

# 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
Miguel Ángel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politècnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politècnica 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 Politécnica 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 Córdoba
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>	
<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 fotobiorreactor 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>	
HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO .....	793
<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>	
SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS .....	806
<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>	
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....	821
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL .....	829
<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>	
DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO .....	844
<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>	
CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....	852
<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>	

# Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos

David Fernández, Javier Monroy, Javier Gonzalez-Jimenez

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Instituto de Investigación Biomédica de Málaga, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29071, Málaga.  
davfercha@uma.es, jgmonroy@uma.es, javiergonzalez@uma.es

## Resumen

*Este artículo presenta una arquitectura software que permite mejorar las capacidades sociales de robots móviles mediante el uso de motores de inteligencia artificial propios de las plataformas de desarrollo de videojuegos. La arquitectura propuesta se basa en fusionar el ampliamente utilizado Robotic Operating System (ROS) con los avanzados motores de inteligencia artificial de la plataforma de videojuegos Unity 3D. Esta fusión permite integrar comportamientos de alto nivel en la interacción hombre-robot, con los avanzados sistemas de gestión de la incertidumbre propios de arquitecturas puramente robóticas. Como caso práctico presentamos la planificación de trayectorias de un robot móvil en un entorno con presencia humana, detallando tres situaciones típicas de la interacción hombre-robot: esquivar a un humano que afecta en su trayectoria, aproximarse a una persona para establecer un diálogo, y evitar cruzar entre dos personas que están dialogando. Para cada situación, analizamos el entorno desde un punto de vista proxémico, y comparamos la trayectoria generada por el navegador de Unity 3D usando nuestra propuesta con una puramente robótica.*

**Palabras clave:** Habilidades Sociales, Videojuegos, Unity 3D, HRI, Robot

## 1 Introducción

El envejecimiento de la población en los países desarrollados se ha convertido en un problema importante con una creciente atención por parte de la comunidad científica. Más allá de su dimensión estrictamente demográfica, el envejecimiento preocupa por sus efectos políticos, económicos y sociales [13]. En relación con este último, diversas iniciativas han surgido en los últimos años proponiendo el uso de plataformas robóticas para llevar a cabo actividades de carácter social, por ejemplo, como guías turísticos, asesores personales, o robots educativos.

No obstante, en la actualidad, la presencia real de

robots en entornos humanos está aún muy limitada, siendo una de las principales causas la altamente compleja interacción entre el hombre y el robot (HRI, de sus siglas en inglés) [3, 7]. Conseguir que un robot tenga un comportamiento que le permita ser aceptado en entornos sociales es un problema muy complejo y que abarca multitud de facetas. Una de estas es la proxémica [4] o estudio de la organización del espacio en la comunicación entre las personas y los objetos. Para el caso de interacción con robots móviles, diversos trabajos han sido propuestos [12, 11], donde la proxémica juega un papel fundamental a la hora de controlar los movimientos del robot. No obstante, aún existen grandes posibilidades de investigación en este ámbito, especialmente atendiendo a la gran variedad de situaciones en las que un robot puede interactuar con un humano [6, 9].

Una de las áreas que más ha avanzado en esta interacción maquina-humano en los últimos años es la relacionada con la industria de los videojuegos. Gracias al potente motor económico que la sustenta, gran variedad de algoritmos y motores de inteligencia artificial (IA) enfocados a la interacción con el humano han sido desarrollados y están disponibles de forma libre, especialmente a través de plataformas de desarrollo de videojuegos. En este campo, los motores de IA se utilizan principalmente para modelar el comportamiento de personajes no jugadores (NPC, de sus siglas en inglés) de forma que sus acciones y movimientos se asemejen a las de un humano cuando interactúan con el jugador, por ejemplo, respetando las distancias proxémicas durante un dialogo [10].

En este trabajo proponemos explotar el activo y avanzado desarrollo de los motores de IA de las plataformas de creación de videojuegos, aplicándolos al campo de la robótica móvil, especialmente en el contexto HRI. Más concretamente, proponemos una arquitectura software capaz de fusionar la potencia de los motores de IA de los entornos de videojuegos, con la robustez de los sistemas robóticos a la hora de gestionar la incertidumbre al interactuar en el entorno. Para validar nuestra propuesta, presentamos un caso práctico: la planificación de la trayectoria de un

robot atendiendo a las distancias proxémicas y a los humanos presentes en el entorno, y su posterior navegación.

## 2 Arquitectura software

Esta sección describe la arquitectura propuesta, presentando de forma genérica los diferentes componentes y su interconexión. Posteriormente, para el caso de uso propuesto, se detalla la estructura del planificador de trayectorias empleado y cómo este es extendido para integrar restricciones de tipo proxémico.

La Fig. 1 muestra la arquitectura global propuesta en este artículo, donde se aprecia que como arquitectura robótica se ha usado ROS<sup>1</sup> (Robot Operating System) por ser la más utilizada en la actualidad. ROS es un framework de código abierto y flexible que permite el desarrollo de software robótico. Consiste en una colección de herramientas, bibliotecas y convenciones que tienen como objetivo simplificar la tarea de crear un comportamiento robótico complejo y robusto. Por otro lado, como software de desarrollo de videojuegos, se ha escogido Unity 3D<sup>2</sup>, un motor gráfico multiplataforma que permite la creación de juegos en 2D y 3D. Entre los diversos frameworks actuales de desarrollo de videojuegos se ha elegido éste por su versatilidad y por la amplia variedad de paquetes software ya existentes e integrables, los cuales permiten agilizar el desarrollo de proyectos explotando alternativas de forma rápida.

Dado que ambas plataformas software están diseñadas para funcionar sobre sistemas operativos distintos (ROS está solo disponible para sistemas operativos Linux, mientras que Unity 3D está basado en Windows), se hace necesario establecer un canal de comunicación bidireccional e independiente del sistema operativo anfitrión. En este trabajo proponemos emplear web-sockets, una tecnología que proporciona un canal de comunicación bidireccional y full-duplex sobre un único socket TCP. Esta tecnología, ampliamente usada por los navegadores y servidores web, así como en otros trabajos donde el sistema operativo ROS es conectado con plataformas de realidad virtual [5, 2], nos permite eliminar la dependencia del sistema operativo. No obstante, dado que los mensajes transmitidos pueden verse influenciados por las condiciones de la red de comunicaciones (pudiendo generar latencias no deseadas que influyan en el comportamiento del robot), se recomienda trabajar en conexión local y verificar que la frecuencia de transmisión de datos entre ambos sistemas es

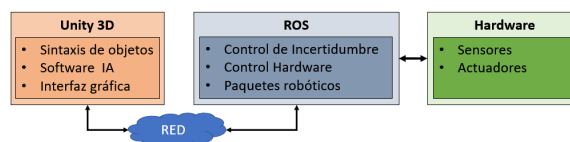


Figura 1: Diagrama representativo de la arquitectura global propuesta.

adecuada para la aplicación a ejecutar.

Concretamente, para realizar la conexión por web-sockets en ROS se ha utilizado *rosbridge\_suite*<sup>3</sup> que es un paquete instalable que permite el realizar comunicaciones web por socket mediante mensajes JSON. Para poder comunicarse correctamente, ha sido necesario realizar una adaptación de la estructura de los mensajes que usa ROS para que Unity 3D sea capaz de procesarlos, para ello se ha usado la librería *ROSBridgeLib*<sup>4</sup> la cual posee las clases de los mensajes básicos de ROS.

Finalmente, se ha de comentar que a diferencia de Unity 3D, la plataforma ROS se basa en una arquitectura de comunicación P2P en la que diferentes "paquetes" intercambian información a través de una jerarquía de mensajes denominados "topics". Esta diferencia requiere extender la librería *ROSBridgeLib* para poder establecer una comunicación completa entre ambas plataformas.

### 2.1 Estructura del Planificador de Trayectorias

De entre las diversas tareas en las que los motores de IA de las plataformas de videojuegos pueden ser usadas para mejorar la interacción HRI, en esta sección nos centramos en la descripción de un planificador de trayectorias que permita al robot desplazarse e interactuar en un entorno con presencia humana.

Nuestra arquitectura está basada en ROS, donde los planificadores de trayectorias se dividen en dos fases o etapas: en primer lugar, un planificador global, el cual se encarga de generar caminos óptimos entre la posición actual del robot y el objetivo al que se desea llegar atendiendo a los obstáculos estáticos del entorno (generalmente en forma de mapa de ocupación), y a las restricciones de movimiento del robot. En segundo lugar, un planificador local que genera las consignas de velocidad, para mediante pequeños desplazamientos, seguir el trazado obtenido por el planificador global. El planificador local integra el comportamiento reactivo del robot puesto que su misión es completar la trayectoria global, evitando

<sup>1</sup><http://www.ros.org/>

<sup>2</sup><https://unity3d.com/es>

<sup>3</sup>[http://wiki.ros.org/rosbridge\\_suite](http://wiki.ros.org/rosbridge_suite)

<sup>4</sup><https://github.com/michaeljenkin/unityros>

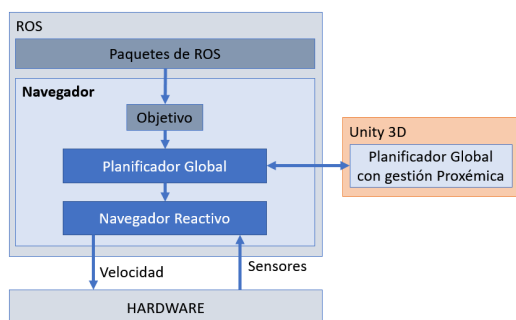


Figura 2: Diagrama representativo de la arquitectura propuesta para el planificador global.

los obstáculos que no se encuentren en el mapa de navegación, mayormente, obstáculos dinámicos (p.e. personas u otros robots).

Ambos planificadores se encuentran definidos en el paquete *move\_base*<sup>5</sup>, ofreciendo una API para la configuración del algoritmo de generación de trayectorias a emplear en cada fase, así como los parámetros que determinan su comportamiento. Una de las ventajas de este paquete ROS es la posibilidad de definir nuevos planificadores personalizados a través de un sistema modular basado en plugins. Concretamente, explotamos esta propiedad para implementar un nuevo planificador que delegue en Unity 3D la generación de la trayectoria global, para luego ser procesada por el planificador local de ROS (véase Fig. 2). Este tipo de configuración permite explotar la robustez de ROS con respecto a la gestión de incertidumbre y el uso de sistemas avanzados de control reactivo, mientras que se dota de un comportamiento más "social" desde un punto de vista HRI.

Para la obtención del camino global en Unity 3D, se ha utilizado un paquete de generación de trayectorias típico de los entornos de videojuegos: *Pathfinding-Project*<sup>6</sup>. Este paquete permite escanear el entorno virtual previamente generado para obtener el espacio transitable a través del cual, mediante algoritmos como el A\*, se obtiene el camino a seguir formado por un conjunto de puntos de interés. Un ejemplo de su uso puede verse en la Fig. 3, en la que se comprueba que en caso de trabajar en un entorno sin presencia humana, el resultado obtenido es muy similar al de un planificador típico en robótica.

No obstante, el objetivo es hacer uso de las características dinámicas y sociales integradas en este tipo de plataformas para trabajar en entornos dinámicos y con presencia humana. Concretamente, este planificador contempla una propiedad

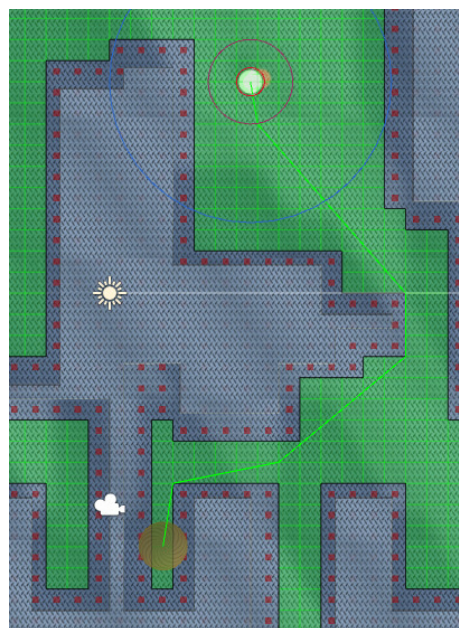


Figura 3: Ejemplo de uso de Unity 3D para la generación de caminos en un entorno sin presencia humana. En este caso el resultado obtenido es muy similar al de un planificador típicamente robótico.

denominada obstáculo dinámico que sirve para especificar que el objeto que la posea puede cambiar de posición o forma durante el tiempo de ejecución. Explotando esta propiedad, diseñamos las diferentes áreas proxémicas de las que disponemos los humanos [11, 14], las cuales vienen dadas por diversos factores como por ejemplo la actividad, estado de ánimo o el tamaño de la persona (Véase Fig. 4). Atendiendo a esta nueva propiedad, la planificación de la trayectoria cambia radicalmente, tal y como ilustramos en la Sección 3 con tres casos comunes de HRI.

## 2.2 Plugin del Planificador Global y Conexión entre Sistemas

El uso del planificador de trayectorias y el modelado de la proxémica incluidos en Unity 3D vienen condicionados a disponer en dicha plataforma de conocimiento del entorno, de la posición actual del robot, del destino a navegar, y de la presencia de humanos, factores que son generados y/o gestionados por ROS. La Fig. 5 muestra el diagrama de conexiones implementado para este caso de uso.

- **Mapa de Ocupación:** Para la generación del entorno tridimensional en Unity 3D, se realiza una suscripción al topic: `/map` de ROS que posee el mapa de ocupación de obstáculos. Este consiste en un mapa de rejilla en la cual cada celda representa la

<sup>5</sup>[http://wiki.ros.org/move\\_base](http://wiki.ros.org/move_base)

<sup>6</sup><https://arongranberg.com/astar/>



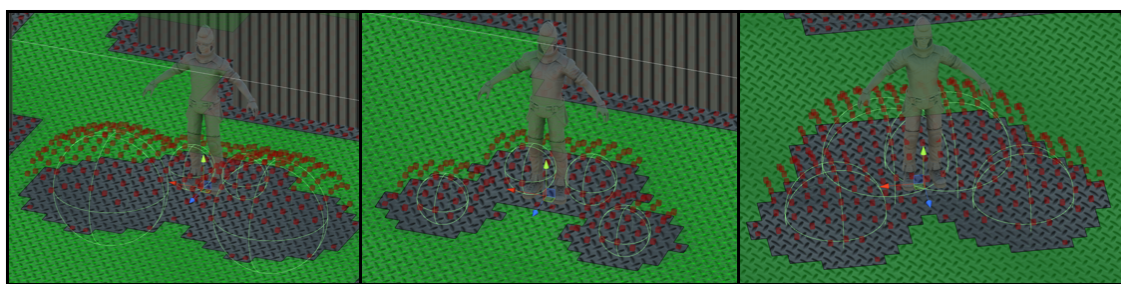


Figura 4: Diferentes áreas proxémicas generadas entorno a una persona mediante Unity 3D.

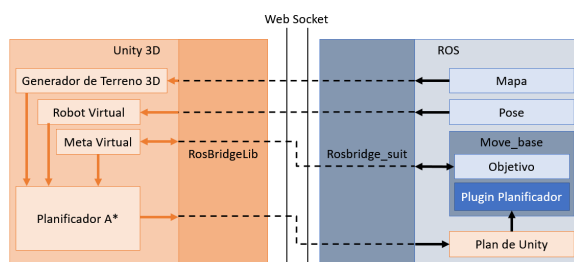


Figura 5: Diagrama representativo del tránsito de información entre Unity 3D y ROS para el caso de la planificación de trayectorias atendiendo a la proxémica.

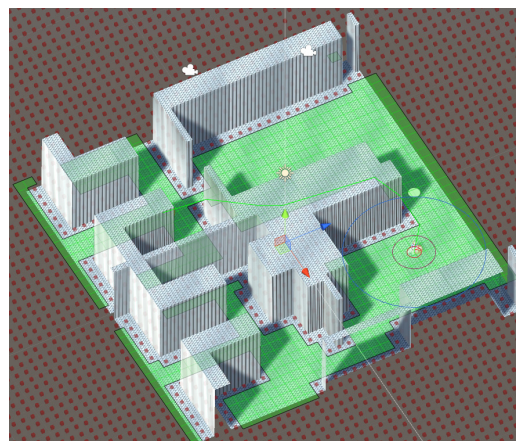


Figura 6: Reconstrucción 3D en Unity del mapa de ocupación de obstáculos utilizado en ROS.

probabilidad de ocupación. Esta información probabilística es binarizada en Unity 3D para generar un mapa del entorno 3D (véase Fig. 6), asignando una celda como libre si  $p < 0,5$  y viceversa. Es importante mencionar que a diferencia de los sistemas robóticos, Unity no considera probabilidades ni incertidumbre en los datos, aspecto que solventamos haciendo uso del planificador local de ROS.

- **Posición del Robot:** Para poder acceder a esta pose y llevar a cabo la planificación de la trayectoria, Unity se suscribe a través de la arquitectura software propuesta al topic `/amcl_pose`. Este contiene la creencia sobre la pose del robot en el entorno. Una vez más, esta información es probabilística, representando la pose más probable de entre una serie de candidatos, lo cual implica que esta puede cambiar (incluso de forma drástica) a lo largo del tiempo. Este topic es comúnmente actualizado por módulos ROS de localización probabilística, como es el caso del filtro de Kalaman o el filtro de partículas.
- **Destino de Navegación:** Se prevé la posibilidad de que el destino al que el robot debe ir, pueda venir impuesto desde cualquiera de las dos plataformas, de esta manera, se brinda la opción de mover al robot a los al-

goritmos diseñados tanto en ROS como en Unity 3D. Para lograr esto, se utiliza el topic `/move_base/goal` de manera bidireccional permitiendo a ambos entornos escribir y leer la posición de destino deseada, la cual se vincula con la posición de un objeto virtual, de manera que si se mueve el objeto se publica la nueva posición en ROS y viceversa.

- **Presencia de Humanos:** En este trabajo asumimos que se dispone de un modulo ROS para la detección y localización de las personas en el entorno. A partir de dicha información, Unity 3D asigna el rol de un jugador y por tanto, les añade el área proxémica previamente definida.

Con estos datos, Unity 3D genera la trayectoria global correspondientes, y la publica en el topic de ROS `/unity_data/global_plan` para ser gestionado posteriormente por el planificador local de ROS (véase Fig. 2). Dado que este planificador local dispone de más información para la navegación (p.e. detección de obstáculos no contenidos en el mapa de ocupación) es muy probable que este se desvíe del plan global inicialmente trazado. Para mantener una consistencia en el sistema, Unity re-

calcula el camino global periódicamente y en caso de que se obtenga una nueva ruta diferente a la inicial, esta se reenvía a ROS.

### 3 Caso Práctico: Planificación de Trayectorias

Para validar la arquitectura propuesta y analizar las ventajas que los motores de IA contenidos en Unity 3D ofrecen a la hora de modelar la interacción entre robots y humanos, en esta sección se describen varios experimentos en los que se comparan las trayectorias generadas por el navegador que utiliza ROS de manera predefinida y el navegador de Unity 3D. Más concretamente, presentamos tres escenarios comunes en la interacción hombre-robot: esquivar a un humano que se encuentra en el área de actuación del robot, aproximarse a una persona para establecer un diálogo, y evitar cruzar entre dos personas que están dialogando.

En todos los casos, modelamos el área proxémica de las personas involucradas mediante la consideración de cuatro esferas (véase Fig. 4), las cuales han sido parametrizadas atendiendo a los estudios presentados en [9]. Estas áreas representan zonas que el robot no debería invadir para lograr un comportamiento natural y social desde un punto de vista HRI.

#### 3.1 Caso A: Navegación evitando una presencia humana

En el primer caso expuesto, el robot tiene que navegar de un punto a otro del mapa evitando la presencia humana en su trayectoria. Atendiendo al uso de la proxémica, el robot no debería invadir el espacio personal de la persona, por lo que tiene que considerar alejarse de la persona lo suficiente como para evitar hacerlo.

En la Fig. 7 se muestran los resultados comparados del planificador por defecto que se utiliza en ROS y el planificador de Unity 3D utilizando la arquitectura propuesta en este artículo. En azul se observa el camino que sigue el robot cuando se utiliza el navegador de ROS, el cual considera la persona como un obstáculo más del mapa. Como consecuencia, el robot invade el área proxémica de la persona. Igualmente, en verde se observa el camino generado por el planificador global de Unity 3D, el cual provee un camino que no invade el espacio proxémico generado para la persona, de manera que al usar este camino en un robot mediante la arquitectura propuesta, se consigue un desplazamiento más natural desde el punto de vista de la persona.

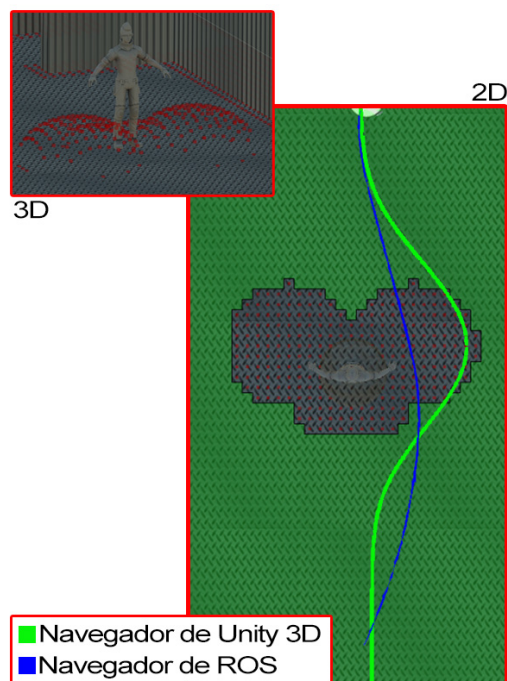


Figura 7: Comparativa de trayectorias cuando el robot se cruza con una persona en su paso.

#### 3.2 Caso B: Interacción Directa con Humano

En este caso, se comprueba como es el acercamiento del robot cuando tiene que ir a interactuar con una persona, por ejemplo para hablar con ella, o entregarle algo. Al igual que en el caso anterior, el comportamiento deseado desde un punto de vista proxémico resulta de realizar un acercamiento sin invasión del área personal. Además, el robot debe ir hacia la persona desde una posición frontal a esta.

El resultado obtenido de la comparación de ambos planificadores se observa en la Fig. 8, donde mediante el uso del navegador por defecto de ROS, el robot invade el área proxémica de la persona rodeandola y acercándose a ella desde el lateral al igual que si esta fuese un obstáculo más del entorno. En cambio, el navegador global de Unity 3D obtiene un camino que evita la invasión del área designada como espacio proxémico, el cual permite que el acercamiento a la persona se realice encarándola.

#### 3.3 Caso C: Navegación evitando espacios proxémicos de grupos de personas

Por último, se comprueba el comportamiento del robot cuando este debe ir de un punto a otro de la sala pero a diferencia del caso A, se han colocado dos personas encaradas que simulan tener una conversación. Puesto que cada persona tiene su propia distancia personal, al estar cerca una de

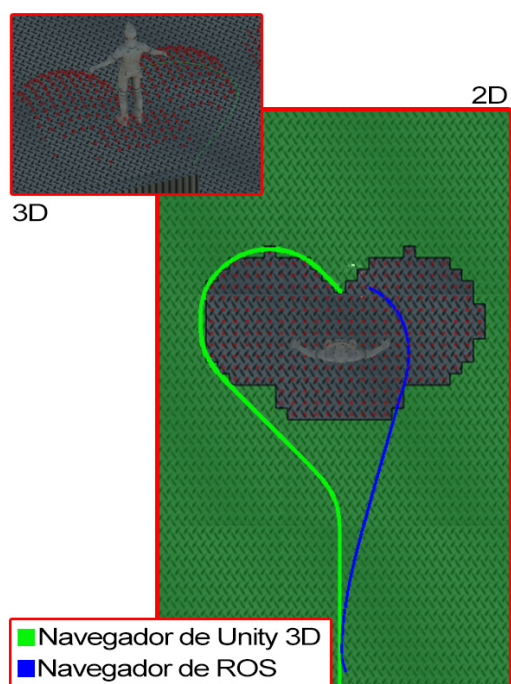


Figura 8: Comparativa de trayectorias cuando el robot va hacia una persona.

otra, se combinan generando un área mayor [8]. Cuando el robot navegue debe evitar pasar entre las personas ya que además de resultar poco natural, interrumpiría a las personas sin necesitar su atención.

En la Fig. 9 se muestran los resultados obtenidos de realizar este caso. Se muestra como el camino generado por el navegador de ROS, cruza entre las dos personas por lo que resultaría un comportamiento poco adecuado en base a la proxémica de las personas. Por el contrario, el camino generado por el navegador de Unity 3D al considerar las áreas asignadas a las dos personas genera un camino que rodea a ambas sin interrumpirlas.

Para concluir con esta sección, cabe destacar que en todos los casos expuestos, se puede comprobar que el navegador de Unity 3D, al considerar la persona como un obstáculo dinámico, pospone la reacción a dicho obstáculo hasta que la invasión del área proxémica es inminente. Esta decisión consigue que si la persona se ha desplazado durante el desplazamiento del robot, para cuando el camino se actualice mantendrá la trayectoria óptima. En comparación, el navegador predefinido en ROS prevé que tiene que desviarse por la existencia de un objeto estático, aunque quizás no sea necesario cuando se aproxime y por tanto se habrá desviado del camino óptimo.

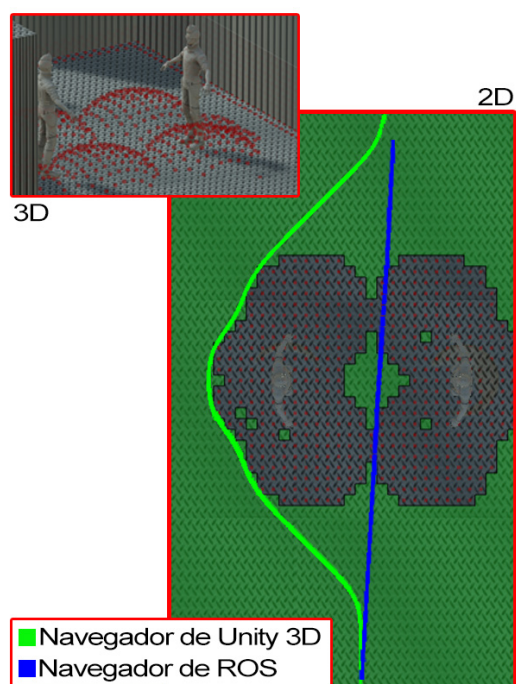


Figura 9: Comparativa de trayectorias cuando el robot se encuentra con un grupo de personas.

## 4 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que Unity 3D se puede utilizar como un elemento de ayuda para el desarrollo de las HRI brindando un amplio conjunto de paquetes libres que pueden ser utilizados para mejorar el comportamiento de los robots. En este artículo se ha utilizado uno de estos paquetes para el diseño de un navegador que contempla el área proxémica de las personas. El diseño de estas áreas pueden realizarse en ROS mediante mapas de coste pero resulta más tedioso y conlleva más tiempo de desarrollo para realizar ensayos.

Siguiendo la línea de contribución de este artículo, podría implementarse al navegador diferentes reglas que modifiquen el área proxémica de la persona en función del contexto en que se encuentre. Esto supondría que el robot tendría comportamientos diferentes en función de la hora del día, o de las situaciones de las personas de su entorno generando como resultado un comportamiento mucho más natural y por tanto contribuyendo en la mejora de las HRI.

Aunque en este artículo se ha explotado Unity 3D para la navegación del robot, hay disponibles multitud de paquetes que pueden contribuir en otras áreas de la robótica, por ejemplo aportando una interfaz intuitiva para el usuario, mediante el uso de la realidad virtual, o incluso usando la inteligencia artificial que aportan los videojuegos

para generar el comportamiento del robot. Las ventajas de Unity 3D ya han sido usadas por otros artículos previamente como por ejemplo [1] donde explotan el motor de animaciones para generar movimientos en un robot.

En conclusión, existen numerosos frentes de interés en donde los entornos de desarrollo de videojuegos pueden complementar la programación de los robots, agilizando o añadiendo soporte a nuevas áreas de desarrollo que en conjunto mejorarán las capacidades sociales de los robots.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado a través del plan nacional, gobierno de España (proyecto DPI2014-55826-R), y por la Unión Europea, dentro del programa Horizonte 2020-ICT (proyecto 732158 - MoveCare).

### Referencias

- [1] C. Bartneck, M. Soucy, K. Fleuret, and E. B. Sandoval. The robot engine; making the unity 3d game engine work for hri. In *2015 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 431–437, Aug 2015.
- [2] R. Codd-Downey, P. M. Forooshani, A. Speers, H. Wang, and M. Jenkin. From ros to unity: Leveraging robot and virtual environment middleware for immersive teleoperation. In *2014 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, pages 932–936, July 2014.
- [3] M.J. Matarić D. Feil-Seifer. Human robot interaction. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, pages 4643–4659, 2009.
- [4] Edward T Hall, Ray L Birdwhistell, Bernhard Bock, Paul Bohannon, A Richard Diebold Jr, Marshall Durbin, Munro S Edmonson, JL Fischer, Dell Hymes, Solon T Kimball, et al. Proxemics [and comments and replies]. *Current anthropology*, 9(2/3):83–108, 1968.
- [5] Yuchao Hu and Wei Meng. Rosunitysim: Development and experimentation of a real-time simulator for multi-unmanned aerial vehicle local planning. *SIMULATION*, 92(10):931–944, 2016.
- [6] B. Jensen, N. Tomatis, L. Mayor, A. Drygajlo, and R. Siegwart. Robots meet humans-interaction in public spaces. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(6):1530–1546, Dec 2005.
- [7] K. Kosuge and Y. Hirata. Human-robot interaction. In *2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pages 8–11, Aug 2004.
- [8] Thibault Kruse, Patrizia Basili, Stefan Glasauer, and Alexandra Kirsch. Legible robot navigation in the proximity of moving humans. In *Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO), 2012 IEEE Workshop on*, pages 83–88. IEEE, 2012.
- [9] Thibault Kruse, Amit Kumar Pandey, Rachid Alami, and Alexandra Kirsch. Human-aware robot navigation: A survey. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(12):1726–1743, 2013.
- [10] J. E. Laird. Using a computer game to develop advanced ai. *Computer*, 34(7):70–75, Jul 2001.
- [11] Ross Mead, Amin Atrash, and Maja J Matarić. Automated proxemic feature extraction and behavior recognition: Applications in human-robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, 5(3):367–378, 2013.
- [12] Jonathan Mumm and Bilge Mutlu. Human-robot proxemics: physical and psychological distancing in human-robot interaction. pages 331–338, 2011.
- [13] Begoña San Miguel and M<sup>a</sup> Jose Gonzalez. El envejecimiento de la población española y sus consecuencias sociales. *Cuadernos de trabajo social*, (9):19–45, 2001.
- [14] Emrah Akin Sisbot, Luis F Marin-Urias, Rachid Alami, and Thierry Simeon. A human aware mobile robot motion planner. *IEEE Transactions on Robotics*, 23(5):874–883, 2007.