.	160
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>	
Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....	167
<i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>	
Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....	174
<i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>	
An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....	181
<i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>	
Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid.....	189
<i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>	
Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....	197
<i>Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>	
<hr/>	
<b>Automar</b>	
<hr/>	
INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....	203
<i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....	211
<i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>	

Exploración y Reconstrucción 3D de Fondos Marinos Mediante AUVs y Sensores Acústicos .....	218
<i>Oscar L. Manrique Garcia, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
AUTOMATIZACIÓN DE MANIOBRAS PARA UN TEC DE 2GdL .....	226
<i>Marina Pérez de La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro, Rafael Morales Herrera and Eva Segura</i>	
MERBOTS PROJECT: OVERALL DESCRIPTION, MULTISENSORY AUTONOMOUS PERCEPTION AND GRASPING FOR UNDERWATER ROBOTICS INTERVENTIONS .....	232
<i>Pedro J. Sanz, Raul Marin, Antonio Peñalver, David Fornas and Diego Centelles</i>	
<hr/> <b>Bioingeniería</b> <hr/>	
MARCADORES CUADRADOS Y DEFORMACIÓN DE OBJETOS EN NAVEGACIÓN QUIRÚRGICA CON REALIDAD AUMENTADA .....	238
<i>Eliana Aguilar, Oscar Andres Vivas and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	
Entrenamiento robótico de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral: definición de objetivos, propuesta de tratamiento e implementación clínica preliminar .....	244
<i>Cristina Bayón, Teresa Martín-Lorenzo, Beatriz Moral-Saiz, Óscar Ramírez, Álvaro Pérez-Somarriba, Sergio Lerma-Lara, Ignacio Martínez and Eduardo Rocon</i>	
PREDICCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA EN ENTORNOS INTELIGENTES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA .....	251
<i>Arturo Bertomeu-Motos, Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Luis Daniel Lledó, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Sistema de Visión Estereoscópico para el guiado de un Robot Quirúrgico en Operaciones de Cirugía Laparoscópica HALS.....	256
<i>Carlos Castedo Hernández, Rafael Estop Remacha, Eusebio de La Fuente López and Lidia Santos Del Blanco</i>	
Head movement assessment of cerebral palsy users with severe motor disorders when they control a computer thought eye movements.....	264
<i>Alejandro Clemotte, Miguel A. Velasco and Eduardo Rocon</i>	
Diseño de un sensor óptico de fuerza para exoesqueletos de mano.....	270
<i>Jorge Diez Pomares, Andrea Blanco Ivorra, José María Catalan Orts, Francisco Javier Badesa Clemente, José María Sabater and Nicolas Garcia Aracil</i>	
POSIBILIDADES DEL USO DE TRAMAS ARTIFICIALES DE IMAGEN MOTORA PARA UN BCI BASADO EN EEG .....	276
<i>Josep Dinarès-Ferran, Christoph Guger and Jordi Solé-Casals</i>	
EFFECTOS SOBRE LA ERD EN TAREAS DE CONTROL DE EXOESQUELETO DE MANO EMPLEANDO BCI.....	282
<i>Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Arturo Bertomeu-Motos, Luisa Lorente, Nuria Requena, Irene Delegido, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Formulación Topológica Adaptada para la Simulación y Control de Exoesqueletos Accionados con Transmisiones Harmonic Drive.....	288
<i>Andres Hidalgo Romero and Eduardo Rocon</i>	

Identificación de contracciones isométricas de la extremidad superior en pacientes con lesión medular incompleta mediante características espectrales de la electromiografía de alta densidad (HD-EMG) .....	296
<i>Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Joan Francesc Alonso, Carolina Migliorelli and Miguel Ángel Mañanas</i>	
Diseño de una plataforma para analizar el efecto de la estimulación mecánica aferente en el temblor de pacientes con temblor esencial .....	302
<i>Julio S. Lora, Roberto López, Jesús González de La Aleja and Eduardo Rocon</i>	
DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDIDA PRECISA DEL RANGO CERVICAL EMPLEANDO TECNOLOGÍA INERCIAL .....	308
<i>Álvaro Martín, Rafael Raya, Cristina Sánchez, Rodrigo Garcia-Carmona, Oscar Ramirez and Abraham Otero</i>	
SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD.....	313
<i>Víctor Martínez-Cagigal, Javier Gómez-Pilar, Daniel Álvarez, Eduardo Santamaría-Vázquez and Roberto Hornero</i>	
ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA .....	320
<i>Silvia Moreno Serrano, Mario Ortiz and José María Azorín Poveda</i>	
COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA DETECCIÓN ONLINE DE IMAGINACIÓN MOTORA DE LA MARCHA BASADO EN SEÑALES DE EEG .....	328
<i>Marisol Rodríguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS	334
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel</i>	
BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES .....	340
<i>Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz</i>	
Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches .....	347
<i>Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon</i>	
INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN .....	353
<i>Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin</i>	
<hr/>	
<b>Control Inteligente</b>	
<hr/>	
Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico .....	360
<i>Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto</i>	
Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias .....	368
<i>Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo</i>	

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES.....	376
<i>Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar</i>	
Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote. ....	384
<i>G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez</i>	
Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques	393
<i>Daniel Marón Blanco and Matilde Santos</i>	
Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors . . . .	401
<i>Alberto Parra, Martín Dendaluze, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i>	
REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS .	408
<i>Elías Plaza and Matilde Santos</i>	
VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO.....	416
<i>Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco</i>	
BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL.....	424
<i>Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega</i>	
CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES.....	431
<i>Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos</i>	
CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS.....	437
<i>Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz</i>	
<hr/> <b>Educación en Automática</b> <hr/>	
REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL.....	445
<i>Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García</i>	
Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos .....	451
<i>Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA .....	457
<i>Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga</i>	
Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático	465
<i>Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary</i>	

EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D .....	471
<i>Jose Ramon Llata, Esther Gonzalez-Sarabia, Carlos Torre-Ferrero and Ramon Sancibrian</i>	
Desarrollo e implementación de un sistema de control en una planta piloto hibrida.....	479
<i>Maria P. Marcos, Cesar de Prada and Jose Luis Pitarch</i>	
LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES .....	486
<i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González, Eduardo J. Moya de La Torre, Miguel Angel García Blanco, Javier García Ruiz, María Jesús de La Fuente Aparicio, Gregorio Sainz Palmero and Smaranda Cristea</i>	
Ventajas docentes de un flotador magnético para la experimentación de técnicas control ..	495
<i>Eduardo Montijano, Carlos Bernal, Carlos Sagües, Antonio Bono and Jesús Sergio Artal</i>	
PROGRAMACIÓN ATRACTIVA DE PLC .....	502
<i>Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz, Alfonso Poncela Méndez and Victor Barrio Lángara</i>	
MODERNIZACIÓN DE EQUIPO FEEDBACK MS-150 PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL .....	510
<i>Perfecto Reguera Acevedo, Miguel Ángel Prada Medrano, Antonio Morán Álvarez, Juan José Fuertes Martínez, Manuel Domínguez González and Serafín Alonso Castro</i>	
INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL A TRAVÉS DE UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA.....	517
<i>Juan Carlos Ríos, Zaneta Babel, Daniel Martínez, José María Paredes, Luis Alonso, Pablo Hernández, Alejandro García, David Álvarez, Jorge Miranda, Constantino Manuel Valdés and Jesús Alonso</i>	
Aprendiendo Simulación de Eventos Discretos con JaamSim .....	522
<i>Enrique Teruel and Rosario Aragüés</i>	
RED NEURONAL AUTORREGRESIVA NO LINEAL CON ENTRADAS EXÓGENAS PARA LA PREDICCIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA FETAL...	528
<i>Rosa M Aguilar, Jesús Torres and Carlos Martín</i>	
ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES RACEWAYS.....	534
<i>Marta Barceló, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién, Ismael Martín and Jorge Antonio Sánchez</i>	
MODELADO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE FRÍO VINCULADO A UN CICLO DE REFRIGERACIÓN .....	539
<i>Guillermo Bejarano Pellicer, José Joaquín Suffo, Manuel Vargas and Manuel G. Ortega</i>	
Predictor Intervalar basado en hiperplano soporte .....	547
<i>José Manuel Bravo Caro, Manuel Vasallo Vázquez, Emilian Cojocarú and Teodoro Alamo Cantarero</i>	
Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks .....	555
<i>Anibal Galan Prado, Cesar De Prada, Gloria Gutierrez, Rafael Gonzalez and Daniel Sarabia</i>	

APROXIMACIÓN DE MODELOS ALGEBRAICOS MEDIANTE ALAMO Y ECOSIMPRO .....	563
<i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch, Gloria Gutiérrez and Cesar De Prada</i>	
A Causal Model to Analyze Aircraft Collision Avoidance Deadlock Scenarios .....	569
<i>Miquel Àngel Piera Eroles, Julia de Homdedeu, Maria Del Mar Tous, Thimjo Koca and Marko Radanovic</i>	
ONLINE DECISION SUPPORT FOR AN EVAPORATION NETWORK .....	575
<i>José Luis Pitarch, Marc Kalliski, Carlos Gómez Palacín, Christian Jasch and Cesar De Prada</i>	
Predicción de la irradiancia a partir de datos de satélite mediante deep learning .....	582
<i>Javier Pérez, Jorge Segarra-Tamarit, Hector Beltran, Carlos Ariño, José Carlos Alfonso Gil, Aleks Attanasio and Emilio Pérez</i>	
MODELO DINÁMICO ORIENTADO AL TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA LEUCEMIA MIELOIDE CRÓNICA .....	589
<i>Gabriel Pérez Rodríguez and Fernando Morilla</i>	
Modelado y optimización de la operación de un sistema de bombeo de múltiples depósitos	596
<i>Roberto Sanchis Llopis and Ignacio Peñarrocha</i>	
DEVELOPMENT OF A GREY MODEL FOR A MEDIUM DENSITY FIBREBOARD DRYER IN ECOSIMPRO .....	604
<i>Pedro Santos, Jose Luis Pitarch and César de Prada</i>	
DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FALLOS MEDIANTE MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS FECHAS DE LIMPIEZA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS .....	611
<i>Jorge Segarra-Tamarit, Emilio Pérez, Hector Beltran, Enrique Belenguer and José Luis Gandía</i>	
Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras .....	618
<i>Alejandro Tapia Córdoba, Pablo Millán Gata, Fabio Gómez-Estern Aguilar, Carmelina Ierardi and Álvaro Rodríguez Del Nozal</i>	
FRAMEWORK PARA EL MODELADO DE UN LAGO DE DATOS .....	626
<i>J.M Torres, R.M. Aguilar, C.A. Martin and S. Diaz</i>	
SIMULADOR CARDIOVASCULAR PARA ENSAYO DE ROBOTS DE NAVEGACION AUTONOMA .....	633
<i>José Emilio Traver, Juan Francisco Ortega Morán, Ines Tejado, J. Blas Pagador, Fei Sun, Raquel Pérez-Aloe, Blas M. Vinagre and F. Miguel Sánchez Margallo</i>	
PLANIFICACION DE LA PRODUCCION BASADA EN CONTROL PREDICTIVO PARA PLANTAS TERMOSOLARES .....	641
<i>Manuel Jesús Vasallo Vázquez, José Manuel Bravo Caro, Emilian Cojocarú and Manuel Emilio Gegundez Arias</i>	
Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía .....	649
<i>Ascensión Zafra Cabeza, Rafael Espinosa, Miguel Àngel Ridao Carlini and Carlos Bordóns Alba</i>	
Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab .....	657
<i>Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya, Àlvaro Castro-Gonzalez, Juan José Gamboa, Marcos Maroto Gómez, Sara Marqués Villaroya, Antonio J. Pérez Vidal and Miguel Àngel Salichs</i>	

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE MANO ADAPTABLE AL CRECIMIENTO .....	664
<i>Marta Ayats and Raul Suarez</i>	
COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS .....	672
<i>Brayan Bermudez, Kristel Novoa and Miguel Valbuena</i>	
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA SOPORTE DE CARGAS .....	680
<i>Andrea Blanco Ivorra, Jorge Diez Pomares, David Lopez Perez, Francisco Javier Badesa Clemente, Miguel Ignacio Sanchez and Nicolas Garcia Aracil</i>	
Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo .....	686
<i>Raúl Cebolla Arroyo, Jorge De Leon Rivas and Antonio Barrientos</i>	
USING AN UAV TO GUIDE THE TELEOPERATION OF A MOBILE MANIPULATOR .....	694
<i>Josep Arnau Claret and Luis Basañez</i>	
Estudio de los patrones de marcha para un robot hexápodo en tareas de búsqueda y rescate .....	701
<i>Jorge De León Rivas and Antonio Barrientos</i>	
SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL .....	709
<i>Mario Domínguez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez GarcÍa-Bermejo and Samuel Marcos Pablos</i>	
Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos .....	717
<i>David Fernández Chaves, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado táctil en robots sociales .....	724
<i>Juan José Gamboa, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo, Marcos Maroto Gómez and Miguel A. Salichs</i>	
Clasificación de información táctil para la detección de personas .....	732
<i>Juan M. Gandarias, Jesús M. Gómez-De-Gabriel and Alfonso García-Cerezo</i>	
Planificación para interceptación de objetivos: Integración del Método Fast Marching y Risk-RRT .....	738
<i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
ESTABILIZACIÓN DE UNA BOLA SOBRE UN PLANO UTILIZANDO UN ROBOT PARALELO 6-RSS .....	746
<i>Daniel González, Lluís Ros and Federico Thomas</i>	
TELEOPERACIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS ARTICULADOS .....	754
<i>Ana Gómez Delgado, Carlos Perez-Del-Pulgar, Antonio Reina Terol and Victor Muñoz Martinez</i>	
CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR TRANSPORTING OBJECTS BASED ON NEURO-FUZZY LEARNING VISUAL INFORMATION .....	760
<i>Juan Hernández Vicén, Santiago Martínez de La Casa Díaz and Carlos Balaguer</i>	
PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO .....	766
<i>Carlos G. Juan, Jose Maria Vicente, Alvaro Garcia and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	

Estimadores de fuerza y movimiento para el control de un robot de rehabilitación de extremidad superior.....	772
<i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Asier Brull</i>	
Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste .....	780
<i>Marcos Maroto Gómez, José Carlos Castillo, Fernando Alonso-Martín, Juan José Gamboa, Sara Marqués Villarroya and Miguel Ángel Salichs</i>	
Interfaces táctiles para Interacción Humano-Robot .....	787
<i>Sara Marqués Villarroya, Jose Carlos Castillo Montoya, Fernando Alonso Martín, Marcos Maroto Gómez, Juan José Gamboa and Miguel A. Salichs</i>	
<b>HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO .....</b>	<b>793</b>
<i>Hector Montes, Roemi Fernandez, Pablo Gonzalez de Santos and Manuel Armada</i>	
Control a Baja Velocidad de una Rueda con Motor de Accionamiento Directo mediante Ingeniería Basada en Modelos .....	799
<i>Antonio José Muñoz-Ramírez, Jesús Manuel Luque-Bedmar, Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Anthony Mandow, Javier Serón and Alfonso Garcia-Cerezo</i>	
<b>SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS .....</b>	<b>806</b>
<i>Cándido Otero Moreira, Enrique Paz Domonte, Rafael Sanz Dominguez, Joaquín López Fernández, Rafael Barea, Eduardo Romera, Eduardo Molinos, Roberto Arroyo, Luís Miguel Bergasa and Elena López</i>	
Cinemática y prototipado de un manipulador paralelo con centro de rotación remoto para robótica quirúrgica.....	814
<i>Francisco Pastor, Juan M. Gandarias and Jesús M. Gómez-De-Gabriel</i>	
<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....</b>	<b>821</b>
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
<b>INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL .....</b>	<b>829</b>
<i>Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio and Antonio Barrientos</i>	
Evolución de la robótica social y nuevas tendencias.....	836
<i>Antonio J. Pérez Vidal, Alvaro Castro-Gonzalez, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya and Miguel A. Salichs</i>	
<b>DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO .....</b>	<b>844</b>
<i>Irene Rivas-Blanco, M Carmen López-Casado, Carlos Pérez-Del-Pulgar, Francisco García-Vacas, Víctor Fernando Muñoz, Enrique Bauzano and Juan Carlos Fraile</i>	
<b>CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....</b>	<b>852</b>
<i>Francisco Abiud Rojas-De-Silva and Raul Suarez</i>	
Modelado del Contexto Geométrico para el Reconocimiento de Objetos.....	860
<i>José Raúl Ruiz Sarmiento, Cipriano Galindo and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Estimación Probabilística de Áreas de Emisión de Gases con un Robot Móvil Mediante la Integración Temporal de Observaciones de Gas y Viento .....	868
<i>Carlos Sanchez-Garrido, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	

MANIPULADOR AÉREO CON BRAZOS ANTROPOMÓRFICOS DE ARTICULACIONES FLEXIBLES .....	876
<i>Alejandro Suarez, Guillermo Heredia and Anibal Ollero</i>	
EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS .....	864
<i>David Vargas Frutos, Juan Carlos Ramos Martínez, José Luis Samper Escudero, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre Pérez</i>	

---

### Sistemas de Tiempo Real

---

GENERACIÓN DE CÓDIGO IEC 61131-3 A PARTIR DE DISEÑOS EN GRAFCET....	892
<i>María Luz Alvarez Gutierrez, Isabel Sarachaga Gonzalez, Arantzazu Burgos Fernandez, Nagore Iriondo Urbistazu and Marga Marcos Muñoz</i>	
CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA .....	900
<i>Francisco Blanes Noguera and Andrés Benlloch Faus</i>	
Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta .....	906
<i>Alfons Crespo, Patricia Balbastre, Jose Simo and Javier Coronel</i>	
GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES .....	913
<i>Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernandez and Marga Marcos</i>	
DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta .....	921
<i>Hector Perez and J. Javier Gutiérrez</i>	
ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR .....	929
<i>Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yaguë, Giovanni-Javier Tipantuña-Topanta, Francisco Abad and Ramón Mollá</i>	
Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles .....	935
<i>Rafael Priego, Elisabet Estévez, Dario Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido .....	942
<i>Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes</i>	

---

### Visión por Computador

---

Real-Time Image Mosaicking for Mapping and Exploration Purposes .....	948
<i>Abdulla Al-Kaff, Juan Camilo Soto Triviño, Raúl Sosa San Frutos, Arturo de La Escalera and José María Armingol Moreno</i>	
ALGORITMO DE SLAM UTILIZANDO APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES .....	956
<i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jiménez, Sergio Cebollada and Oscar Reinoso</i>	
Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopletismográfica.....	964
<i>Juan-Carlos Cobos-Torres, Jordan Ortega Rodríguez, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>	
Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperación de robots humanoides.....	970
<i>Juan Miguel Garcia Haro and Santiago Martinez de La Casa</i>	

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE ROSTROS EN IMÁGENES DIGITALES .....	976
<i>Natalia García Del Prado, Victor Gonzalez Castro, Enrique Alegre and Eduardo Fidalgo Fernández</i>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL .....	983
<i>Manuel Ibarra-Arenado, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla-Gómez and Juan Pérez-Oria</i>	
Oculus-Crawl, a Software Tool for Building Datasets for Computer Vision Tasks .....	991
<i>Iván De Paz Centeno, Eduardo Fidalgo Fernández, Enrique Alegre Gutiérrez and Wesam Al Nabki</i>	
Clasificación automática de obstáculos empleando escáner láser y visión por computador ..	999
<i>Aurelio Ponz, Fernando Garcia, David Martin, Arturo de La Escalera and Jose Maria Armingol</i>	
T-SCAN: OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS CON COLOR Y TEMPERATURA EN INTERIOR DE EDIFICIOS .....	1007
<i>Tomás Prado, Blanca Quintana, Samuel A. Prieto and Antonio Adan</i>	
EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA REALIZAR RESÚMENES AUTOMÁTICOS DE VÍDEOS .....	1015
<i>Pablo Rubio, Eduardo Fidalgo, Enrique Alegre and Víctor González</i>	
SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS .	1023
<i>Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Ines Tejado and Blas M. Vinagre</i>	
Calibración Extrínseca de un Conjunto de Cámaras RGB-D sobre un Robot Móvil .....	1031
<i>David Zúñiga-Nöel, Rubén Gómez Ojeda, Francisco-Ángel Moreno and Javier González Jiménez</i>	

# PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB® Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO

Carlos G. Juan, Álvaro García, Jose M. Vicente, Jose M. Sabater-Navarro  
 Grupo de Neuroingeniería Biomédica de la Universidad Miguel Hernández de Elche, Av. Universidad, s/n,  
 03202, Elche, España  
[j.sabater@umh.es](mailto:j.sabater@umh.es)

## Resumen

*En este artículo se presenta una propuesta docente basada en una plataforma compuesta por Matlab® y ROS desarrollada en la asignatura “Robótica de Servicio” en la titulación de Máster Universitario en Ingeniería Industrial de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Se ha preparado un proceso práctico en el que se introduce al alumno en el desarrollo de algoritmos de navegación, así como la interacción con los sistemas sensoriales del robot y sus actuadores. La componente innovadora se encuentra en el uso de una herramienta previamente conocida por el alumno (Matlab®) integrada con una plataforma más compleja y realista (ROS) para poder ofrecer la formación práctica adecuada con los recursos habituales.*

**Palabras Clave:** Robótica, docencia, navegación, simulación

## 1 INTRODUCCIÓN

El entorno de desarrollo Matlab® [3] es una herramienta optimizada para la computación numérica ampliamente utilizada en múltiples ámbitos de la ingeniería, matemáticas, física, y diversas ciencias experimentales, especialmente en entornos académicos e investigadores. Ofrece una elegante y conveniente combinación de facilidad de programación, rapidez de desarrollo, modularidad e integración con una gran variedad de plataformas, circunstancia que justifica su extendido uso, sobre todo en universidades y centros de investigación.

Por otro lado, ROS (*Robot Operation System*) [5] es una plataforma de código abierto que presenta una adecuada recopilación de herramientas para el desarrollo de software para robótica. Está orientada al control de robots y la comunicación entre los diferentes módulos de un sistema robótico.

Una de las mayores ventajas de este sistema es que ROS define los diferentes procesos involucrados en un proyecto como nodos software, los cuales pueden

enviar, recibir y multiplexar datos fácilmente. Esto se puede realizar de manera periódica y automática desde nodos servidor a nodos subscriptor (mediante *topics*) o de forma aislada bajo petición de nodos cliente a nodos servidor (mediante *services*).

La robótica es una asignatura que está ganando presencia en los ámbitos formativos a pasos agigantados, y su carácter técnico, actualizado e innovador abre el debate sobre la mejor manera de enseñarla [2]. En este sentido, la innovación docente se postula como imprescindible, y es conveniente revisar las propuestas más recientes, e.g. [1], [6]. Esta innovación no sólo se da en la forma de la docencia, también en los recursos y su optimización, puesto que no siempre se cuenta con el equipamiento necesario. En este ámbito, el uso de simuladores a menudo se presenta como la mejor solución [4].

Este trabajo presenta una estrategia didáctica innovadora que combina ROS con Matlab® para la docencia de la robótica en la asignatura Robótica de Servicio del Máster Universitario en Ingeniería Industrial [7]. La robótica es una disciplina joven en constante evolución y actualización, y el uso de ROS es cada vez más extendido debido a sus numerosas ventajas. Sin embargo, es una plataforma compleja basada en Linux, y dar una correcta formación a los alumnos en este sentido requiere un tiempo y unos recursos de los que no se dispone en los programas educativos habituales.

No obstante, desde la versión R2015a Matlab® cuenta con los comandos de ROS integrados si se instala la MathWorks Robotics System Toolbox. Esto permite que los alumnos puedan interactuar con plataformas ROS desde Matlab®, un sistema que conocen y con el que se sienten cómodos, eliminando así esta necesidad de formación previa y permitiendo centrar el curso en la docencia de la robótica.

En el presente artículo se expone el proceso docente propuesto y los resultados de su aplicación. En el Apartado 2 se detallan las herramientas utilizadas y se describe la plataforma empleada, el entorno de simulación y el modelo del robot considerado. En el apartado 3 se narra la implementación del proceso

docente, mientras que en el Apartado 4 se exponen los resultados obtenidos. Por último, el apartado 5 ofrece las conclusiones y consideraciones oportunas.

## 2 DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS

Como se ha comentado, para poder implementar la integración de ROS y Matlab® es necesario contar con la versión 2015a (o posterior) del software de computación numérica. Este software fue instalado en ordenadores con sistema operativo Windows® por comodidad de cara al alumnado. Por otro lado, ROS se ejecuta sobre una distribución de Linux, en nuestro caso Ubuntu 14.04 LTS con ROS Indigo Igloo.

Para conectar ambas plataformas lo más cómodo es dotar a la unidad Linux de una dirección IP fija. Así, se cuenta con tantas unidades de Matlab® como requiera el proceso docente, basta con establecer la comunicación con el servidor ROS mediante UDP, asegurándose de que todas las unidades se encuentran en la misma área local.

Además, en el escenario ideal para ofrecer unas prácticas satisfactorias de un curso de robótica, los alumnos deberían manejar un robot real mediante nuestra plataforma. Sin embargo, por una simple cuestión de limitación de recursos, no resulta viable tener tantas unidades robóticas como alumnos. Así, en el sistema operativo ROS se ha integrado el simulador gratuito Gazebo, para simular el comportamiento de un determinado robot en un escenario real. En la Figura 1 se puede ver un esquema del sistema propuesto.

A continuación se presenta el entorno de simulación escogido para fines docentes así como el robot simulado con el fin de poner en práctica los conceptos vistos en el curso.

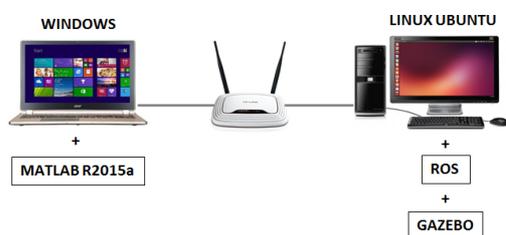


Figura 1: Esquema del sistema propuesto

### 2.1 ENTORNO DE SIMULACIÓN GAZEBO

Gazebo es un simulador gratuito que encuentra su mayor campo de aplicación en el diseño de robots. Concretamente, ofrece la posibilidad de modelar con precisión y efectividad poblaciones de robots con

cualquier configuración en entornos complejos, tanto de interior como de exterior.

El simulador está basado en herramientas open source. La física está fundamentada en la dinámica del sólido-rígido mediante recursos como ODE o Bullet. El renderizado gráfico se realiza mediante OpenGL (OGRE) y las interfaces cuentan con plugins e IPCs basados en Google Protobuf y Boost ASIO. En cuanto a las interfaces de usuario, son de tipo GUI por comodidad, basadas en plataformas como QT o CEGUI. A continuación se puede observar un esquema de la arquitectura principal de Gazebo.

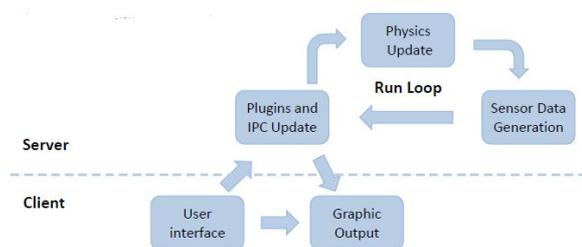


Figura 2: Arquitectura del simulador Gazebo

Las posibilidades que ofrece Gazebo para sus entornos son muy variadas. Se distinguen diversos tipos de elementos de manera jerárquica, como sensores que pueden recoger datos externos de otro dispositivo, objetos visuales que conforman los gráficos u objetos de colisión, que definen superficies que no pueden ser rebasadas. En un nivel superior se definen los enlaces, que combinan objetos visuales y de colisión, y articulaciones, que definen restricciones entre diferentes enlaces. Por encima se encuentran los modelos, que recopilan enlaces, articulaciones y sensores. Por último, los mundos reúnen modelos, configuraciones para los elementos de luz y propiedades globales.

La conveniencia de Gazebo es su integración con ROS. Para acceder a la interfaz de uso de ROS con el simulador Gazebo hay que instalar los paquetes correspondientes, los cuales se encuentran en la librería GAZEBO\_ROS\_PKGS. Con esto se puede enviar y recibir estructuras de datos para interactuar con Gazebo desde ROS o establecer sensores, motores y componentes dinámicos reconfigurables en Gazebo, entre otras funcionalidades.

### 2.2 ROBOT PIONEER DX-2

Como se ha comentado anteriormente, aunque lo deseable en un curso de robótica es enriquecer la formación ofrecida mediante su aplicación en robots y entornos reales, las limitaciones de recursos a menudo obligan a buscar soluciones alternativas, con frecuencia basadas en la simulación.

En el proceso docente presentado se proporciona a los discentes un determinado escenario en el que se ha posicionado un robot, mediante el entorno de simulación Gazebo. El objetivo fundamental es que los alumnos realicen la comunicación adecuada con el robot para implementar el control mediante Matlab®, y así poder aplicar los conceptos estudiados mediante un entorno sencillo y que les es familiar, sin la necesidad de invertir un tiempo del que no se dispone en enseñarles ROS. El robot escogido para tal fin es el Pioneer DX-2, el cual se puede ver en la Figura 3.



Figura 3. Robot Pioneer DX-2

Se trata de un robot comúnmente empleado en la educación y la formación en robótica, debido a su sencillez y facilidad de uso. Cuenta con dos ruedas motrices con motores independientes más una tercera rueda pasiva de apoyo. El control independiente de las ruedas motrices le permite girar y desplazarse en cualquier dirección. En la Figura 4 aparece un esquema de la parte inferior donde se aprecia esta configuración.

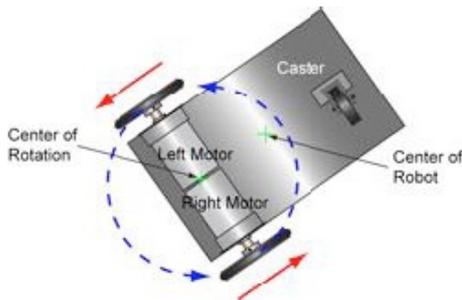


Figura 4. Esquema de la parte inferior del robot

El robot presenta una anchura máxima (de rueda a rueda) de 0.39 m (0.277 m sin las ruedas) y una longitud de 0.445 m. Las ruedas motrices tienen un diámetro de 0.22 m y están separadas 0.3 m de la rueda de apoyo.

En cuanto a los sensores, este robot habitualmente cuenta con anillos de sonares tanto en la parte delantera como en la trasera (como se puede apreciar en la Figura 3). No obstante, como en esta ocasión el robot se modela en un entorno de simulación, con fines docentes se han sustituido los sonares por un sensor láser Hokuyo 2D, el cual proporcionará la información necesaria sobre los obstáculos que se presentan en el entorno cercano del robot, y por tanto permitirá su control y navegación. En la Figura 5 se

muestra un ejemplo del funcionamiento del sensor láser Hokuyo 2D simulado en Gazebo.

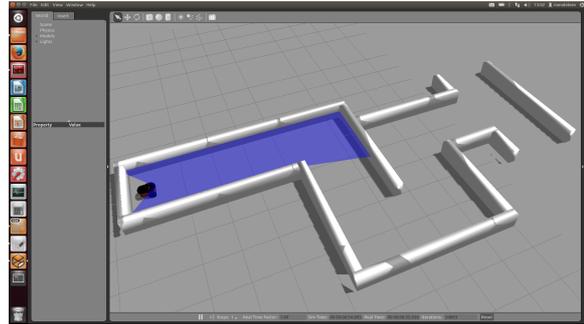


Figura 5. Sensor láser Hokuyo 2D simulado en Gazebo

La figura siguiente muestra el esquema rqt de las comunicaciones entre Matlab y Gazebo para la ejecución de la practica.

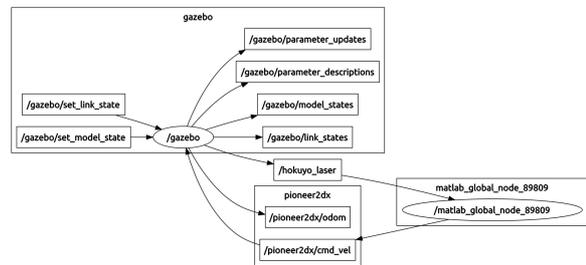


Figura 6. Esquema rqt

Como ejemplo, se muestra parte del código del fichero .sdf de definición del modelo del robot Pioneer DX-2.

```
<?xml version='1.0'?>
<sdf version='1.4'>
  <model name="mobile_base">
    <link name='chassis'>
      <pose>0 0 .25 0 0 0</pose>

      <inertial>
        <mass>20.0</mass>
        <pose>-0.1 0 -0.1 0 0 0</pose>
        <inertia>
          <ixx>0.5</ixx>
          <iyy>1.0</iyy>
          <izz>0.1</izz>
        </inertia>
      </inertial>

      <collision name='collision'>
        <geometry>
          <box>
            <size>2 1 0.3</size>
          </box>
        </geometry>
      </collision>

      <visual name='visual'>
        <geometry>
          <box>
            <size>2 1 0.3</size>
          </box>
        </geometry>
      </visual>

    </link>
  </model>
</sdf>
```

### 3 PROPUESTA DOCENTE

Paralelamente al desarrollo teórico del curso, se ha desarrollado la componente práctica mediante la plataforma ROS-Matlab® propuesta y el simulador Gazebo con el modelo del robot Pioneer DX-2 con sensor láser Hokuyo 2D con fines ilustrativos. Tras unas primeras sesiones de aproximación a la plataforma consistentes en sencillos ejercicios, se ha ideado una práctica basada en proyecto por grupos de 2 o 3 alumnos para resolver un caso realista, la cual ha sido el fundamento de la evaluación del curso.

Concretamente, al alumnado se le ha presentado un entorno que modela un laberinto, en cuyo interior se ha posicionado el modelo del robot escogido. Las tareas a realizar consisten en establecer la correcta comunicación con el robot a través de Matlab® (mediante los comandos de MathWorks Robotics System Toolbox), para obtener la información del sensor láser y de la posición y orientación actuales del robot, identificar la configuración del entorno e implementar el control del robot de manera que pueda avanzar e ir navegando hasta que consiga salir del laberinto, y enviar los datos correspondientes a los actuadores del robot. En la Figura 5 se puede apreciar una captura del entorno propuesto con el robot en su interior, mientras que en la Figura 7 aparece el esquema del flujo de la información propuesto.

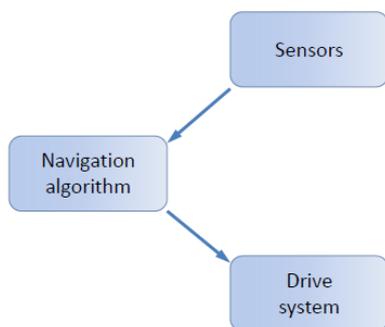


Figura 7. Flujo de la información

Para implementar el algoritmo de navegación, el software desarrollado por los alumnos en el entorno Matlab® debe subscribirse a los *topics* de ROS /hokuyo\_laser y /pioneer2dx/odom. En el primero de ellos se publican los valores tomados por el sensor láser, mientras que en el segundo se publican la posición y orientación actuales del robot. Además, el software debe publicar un nuevo *topic*, pioneer2dx/cmd\_vel, con los comandos para el movimiento del robot. A este *topic* debe estar suscrito el modelo del robot en Gazebo.

Los comandos para el movimiento del robot se componen de dos velocidades, una lineal (desplazamiento hacia delante) y una angular (giro hacia derecha o izquierda). Dado que solo hay dos ruedas directrices y cada una tiene un motor independiente, estableciendo los valores y los signos

adecuados para cada una de estas dos velocidades se puede conseguir que el robot se desplace en cualquier dirección y sentido. Como medida de seguridad, se establece que las velocidades jamás podrán ser superiores a 1 m/s (lineal) o 1 rad/s (angular).

En cuanto al laberinto, se proporciona una primera versión a los discentes para que puedan elaborar su proyecto e ir comprobando el funcionamiento, corrigiendo errores y optimizando el software. El laberinto se simula en Gazebo y se garantiza que la anchura de los pasillos es de 2 m, desde una pared hasta la opuesta. Además, se asegura que para resolverlo tan solo será necesario implementar giros tanto a derecha como a izquierda de 90°, intersecciones en T o cambios de sentido (giros de 180°).

Un video con la demostración del ejemplo mostrado a los alumnos puede verse en:

<https://youtu.be/SSGLPlawTm4>

Tras las correspondientes sesiones para el desarrollo de los proyectos, se realiza la evaluación. Para ello, cada grupo debe realizar una presentación oral en la que exponga el trabajo realizado, prestando especial atención al algoritmo de navegación y las comunicaciones Matlab®-ROS implementadas. En estas presentaciones se valora positivamente el uso de gráficos ilustrativos, así como el diseño modular del software, desglosando el algoritmo en subfunciones.

Seguidamente, el sistema diseñado por cada grupo será puesto en práctica en un nuevo entorno con un laberinto diferente (hasta el momento desconocido por los alumnos). En esta etapa se valorará la efectividad de los sistemas desarrollados a la hora de salir del laberinto, el número de colisiones con las paredes y, con especial interés, el tiempo que tarda cada robot en salir del laberinto. Se premiará al grupo que consiga salir en menor tiempo.

### 4 RESULTADOS

En el curso han participado un total de 17 alumnos, por lo que para la evaluación se han configurado 7 grupos: 4 grupos de 2 alumnos y 3 grupos de 3 alumnos. En términos generales, los trabajos presentados han sido satisfactorios, todos los grupos han desarrollado su algoritmo de navegación y han intentado darle el carácter modular buscado, aunque no todos han tenido éxito en la ejecución. Por otro lado, las comunicaciones Matlab®-ROS se han llevado a cabo correctamente en la totalidad de los casos, tal y como perseguía uno de los objetivos principales de esta propuesta.

En la figura 8 se muestra parte del código Matlab generado por un equipo de estudiantes para la

navegación del robot ejemplo en un laberinto con las características del laberinto planteado:

```
function Robot

    % Creation of the node with a custom name
    TestNode = robotics ros.Node('Robot');

    % Creation of the subscribers with the name of the
    topics (first parameter)
    % and the message format (second parameter). A
    different subscriber is
    % needed for each topic
    Laser = rossubscriber('hokuyo_laser',
    'sensor_msgs/LaserScan');
    %Posicion = rossubscriber('pioneer2dx/odom',
    'nav_msgs/Odometry');

    % Creation of the publisher with the name of the new
    topic (first parameter)
    % and the message format (second parameter). As for
    the subscribers, a
    % different publisher is needed for each new topic
    Movimiento = rospublisher('pioneer2dx/cmd_vel',
    'geometry_msgs/Twist');

    % Infinite loop to maintain active the data exchange
    while(1)

        % Creation of the input messages and reception
        of the entry data
        InputMessage1 = receive(Laser);
        %InputMessage2 = receive(Posicion);

        % Algoritmo de Navegacion
        Rango = InputMessage1.Ranges;
        %
        Pose = InputMessage2

        FRONT = 0;
        for(i=283:358)
            if Rango(i)<1.25%0.7775
                FRONT = 1;
            end
        end

        <...>

        if(FRONT==0)
            % Creation of the output message and filling
            of the variables
            OutputMessage = rosmesssage(Movimiento);
            OutputMessage.Linear.X = 0.5;
            OutputMessage.Angular.Z = 0;
            if(RIGHT3==0)

        <...>

        % Sending the message
        send(Movimiento, OutputMessage);

        end
    end
end
```

Figura 8. Código Matlab propuesto por un grupo de alumnos

Por ejemplo, uno de los algoritmos de navegación presentados consistía en la obtención de las distancias del robot a las paredes laterales y frontal. Así, la distancia a la pared frontal se evaluaba y se comprobaba si se encontraba por debajo de un valor umbral (0.7775 m, para intentar mantener el robot centrado con respecto al resto de paredes). En caso negativo se permitía el avance frontal, mientras que en caso positivo se detenía el robot y se evaluaba si la distancia a la pared derecha era superior a 2 m, lo que

suponía que no había obstáculos a la derecha. En este caso, se iniciaba la rotación hacia la derecha. En caso negativo, se realizaba el mismo proceso respecto de la pared izquierda. En el caso de no encontrar libre ninguna dirección, se permitía el giro a la derecha para buscar otra posición. Todas estas rotaciones se mantenían hasta que la distancia a la pared frontal superaba el valor umbral establecido. En la Figura 9 se puede apreciar el diagrama de flujo propuesto por los alumnos., y en la Figura 10 se muestra una captura de pantalla de su robot resolviendo el laberinto inicial.

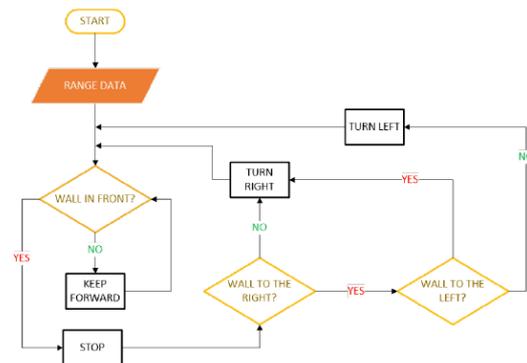


Figura 9. Diagrama de flujo propuesto por un grupo de alumnos

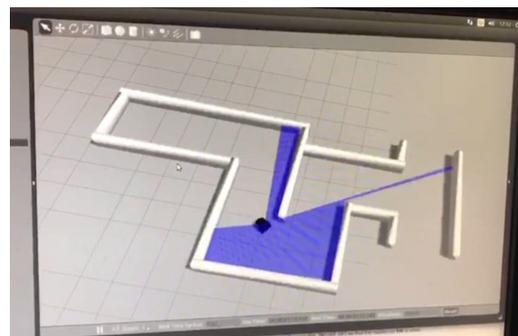


Figura 10. Captura de pantalla del robot resolviendo el laberinto inicial

En cuanto a la evaluación del funcionamiento de los sistemas desarrollados en un laberinto desconocido, los resultados obtenidos han sido variados. Cinco grupos consiguieron salir del laberinto con diferentes tiempos y números de colisiones, mientras que los algoritmos de dos de los grupos produjeron fallos de ejecución a lo largo de la prueba que les impidieron lograr el objetivo, en ambos casos en un punto del recorrido en el que se requería un giro de 180°, en el que el robot entró en un bucle de giro continuo. En la Tabla 1 se muestra un resumen de los resultados del proceso de evaluación.

Tabla 1: Resultados de la evaluación

Grupo	Conseguido	Colisiones	Tiempo (s)
1	SÍ	1	52
2	SÍ	0	45
3	NO	-	-
4	SÍ	0	43
5	SÍ	5	73
6	SÍ	1	58
7	NO	-	-

## 5 CONCLUSIONES

A la vista de los resultados expuestos, la valoración de la propuesta docente es positiva. La robótica es una disciplina que aúna una considerable carga teórica con una fuerte componente práctica, siendo la segunda imprescindible para la correcta comprensión de la primera. En este artículo se ha presentado una propuesta para solventar los problemas de recursos materiales y temporales a los que el ámbito docente tiene que hacer frente con más frecuencia de la deseable, y los resultados han mostrado un alto grado de consecución de los objetivos que lleva implícito un resultado satisfactorio del proceso docente.

Es de destacar la motivación extra que generan en el alumnado este tipo de propuestas, que consiguen acercarlo al entorno más realista posible sin requerirle un esfuerzo excesivo, y le permite centrarse en las enseñanzas propias del curso. Además, la componente competitiva siempre es un aliciente para todos los participantes, quienes se implican más y se interesan en mayor grado por todos los aspectos del curso. El hecho de poder ofrecer una formación práctica ajustada a los conceptos del curso que el alumno lleva a cabo mediante una herramienta que conoce y domina como es Matlab® y que le incita mayor participación y motivación es muy recomendable.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer la financiación recibida por parte del Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto DPI2013-47196-C3-2. Carlos G. Juan quiere expresar su gratitud al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte por la financiación recibida a través del programa de Formación de Profesorado Universitario (FPU) en su convocatoria de 2014, mediante la solicitud FPU14/00401.

### Referencias

- [1] Agostini, A., Torras, C. y Wörgötter, F., (2017) “Efficient interactive decision-making framework for robotic applications”, *Artificial Intelligence*, vol. 247, pp. 187-212.
- [2] Kucuk, S. y Sisman, B., (2017) “Behavioral patterns of elementary students and teachers in one-to-one robotics instruction”, *Computer and Education*, vol. 111, pp. 31-43.
- [3] MathWorks, (2017) Matlab. En línea: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: 25 mayo 2017].
- [4] Plaza, J., Quevedo, M. y Matellán, V., (2009) “Use of simulators in the teaching of mobile robotics [Uso de simuladores en docencia de robótica móvil]”, *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 4, nº 4, pp. 268-277.
- [5] ROS, (2017) ROS. En línea: <http://www.ros.org/>. [Último acceso: 25 mayo 2017].
- [6] Sooraksa, P., Sakornthanant, S., Jansri, A. y Klomkarn, K., (2016) “Tree robot: An innovation for STEAM education”, *IEEE International Conference on Real-Time Computing and Robotics, RCAR*, Angkor Wat, Camboya, pp. 338-341.
- [7] Universidad Miguel Hernández, (2017) Robótica de Servicio. En línea: [http://www.umh.es/contenido/pdi/asi\\_m\\_2987/datos\\_es.html](http://www.umh.es/contenido/pdi/asi_m_2987/datos_es.html). [Último acceso: 25 mayo 2017].