

# 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 Politécnic 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
MiguelÁngel 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

Nuñez, 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>	
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 Rodriguez-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, Darío 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>	

# Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido

José-Enrique Simó-Ten, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë, Francisco Blanes  
 Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2)  
 Universitat Politècnica de València (UPV).  
 Camino de vera, s/n. 46022 Valencia (Spain)  
 jsimo@ai2.upv.es, jopolu@ai2.upv.es, jposadas@ai2.upv.es, pblanes@ai2.upv.es

## Resumen

*En este artículo se presenta un Middleware (CKMultipeer) desarrollado específicamente para la implementación de sistemas de control distribuido. El objetivo de este desarrollo es disponer de un sistema sencillo, con buenas propiedades sobre el que se puedan ensayar diferentes modelos de implementación tanto de las comunicaciones como de la ejecución de tareas. El Middleware desarrollado, además de permitir profundizar con implementaciones reales y diferentes estructuras de ejecución, se ha utilizado con éxito para la realización de diversas aplicaciones prácticas como es el caso de robots modulares que se han construido por agregación de componentes en red.*

**Palabras Clave:** Control distribuido, Middleware, Publicación/Suscripción, Industria 4.0.

## 1 INTRODUCCIÓN

De una forma genérica, la tendencia que marca la cuarta revolución industrial, lo que se llama Industria 4.0, es el uso exhaustivo de las comunicaciones por red para la interconexión de componentes, desarrollados de forma independiente y con capacidad de adaptación. El objetivo final al que conduce esta tendencia es al desarrollo de sistemas industriales flexibles, que adapten su funcionamiento a las especificaciones de cada producto en particular y proporcionen y utilicen información de los niveles de planta y logísticos para optimizar la producción. Este objetivo final nos hace comprender que esta revolución está comenzando y queda mucho por hacer. En la actualidad, los fabricantes de automatismos ofrecen soluciones que conectan sistemas MES (*Manufacturing Execution System*) con ERP (*Enterprise Resource Planning*) consiguiendo simplificar la interacción entre el equipo humano y el sistema de producción mediante el uso exhaustivo de las tecnologías de la información. En esta evolución se encuentran

paralelismos con los sistemas de “Internet de las cosas” [1] con los que comparte desafíos relacionados con el procesamiento masivo de la información para la búsqueda de patrones, sistemas de ejecución en la nube, coexistencia de diferentes niveles de criticidad, inestabilidad de las comunicaciones y cuestiones relacionadas con la ciberseguridad.

En este contexto, se pretende aprovechar las sinergias entre los sistemas distribuidos de fabricación y los avances en el campo de las tecnologías de la información.

Con la proliferación de sistemas de control distribuido derivada de la tendencia actual de desarrollo de la “Industria 4.0” es necesario un modelo de desarrollo que simplifique la implementación del conjunto de reguladores distribuidos que compone el control de la planta. En este sentido, este artículo presenta una solución Middleware (CKMultipeer) sencilla que permite ensayar las técnicas de control [2], de gestión de las comunicaciones, ejecución de tareas y monitorización de rendimiento más adecuadas para el desarrollo de sistemas en el marco de la Industria 4.0 e Internet de las Cosas.

## 2 TRABAJOS RELACIONADOS

Los sistemas distribuidos se implementan normalmente sobre algún tipo de middleware que extiende el marco de ejecución para proporcionar conexión entre dispositivos y mecanismo de intercambio de datos. Se pueden encontrar numerosas soluciones de comunicación tales como MQTT, *Java Message Service* (JMS) [3], *Internet Communication Engine* (ICE) [4], *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA) [5], o *Distributed Data System* (DDS) [6]. Algunas de ellas como JMS proporcionan una arquitectura centrada en el mensaje mientras que otras como DDS se centran en los datos. Independientemente del paradigma que se utilice, todas las soluciones proporcionan

mecanismos confiables y flexibles para la comunicación asíncrona. JMS establece un API estándar común restringida al intercambio de mensajes en Java. DDS proporciona un sistema de Publicación/Suscripción independiente de la plataforma. Los entornos ICE y CORBA se basan en el uso de “mediadores de objetos” (Object Request Broker: ORB) que permiten el manejo de referencias a objetos distribuidos. Las soluciones “Common ORB” basadas en el ORB de ACE, TAO [7] que se sustentan sobre el framework ACE (Adaptive Communication Environment) [8]. Para proporcionar al sistema tolerancia a fallos o mecanismos de adaptación es necesario que el middleware tenga mecanismos de monitorización y medida de indicadores de rendimiento. Algunos de las infraestructuras, como la citada TAO o DDS incorporan mecanismos de gestión de la calidad de servicio (QoS) [9]. Tal y como se introduce en [10] el diseño de un mecanismo de tiempo real de gestión de la calidad de servicio requiere la evaluación precisa del rendimiento del servicio y un marco específico para manejar las políticas de calidad de servicio [11].

### 3 REQUISITOS INICIALES

Como punto de partida, se ha considerado que el Middleware de comunicaciones tenga las siguientes características:

- El modelo de interacción entre elementos es uniforme y permite interacciones entre objetos que se encuentran en el mismo proceso, en diferentes procesos, pero en el mismo computador y entre objetos localizados en diferentes computadores.
- Modelo de comunicación “Publicación/Suscripción”
- Comunicación basada en difusión asíncrona.
- Funciona sobre el protocolo basado en conexión TCP/IP.
- No tiene restricciones sobre el tamaño de la carga útil del mensaje
- Incorpora un servicio de descubrimiento implementado sobre el protocolo sin conexión TCP/UDP. Este protocolo detecta automáticamente los “pares” que forman parte del grupo de comunicación y los agrega para que reciban copia de todos los mensajes. En el caso en que el sistema tenga que funcionar sobre red que no permita difusiones UDP, existirá un elemento “mediador” centralizado que gestionará el grupo, pero no intervendrá directamente en la comunicación.
- La comunicación entre los pares se realiza sin la intervención de componentes

centralizados ni intermediarios. Todos los elementos tienen el mismo rol.

- Ofrece un reloj sincronizado entre todos los pares.
- Los mensajes se envían con una marca de tiempo con resolución de microsegundos.
- Los mensajes se envían con una marca de prioridad de entrega.

### 4 DESCRIPCIÓN DE CKMultipeer

Tal y como puede apreciarse en la Figura 1, el Middleware está estructurado en tres capas:

- Capa de aplicación
- Capa de sistema
- Núcleo de comunicación

La capa más baja constituye el núcleo de difusión de información. En esta capa se gestionan las conexiones entre los miembros del grupo y la difusión de mensajes al grupo. El formato de los mensajes es el que aparece en la Figura 2. Cuando se recibe un mensaje de red, se identifica el tipo de tráfico y se redirige hacia los puntos de procesamiento adecuados de la capa inmediatamente superior.

En la capa de sistema, se implementan servicios programando manejadores de mensajes que se asocian a determinados tipos de mensajes. De esta forma, se puede usar la misma infraestructura de núcleo de comunicaciones para implementar de forma totalmente separada diferentes servicios.

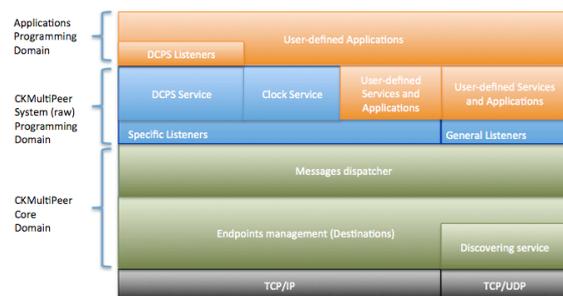


Figura 1: Estructura general de CKMultipeer.

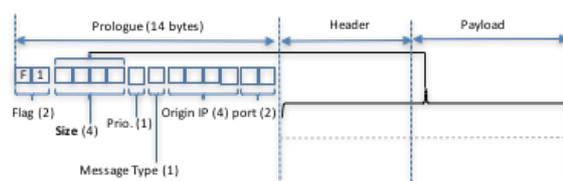


Figura 2: Formato del marco del mensaje.

## 4.1 NÚCLEO DE COMUNICACIÓN

Tal y como se ha comentado, el núcleo de comunicación se encarga de gestionar las conexiones entre los miembros del grupo, el protocolo de descubrimiento y la propagación de mensajes a través de las conexiones. Desde un punto de vista programático, esta funcionalidad la ofrece un objeto de la clase “MultiPeer”.

### 4.1.1 Conexiones entre los miembros del grupo

Cada uno de los miembros del grupo mantiene conexiones TCP/IP con el resto de los miembros formando un “mandala” de canales de comunicación bidireccionales. Para formar el entramado de conexiones, cada miembro acepta conexiones por un determinado puerto incorporando para ello un hilo de ejecución “servidor”. Si al intentar crear el socket servidor en un puerto no lo consigue por estar ocupado, lo intentará con el siguiente puerto hasta que lo consigue (máximo 100 intentos). Una vez establecido el puerto por el que el par acepta conexiones, el par establece su identidad como un número de 64bits (GUID) calculado mediante la combinación de la dirección IP (32 bits sin signo) y el puerto en cuestión (16 bits) así:  $((IP \ll 16) + puerto)$ .

El GUID de un par, además de identificarlo de forma unívoca en la red, se utiliza para establecer un orden entre los pares. Este orden sirve para crear de forma ordenada el entramado de conexiones: simplemente un par con  $GUID = GUID_{actual}$  establecerá conexiones con aquellos pares detectados que tengan un GUID mayor que el suyo (más adelante se explicará el mecanismo de descubrimiento de pares) y dejará que los pares con  $GUID < GUID_{actual}$  tomen la iniciativa de la conexión.

Las conexiones establecidas de esta manera se mantienen en el objeto “MultiPeer” mediante un conjunto de objetos “Destination” (en la forma de un objeto colección de la clase “PeerSet”). La clase “Destination” ofrece un método público “send()” para enviar mensajes y un método privado “receive()” para recibirlos.

### 4.1.2 Propagación de mensajes

Cada objeto “Destination” tiene un hilo de ejecución que se bloquea llamando al método “receive()” a la espera de recibir nuevos mensajes por la conexión. Cuando se recibe un mensaje, el hilo del objeto “Destination” invoca al método “OnMessage()” del objeto “MultiPeer” que encola el mensaje en una estructura de múltiples colas (“QueueMessage”). El mecanismo despachador de mensajes del objeto “MultiPeer” se encargará de procesar los mensajes de

esta cola invocando las *callback* de los observadores que se hayan definido (Figura 3).

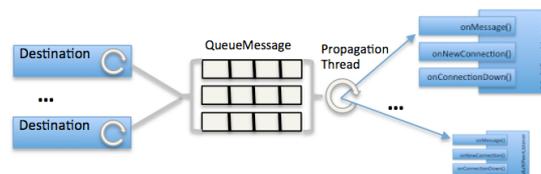


Figura 3: Gestión de los mensajes que se reciben desde las conexiones de red.

De esta forma se consigue simplificar el modelo de planificación de los hilos de ejecución. Por una parte, se ejecutan en el sistema los hilos de procesamiento de las comunicaciones, de alta prioridad, que simplemente mueven la información a las colas de entrada, su ejecución está dirigida por los eventos de comunicación. El hilo de propagación convierte la especificación de ejecución de los manejadores de eventos de comunicación en una ejecución secuencial que puede ser analizada y controlada.

### 4.1.3 Mecanismo de descubrimiento

Al iniciarse un objeto MultiPeer, establece un canal de difusión *multicast* escogiendo una dirección IP (de tipo “D” desde 224.0.0.0 hasta 239.255.255.255) y un puerto. Esta combinación de IP y puerto de difusión es la “identidad del grupo”. Cada miembro del grupo difunde su identidad enviando su GUID (IP y puerto por el que acepta conexiones como una cadena de caracteres con el formato “XX.XX.XX.XX:PPPP”) por este canal de difusión y recibe la identidad de todos los miembros del grupo por este mismo canal. Cuando un miembro del grupo recibe por el canal la identidad de un nuevo miembro, difunde la suya propia para asegurar que notifica su identidad a los nuevos miembros del grupo. Cuando no hay nuevos miembros en el grupo, el canal de difusión permanece en silencio, no obstante, cada 5 segundos envía su identidad por el canal a modo de “latido de corazón” para comprobar que la infraestructura de red sigue siendo válida.

Cuando un miembro del grupo recibe la identidad de un nuevo miembro, aplica el mecanismo de conexión descrito anteriormente para formar el entramado de conexiones que constituirá la infraestructura de comunicación por la que circulan los mensajes de CKMultiPeer.

## 4.2 CAPA DE SISTEMA

En la capa de sistema es donde se programan los servicios que utilizan el núcleo de comunicaciones. Cada servicio se implementa mediante la definición de uno o más tipos de mensaje y los correspondientes objetos de escucha (*Listeners*) que los procesa. El núcleo de comunicaciones se encarga de encaminar

los mensajes correctamente a los *Listeners* adecuados manteniendo totalmente separado el tráfico e los diferentes servicios.

Actualmente, el servicio más relevante que se ha programado sobre Multipeer es el modelo Publicación/Suscripción “DCPSMultipeer” que se detallará más adelante.

Además de la programación de nuevos servicios, un usuario-programador puede usar directamente la infraestructura Multipeer para difundir datos entre todos los miembros del grupo. Para ello se ha definido el tipo genérico de mensaje “PLAIN”. El siguiente fragmento de código muestra un ejemplo de uso en C++:

```
#include "MultiPeerListener.h"
#include "Message.h"
#include "Destination.h"
#include "Clock.h"

class MPListenerTest: public MultiPeerListener {
public:
    MPListenerTest();
    virtual ~MPListenerTest();
    void onNewConnection(Destination* dest);
    void onConnectionDown(Destination* dest);
    void onMessage(Message* m);
};

MPListenerTest::MPListenerTest() {}

MPListenerTest::~MPListenerTest() {}

void MPListenerTest::onMessage(Message *msg) {
    long delay = Clock::currentMicros() - msg->getTimestamp();
    printf("MPListenerTest: Mensaje recibido (delay = %ld): %s\n",
        delay,
        msg->getBufferPayload());
}

void MPListenerTest::onNewConnection(Destination* dest) {
    printf("MPListenerTest: Conexion recibida: %s\n",
        dest->getIPPort()->toString().c_str());
}

void MPListenerTest::onConnectionDown(Destination* dest) {
    printf("MPListenerTest: Conexion rota notificada: %s\n",
        dest->getIPPort()->toString().c_str());
}

//----
int main(void) {
    // Setup a MultiPeer Configuration Object
    MultiPeerConf mpCfg;
    mpCfg.setInterfaceName("eth0");
    //Build the communication artifacts
    MultiPeer mp(&mpCfg);

    MPListenerTest mpl;
    mp.addSpecificListener(MessageType::PLAIN, &mpl);

    IPPort *myself = mp.getLocalIPPort();
    unsigned char prio = NORMAL_MESSAGEPRIORITY;

    for(int i = 0; i++) {
        string strMsg = string("Hola Multipeer desde ") +
            mp.getLocalIPPort()->toString() +
            string(" cuenta:") +
            std::to_string(i);

        MessagePlain *msg = new MessagePlain(myself, prio,
            (unsigned char *)strMsg.c_str(),
            strMsg.size()+1);

        mp.send(msg);
        delete msg;
        usleep(10000);
    }
}
```

Como se puede deducir del código que se ha puesto como ejemplo, para programar en la capa de sistema es necesario tener ciertos conocimientos de la estructura interna del núcleo de comunicación y del uso de su API. No obstante, podemos observar que el ejemplo consiste en un programa principal que envía mensajes del tipo PLAIN a través de *Multipeer*, con una cadena de caracteres como carga útil. Al mismo

tiempo establece un *Listener* (objeto de escucha) para este tipo de mensaje. El *Listener* recibe notificaciones cuando llega un mensaje (incluidos los que él mismo envía) y cuando se establece o rompe una conexión.

### 4.3 CAPA DE APLICACIÓN

La capa de aplicación es donde se desarrollan los módulos de control distribuido utilizando el modelo Publicación/Suscripción que ofrece la capa de sistema. Básicamente se define un módulo de control como un elemento que está interesado en recibir un conjunto de secuencias de datos (identificados mediante un nombre de registro o “Topic”) y que produce un conjunto de resultados publicándolos en una serie de registros (“Topics”).

Los nombres de los registros residen en un espacio de nombres ofrecido programáticamente mediante el objeto “TopicScope” que actúa como factoría de “Topics”. Para poder recibir información de un Topic, es necesario definir un objeto de escucha (TopicListener) y suscribirlo al Topic en cuestión. De una forma abstracta, se construye un sistema distribuido como el que se muestra en la Figura 4

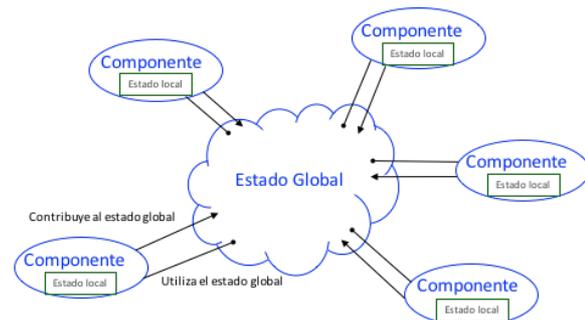


Figura 4: Estructura del sistema distribuido.

A modo de ejemplo, observe el siguiente código en C++:

```
#include "TopicListener.h"
#include "Topic.h"
#include "Clock.h"

class TopicListenerTest: public TopicListener {
public:
    TopicListenerTest();
    virtual ~TopicListenerTest();
    void onMessage(Topic* t, Message* m);
};

TopicListenerTest::TopicListenerTest() {}

TopicListenerTest::~TopicListenerTest() {}

void TopicListenerTest::onMessage(Topic* t, Message* m) {
    long delay = Clock::currentMicros() - m->getTimestamp();
    printf("Topic(%s) %s (delay = %ld) Msg recibido(%ld): %s \n",
        t->getName().c_str(),
        m->getSourceIPPort()->toString().c_str(),
        delay,
        m->getPayloadSize(),
        m->getBufferPayload());
}

//----
int main(void) {
    MultiPeer mp;
    TopicScope scope(&mp);
    Topic *t = scope.lookup("DATA01");
}
```

```

TopicListenerTest TopicListener;
t->addListener(&TopicListener);

char buffer[128];
for(int i = 0; i++) {
    sprintf(buffer, "12345 orden = %d", i);
    t->publish((unsigned char *)buffer, strlen(buffer)+1);
    usleep(50000);
}
}

```

Funcionalmente el código es análogo al que se ha presentado anteriormente. El programa principal publica periódicamente información y se ha definido un objeto de escucha para esta información. En el código se puede observar cómo se define una infraestructura de comunicación (Multipeer) sobre la que se construye un espacio de nombres de datos (TopicScope) que actúa como factoría de “Topics”.

Cuando se publica información en un “Topic”, se notifica, mediante la ejecución del método “OnMessage” a cada uno de los objetos de escucha definidos en el sistema, independientemente de en qué ubicación se encuentren tanto la fuente como la escucha de la información.

## 4 IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES

El modelo descrito permite implementar de forma directa sistemas de control distribuido dirigidos por eventos ya que la infraestructura realiza una gestión transparente de la propagación de los eventos.

El modelo de propagación de eventos es bien conocido y analizable. En un determinado miembro del grupo, cuando se produce un evento, se pueden dar las siguientes posibilidades:

- **Evento local** (se produce en el mismo espacio de direccionamiento)
- **Evento externo** (se produce en espacio de direccionamiento diferente)
  - De un miembro en el mismo host
  - De un miembro localizado en un host remoto

Si el evento es local, el hilo que ejecuta la notificación (llamada a OnMessage) es el mismo que hizo la llamada “publish” sobre el Topic en cuestión. De esta manera se reduce drásticamente la latencia de notificación y se serializan las operaciones a realizar cuando se produce un evento. Con ayuda de la información de auditoría que proporciona el sistema, se es posible determinar la carga computacional que supone la atención a un evento.

Por otro lado, si el evento es remoto, está sujeto a la latencia de las comunicaciones entre procesos del mismo host o la de comunicaciones por red. En este caso el hilo de propagación es el encargado de serializar las operaciones y, análogamente al caso de

eventos locales, es posible analizar la carga computacional con la información que proporciona el sistema.

Si se prefiere programar el sistema mediante procesos periódicos, CKMultipeer ofrece una serie de objetos de ayuda (“PayloadHolder”) que permiten desacoplar la recepción de información de su uso. El siguiente código Java muestra un ejemplo de uso:

```

package dcpsTools;
import dcps.TopicsScope;

public class toolsTest {
    PayloadHolder dataHolder;
    int i = 0;
    public toolsTest() {
        TopicsScope ts = new TopicsScope();
        dataHolder =
            new PayloadHolder(ts.lookup("DATA01"));
        //Set the default value
        dataHolder.setPayload(new String("1425").getBytes());

        PeriodicTask t1 = new PeriodicTask(new Runnable()
        {
            @Override
            public void run() {
                System.out.println("The DATA01 value is: " +
                    new String(dataHolder.getPayload()));
                i++;
            }
        }, 5000000);

        t1.start();

        ////////////////////////////////////////
        public static void main(String[] args) {
            new toolsTest();
        }
    }
}

```

El desarrollo de sistemas sobre CKMultipeer (y en general sobre cualquier middleware de comunicaciones) favorece una alta reutilización de código fuente y, lo que resulta más interesante, la reutilización de componentes ejecutables que se pueden adaptar simplemente configurando sus fuentes y destinos de información. En este sentido se han realizado experiencias de desarrollo de robots reconfigurables uniendo en una red interna del robot con conexión WiFi al exterior del robot, los siguientes elementos: Cámara, Xtion, IMU, Sensores IR, Control de motores, Unidad de navegación, y control de servos. Algunos de estos módulos se ejecutan sobre computadores convencionales pero la mayoría de ellos lo hacen sobre sistemas empotrados basados en Linux del tipo BeagleBone y RaspberryPi.

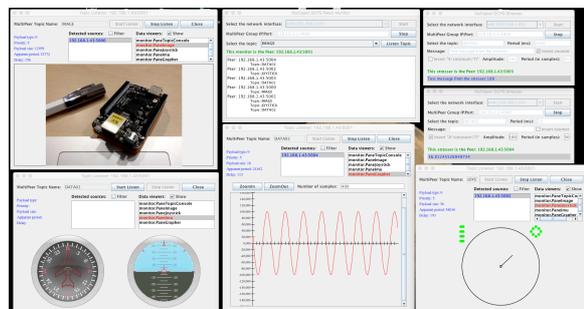


Figura 5: Herramientas de monitorización y visualización de información de CKMultipeer.

Actualmente existen implementaciones del sistema descrito (CKMultipeer) tanto en lenguaje C++ como Java, así como diferentes herramientas de monitorización, inyección y visualización de información. Ver Figura 5.

#### 4 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se ha presentado un middleware de comunicaciones orientado al desarrollo de sistemas de control distribuido. El desarrollo se ha realizado sin ninguna dependencia de código, lo que ha permitido estudiar las estructuras de ejecución y propagación de información más adecuadas para los propósitos del sistema.

Hemos comprobado que la versión actual del middleware permite desarrollar sistemas flexibles y reconfigurables en la línea de los objetivos establecidos en la tendencia de “Industria 4.0”. No obstante, quedan por desarrollar importantes funcionalidades relacionadas con la gestión de la Calidad de Servicio y la inclusión de meta-información y su semántica asociada.

Las pautas de programación y los objetos de ayuda desarrollados permiten que se piense en herramientas de generación automática de código que no existen actualmente pero que se tiene previsto desarrollar en un futuro.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Gobierno de España (MICINN) a través del proyecto: M2C2: “Codiseño de sistemas de control con criticidad mixta basado en misiones” TIN2014-56158-C4-4-P.

#### Referencias

- [1] Soma Bandyopadhyay, Munmun Sengupta, Souvik Maiti, and Subhajit Dutta. A survey of middleware for internet of things. In *Recent Trends in Wireless and Mobile Networks*, pages 288–296. Springer, 2011.
- [2] Eduardo Munera, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yagüe, Jose Simo, J Francisco Blanes, and Pedro Albertos. Control kernel in smart factory environments: Smart resources integration. In *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2015 IEEE International Conference on, pages 2002–2005. IEEE, 2015.
- [3] Mark Hapner, Rich Burrige, Rahul Sharma, Joseph Fialli, and Kate Stout. Java message service. Sun Microsystems Inc., Santa Clara, CA, page 9, 2002.
- [4] M Henning and M Spruiell. Distributed programming with ice. Technical report, ZeroC Inc., 2003.
- [5] Object Management Group (OMG). The Common Object Request Broker (CORBA): Architecture and Specification. Technical report, Object Management Group, 1995.
- [6] Object Management Group (OMG). Data Distribution Service for Real-time Systems. Version 1 edition, 2007.
- [7] DC Schmidt. TAO, The Ace Orb. Technical report, DOC group, Washington University, 2007.
- [8] DC Schmidt. The adaptive communication environment. Technical report, DOC group, Washington University, 1994.
- [9] Cristina Aurrecochea, Andrew T Campbell, and Linda Hauw. A survey of qos architectures. *Multimedia systems*, 6(3):138–151, 1998.
- [10] Woochul Kang, Sang Hyuk Son, and John A Stankovic. Design, implementation, and evaluation of a qos-aware real-time embedded database. *Computers, IEEE Transactions on*, 61(1):45–59, 2012.
- [11] José L Poza, Juan L Posadas, and José E Simó. From the queue to the quality of service policy: A middleware implementation. In *International Work-Conference on Artificial Neural Networks*, pages 432–437. Springer, 2009.