

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

## Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro  
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor



## Table of Contents

---

### Ingeniería de Control

---

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>	
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>	

# INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN

Álvaro Fernández-Rodríguez, Francisco Velasco-Álvarez y Ricardo Ron-Angevin  
Dpto. Tecnología Electrónica, ETSI Telecomunicación, Universidad de Málaga  
afernandezrguez@uma.es, {rron, fvelasco}@dte.uma.es

## Resumen

*Una interfaz cerebro ordenador (BCI, de brain-computer interface) es una tecnología que permite a pacientes con disfunciones motoras severas usar sus señales electroencefalográficas para crear un canal de comunicación y controlar ciertos dispositivos. En este artículo será estudiada la aplicación de dos paradigmas para controlar una silla de ruedas mediante un sistema BCI: modo continuo e interruptor. Cinco usuarios sanos tomaron parte del estudio, de los cuales cuatro controlaron la silla de ruedas. Los resultados mostraron que el modo de control interruptor obtuvo un mejor rendimiento para los tramos de avance, mientras que el modo continuo fue más adecuado para mantener la silla de ruedas detenida. Esto podría indicar que un modo de control híbrido con estas ventajas podría ser el objetivo de futuras propuestas.*

**Palabras Clave:** interfaz cerebro-ordenador (BCI), silla de ruedas, navegación, control.

## 1 INTRODUCCIÓN

Enfermedades como la esclerosis lateral amiotrófica (ELA) o lesiones del tronco encefálico pueden dar lugar a un deterioro de las funciones motoras de los pacientes afectados, lo que podría provocarles la necesidad de utilizar tecnología asistencial para mejorar su calidad de vida. Sin embargo, en algunos casos, la severa reducción de sus funciones motoras les puede llegar a impedir el uso de sistemas convencionales dependientes de dichas funciones, como las necesarias para manejar un joystick o incluso un eye-tracker. Por lo tanto, la solución podría residir en la utilización de sistemas que no requieran la capacidad motora del usuario para controlarlos. Precisamente, las interfaces cerebro-computadora (BCI, de *brain-computer interface*) corresponden a una tecnología que permite usar las señales electroencefalográficas (EEG) de los pacientes para crear un canal de comunicación entre ellos y el dispositivo que desean controlar sin necesidad de control muscular. Estos sistemas se han

implementado en el desarrollo de dispositivos tales como una matriz de letras para escribir [2], un sistema de control domótico [1] o una silla de ruedas (BCW, de *brain-controlled wheelchairs*) [6]. Concretamente, estudiar el control de una silla de ruedas será el objetivo del presente trabajo.

Desde la publicación de la primera silla de ruedas en 2005 por [10], se han realizado numerosas propuestas sobre diferentes aspectos del dispositivo, como la señal EEG registrada, las tareas que el usuario debe realizar, las propiedades específicas de la interfaz o el sistema de navegación implementado [3].

La presente propuesta, tal y como han hecho la mayoría de BCWs presentadas hasta la fecha, se ha basado en la señal EEG más utilizada para el control de una BCW en entornos reales, los ritmos sensorimotors (SMR, de *sensorimotor rhythm*) [3]. Esta señal se basa en el fenómeno de la (de)sincronización asociada a eventos (ERD/ERS, de *event-related (des)synchronization*) y que origina cambios de amplitud producidos en el área de la corteza sensoriomotora en la banda  $\mu$  (7-13 Hz) al realizar una tarea de imaginación motora (IM). De este modo, dicha señal puede ser modulada por el propio usuario para ser utilizada en un sistema BCI [7].

La taxonomía principal para clasificar las BCWs según el método de navegación empleado los divide entre sillas de bajo y alto nivel. Por un lado, en la navegación de bajo nivel, el control del dispositivo se logra mediante comandos simples de navegación, tales como 'avanzar' o 'girar a la derecha'. Por otro lado, la navegación de alto nivel permite a los usuarios ejecutar comandos como 'llévame a la cocina' o 'abandona esta habitación'. A pesar de que la navegación de alto nivel podría provocar una menor carga de trabajo y resultar más cómoda, ya que el usuario simplemente debe seleccionar los destinos, la presente propuesta se enmarca dentro de los sistemas de bajo nivel. Esto es debido a que dichos sistemas podrían resultar más apropiados para entornos incontrolados en los que la silla de ruedas deba poseer una adecuada flexibilidad para evitar posibles obstáculos o adaptar su trayectoria a nuevas

modificaciones en el entorno. Asimismo, dentro de los sistemas de bajo nivel se pueden establecer más divisiones basándose en el tipo de desplazamiento de la silla de ruedas, destacando el control discreto y continuo. En primer lugar, en el control discreto, la selección de un comando de navegación implica un movimiento prefijado como un giro de  $45^\circ$  o un avance de 1 m. En segundo lugar, en el control continuo, el usuario puede controlar la extensión del movimiento tras la selección de un comando de navegación como, por ejemplo, la amplitud del giro o la longitud del avance. En este tipo de manejo, lo normal es que el movimiento continúe siempre y cuando el usuario mantenga activo el comando.

El grupo BCI de la Universidad de Málaga (UMA-BCI) ha realizado una propuesta de control alternativa a las descritas anteriormente sobre el control de una silla de ruedas y un robot móvil en entornos virtuales: el paradigma de modo interruptor [11], [9]. En este paradigma, el usuario tiene que realizar la tarea correspondiente (por ejemplo, IM) para cambiar el estado de la silla de ruedas, es decir, realizar un desplazamiento o detener el movimiento, mientras que si el usuario quiere permanecer en el estado actual, es decir, continuar el desplazamiento o mantener la posición, tiene que ejecutar una tarea alternativa. Este control comparte con el paradigma continuo que el usuario puede controlar la distancia exacta de sus desplazamientos. Sin embargo, la principal diferencia entre el paradigma propuesto y el continuo es que, en este último, el usuario debe tener la capacidad de mantener ambas tareas de forma estable: una tarea para seleccionar el comando activo (por ejemplo, avanzar) y otra tarea para permanecer en reposo. Sin embargo, en el modo interruptor, el usuario debe tener la capacidad de realizar una tarea rápidamente (asociada al cambio de estado en el desplazamiento de la silla de ruedas), pero tener un control estable en la otra (asociada al mantenimiento del estado actual de la silla de ruedas). El funcionamiento de estos paradigmas se explicará con más detalle en la sección 2.3. *Aplicación de navegación.*

En definitiva, el objetivo del presente estudio es evaluar los paradigmas de control continuo e interruptor en una tarea de navegación básica con una BCW.

## 2 MÉTODO

### 2.1 PARTICIPANTES

Cinco usuarios sanos formaron parte del estudio (edad media de  $19,75 \pm 0,5$  años; cuatro hombres, una mujer), estudiantes de la Universidad de Málaga. Ninguno tenía experiencia previa en el manejo de estos sistemas y fueron captados a través del uso de

publicidad en las redes sociales y el boca a boca, usando como reclamo el poder controlar una silla de ruedas con la mente y una recompensa económica de entre 5 y 10€ por participar, dependiendo de si completaban la primera fase de calibración del estudio. El experimento fue aprobado por el Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Málaga y cumplió los criterios de la Declaración de Helsinki. Los participantes declararon en la hoja de consentimiento informado no tener ningún historial médico de desórdenes neurológicos o psiquiátricos, así como no tomar algún tipo de medicación de forma regular. Como criterio del diseño, en la tarea de calibración se estableció un límite máximo de error del 30% para poder continuar en el estudio. Este límite, anteriormente utilizado en [4], fue establecido para garantizar que los usuarios que pasaran a la siguiente prueba tuvieran un control aceptable de su señal SMR, la cual sería empleada para controlar la BCW.

### 2.2 ADQUISICIÓN DE DATOS Y PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL

Las señales EEG fueron registradas con una frecuencia de muestro de 200 Hz a través de dos canales laplacianos grandes (para más detalles, ver [5]), situados sobre las áreas somatosensoriales motoras izquierda y derecha utilizando la siguiente configuración de electrodos: C3, F3, P3, T7 y Cz para el canal laplaciano izquierdo, y C4, F4, P4, T8 y Cz para el canal laplaciano derecho. Los electrodos de tierra y referencia fueron situados en las posiciones AFz y Fz, respectivamente. Esta configuración fue realizada de acuerdo al sistema internacional 10/20. La señal fue amplificada con un amplificador actiCHamp (Brain Products GmbH, Munich, Germany). No fue utilizada ninguna técnica de detección de artefactos.

Como se mencionó anteriormente, los usuarios participaron en una fase de entrenamiento para proceder a la calibración del sistema (ver 2.5.1 *Calibración*). En esta tarea, se registró la señal EEG de cada participante llevando a cabo dos tareas mentales durante numerosos ensayos. Con estos datos, se calculó la banda reactiva de cada usuario y su error relacionado. Después de procesar la señal de cada participante, se seleccionaron aquellos con un error en la clasificación inferior al 30%, guardándose sus parámetros para ser utilizados en la posterior tarea con *feedback*. El procesado de los datos y la generación del *feedback* fue llevada a cabo por MATLAB y se basó en el procedimiento detallado en [8] que se explicará a continuación:

- a. *Obtención de la banda de frecuencia reactiva.* La banda de frecuencia reactiva de cada participante fue automáticamente seleccionada

entre todas las posibles combinaciones de entre 5 y 17 Hz (con un mínimo de ancho de banda de 2 Hz). La búsqueda de la banda de frecuencia óptima fue limitada a la banda  $\mu$  por motivos de simplicidad. Para cada intervalo de frecuencia probado, era llevado a cabo un procedimiento de extracción de características y clasificación que daba lugar a la obtención del porcentaje de error obtenido por el usuario en cada banda de frecuencia. Aquella banda de frecuencia con el mínimo error en la clasificación era la seleccionada como su correspondiente banda de frecuencia reactiva.

- b. *Extracción de características.* La extracción de características consistió en la estimación de la potencia media de la señal en cada uno de los dos canales EEG en el intervalo específico de frecuencia. Esta media era calculada a través de: i) la digitalización de la señal EEG y un filtrado paso banda tipo Butterworth de quinto orden, ii) el cálculo del cuadrado de cada muestra resultante y iii) el promediado de las consecutivas 100 muestras, dando una estimación de la potencia de banda para intervalos de 500 ms.
- c. *Clasificación.* Las características de cada uno de los canales para todos los ensayos fueron usadas para calcular el porcentaje de error para cada instante de tiempo posible a través de un análisis lineal discriminante (LDA, de *linear discriminant analysis*) y un promediado mediante validación cruzada de 10 iteraciones. De esta forma, se obtenía el porcentaje de error mínimo estimado para las características de potencia de la banda de frecuencia determinada.
- d. *Generación del feedback.* La banda de frecuencias anteriormente mencionada y sus características eran utilizadas para configurar el LDA, cuya clasificación resultante determinaba el valor del *feedback* 'L'. Este *feedback* era actualizado cada 31,25 ms.

### 2.3 APLICACIÓN DE NAVEGACIÓN

Puesto que el propósito de este estudio es realizar una comparación preliminar entre dos métodos de navegación, se ha decidido simplificar la interfaz de manera que el usuario sólo pudiera seleccionar un comando activo de navegación: avanzar con la BCW. De esta manera, además, queda eliminado cualquier otro factor de la interfaz que pudiera sesgar la comparación.

Han sido puestos a prueba dos modos de control, modo continuo y modo interruptor, sin embargo, el paradigma de selección del comando activo ha sido

similar en ambas interfaces. La tarea activa que fue utilizada como comando de control era la IM motora de mano derecha, siendo la tarea alternativa la realización de algún tipo de operación mental que fuera capaz de mantener al usuario concentrado y sin pensar en la tarea de IM (por ejemplo, cálculo matemático). Cuando el participante llevaba a cabo la tarea de IM, provocaba un estiramiento de una barra – distancia 'L', oculta al usuario – como resultado de la clasificación del LDA cada 31,25 ms. En caso de que el clasificador determinase que la tarea mental era IM de mano derecha, la barra se extendía; de otra manera, si el clasificador determinaba que el participante se encontraba realizando la tarea alternativa, la barra permanecía inmóvil y en un tamaño reducido. En caso de que el usuario deseara realizar una selección, éste debía mantener la barra por encima de un 'umbral de selección' y durante un tiempo superior a un 'tiempo de selección' (alrededor de 1 s). Si la distancia 'L' de la barra descendía por debajo de un 'umbral de selección' durante un tiempo menor que un 'tiempo de reinicio' (alrededor de 0,5 s), el 'tiempo de selección' continuaba acumulándose y no era reiniciado. Los parámetros de 'tiempo de selección' y 'tiempo de reinicio', así como 'el umbral de selección', podían ser configurados manualmente para facilitar o dificultar la capacidad de selección de los usuarios. A partir de este punto, lo que suceda dependerá del tipo de control del que disponga la silla de ruedas.

Por un lado, en el modo continuo, la tarea de IM de mano derecha serviría para mover la BCW, es decir, cuando el usuario realizaba dicha tarea, extendería la barra anteriormente mencionada y el dispositivo avanzaría de forma continuada siempre que la barra se encontrase por encima del 'umbral de selección'. En cambio, para detener o mantener la BCW en reposo, el usuario debería realizar la tarea alternativa y mantener la barra por debajo de dicho umbral.

Por otro lado, con respecto al modo interruptor, la tarea de IM de mano derecha serviría para cambiar el estado de la silla, como si de un interruptor convencional se tratase. En caso de que el usuario se encontrase en reposo y quisiera mover la silla, debería llevar a cabo la tarea de IM y, cuando empezase a moverse, cambiar a la tarea alternativa para continuar el movimiento. Una vez en movimiento, si el usuario deseara detener la silla, simplemente debería volver a ejecutar la tarea de IM.

### 2.4 SILLA DE RUEDAS ROBÓTICA

La BCW utilizada consistió en una modificación de una silla eléctrica Invacare Mistral3 equipada con una placa de control personalizada que emulaba el *joystick* de la silla de ruedas (figura 1). Dicha placa de control permitía el control de la silla de ruedas en

tiempo real y recibía información de dos codificadores rotatorios a través de un bus I2C. Además, era conectada a través de un puerto USB a la aplicación de control escrita en C que era ejecutada en el ordenador portátil. Esta aplicación recibía, vía conexión TCP, los comandos de navegación seleccionados por la aplicación ejecutada en MATLAB. Los dos codificadores rotatorios magnéticos AS5048 fueron colocados en las ruedas para garantizar, a través de un sistema de odometría, que la silla no se desviaba de su trayectoria en ningún momento. La velocidad del dispositivo era de aproximadamente 5,5 s para cada metro de avance (0,18 m/s).

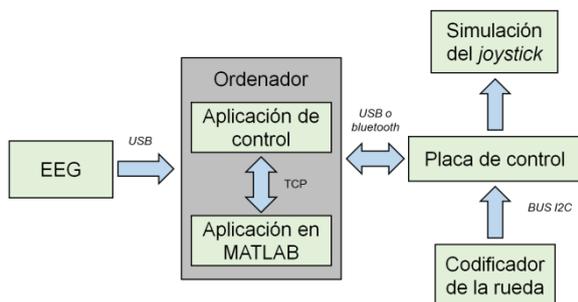


Figura 1. Esquema del sistema de control de la silla de ruedas.

## 2.5 PROCEDIMIENTO

El estudio fue llevado a cabo en una sola sesión de una duración total aproximada de dos horas y constaba de dos partes: i) una prueba inicial de calibración y ii) una tarea de control con la BCW (figura 2). Tanto la tarea de calibración como la de navegación fueron llevadas a cabo en una habitación espaciosa y sin tráfico de gente de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Málaga. Una vez el usuario llegaba a la zona de realización del experimento, se le explicaba con detalle en qué consistiría la prueba, firmaba la hoja de consentimiento informado y se procedía a la preparación de la prueba, incluyendo el montaje del EEG. Todo este proceso de preparación y montaje, previo al comienzo de la prueba, tenía una duración aproximada de 30 min.

### 2.5.1 Calibración

El participante era sentado en la BCW frente a un ordenador portátil de 15,6 pulgadas. La tarea que debía llevar a cabo consistía en la realización de dos tareas mentales para que el sistema acabase reconociendo los cambios producidos en la actividad cerebral del usuario cuando imaginaba cada una de estas tareas, con el fin de que posteriormente pudieran ser utilizadas como comandos de control en



Figura 2. Participante durante la ejecución de la tarea de control con la silla de ruedas.

la BCW. El paradigma de calibración utilizado ha sido presentado en anteriores experimento del grupo UMA-BCI [8]. Concretamente, la prueba consistía en lo siguiente: i) el usuario veía un coche estacionado en el medio de una carretera que, al comenzar el ensayo, arrancaba el motor, ii) tras 2 s, el coche empezaba a avanzar, dando lugar a la posible aparición de un charco de agua en el lado izquierdo de la pantalla que llegará a estar situado al lado del coche a partir de 4,25 s hasta el final del ensayo. En caso de que el charco de agua fuera presentado, el participante debía ejecutar la tarea de IM de mano derecha desde que comenzaba a ver el charco hasta que el sonido del motor del coche se apagase; si por el contrario, el charco no aparecía, el usuario debía concentrarse en realizar la tarea alternativa durante todo ese tiempo, es decir, en el intervalo de tiempo de 2 a 8 s (figura 3). La tarea fue dividida en cuatro bloques de 40 ensayos – 20 de IM y 20 de tarea alternativa, ordenados aleatoriamente – con el fin de no fatigar al usuario y que pudiera descansar entre bloques. Asimismo, el participante disponía de un breve descanso aleatorio de 0,5-3 s entre ensayos para poder acomodarse en la silla o realizar cualquier otro movimiento que no debiera realizar durante el ensayo.

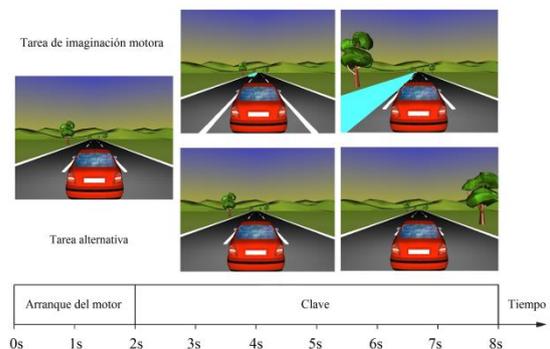


Figura 3. Temporalización de los ensayos de la tarea de calibración

La tarea tenía una duración aproximada de media hora, excluyendo el tiempo de descanso entre bloques. Los datos obtenidos de esta fase eran procesados posteriormente para la obtención de la banda de frecuencia reactiva, el porcentaje de error en la clasificación y los parámetros óptimos del clasificador. Como se mencionó anteriormente, fueron excluidos aquellos participantes que en esta tarea tuvieron una tasa de error en su banda de frecuencia reactiva superior al 30%. El entorno de esta tarea virtual fue desarrollado con VRML 2.0.

### 2.5.2 Tarea de control con la BCW

Aquellos participantes que completaron la tarea de calibración con un porcentaje de error inferior al 30% continuaron en el experimento para poder controlar la BCW. La tarea de navegación a realizar consistió en un tramo recto de un total de 8,4 m en el cual el usuario debía realizar tres secciones de avance de 2 m y dos de parada de 1,2 m (figura 4). El objetivo del participante fue completar los tramos de avance en el menor tiempo posible mientras que en los tramos de parada debía detener la BCW hasta un máximo de 60 s, no siendo necesario que realizara este tiempo de parada de una sola vez. Antes de realizar la tarea, el usuario disponía de un tiempo de entrenamiento manejando la BCW (alrededor de 10 minutos para cada tipo de control), de forma que quedase asegurado que comprendía el paradigma, pudiera practicar un poco y se acostumbrase a su desplazamiento.

Debido a que el participante era instruido para que permaneciera inmóvil durante la prueba, éste recibía determinadas indicaciones acústicas para saber cuándo entraba en cada tramo. Concretamente, cuando el usuario se encontraba aproximadamente a 40 cm de la zona de parada, se le indicaba por voz la palabra «llegando», mientras que la palabra utilizada una vez entraba a la zona de parada fue «dentro». Asimismo, si el usuario realizaba correctamente los 60 s dentro de dicho intervalo, recibía la orden «tiempo, continúa», indicándole que completó exitosamente el minuto de parada y que podía continuar el recorrido. Por el contrario, si el usuario abandonaba la zona de parada antes de los 60 s, se le indicaba mediante la orden «fuera, continúa» que debía completar el siguiente tramo de avance lo más rápido posible.

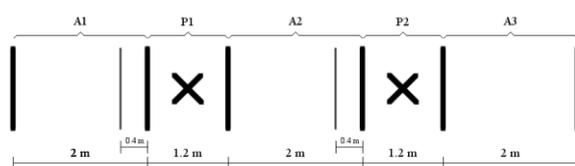


Figura 4. Recorrido de la tarea de navegación a completar con la silla de ruedas.

## 2.6 EVALUACIÓN

Además de las variables relativas a los tiempos y a las selecciones deseadas frente a las no deseadas, para conocer el rendimiento del usuario de forma general, se han creado dos variables que resumen la ejecución del participante para las secciones de avance y parada:

$$\text{Ratio de tiempo de avance} = \frac{At_{min}}{At_o} \quad (1)$$

Siendo  $At_{min}$  el tiempo mínimo requerido para completar los tramos de avance (11 s) y  $At_o$  el tiempo observado, es decir, el ejecutado por el usuario.

$$\text{Ratio de tiempo de parada} = \frac{Pt_o}{Pt_{m\acute{a}x}} \quad (2)$$

Siendo  $Pt_{m\acute{a}x}$  el tiempo máximo objetivo para completar los tramos de parada (60 s) y  $Pt_o$  el tiempo observado, es decir, el ejecutado por el usuario.

Estas ecuaciones recaen en la idea de que un buen rendimiento será aquel en el cual el usuario realice el mayor tiempo de parada posible (nunca superior a 60 s) y menor tiempo de avance (nunca inferior a 11 s, que es lo que tarda la silla en recorrer 2 m). De esta manera, la ecuación 1 registrará el rendimiento de los usuarios en los avances, mientras que la ecuación 2 lo hará en las paradas. Los valores de ambas ecuaciones indicarán mejores resultados cuanto más cercanos sean a uno.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 CALIBRACIÓN

La banda de frecuencia reactiva y el error mínimo obtenido en la clasificación de cada usuario son mostrados en la tabla 1. De media, el mínimo error obtenido fue  $20,38 \pm 8,08\%$ . De los cinco participantes, sólo uno (S2) tuvo una tasa de error superior al punto de corte (30%) y fue eliminado del estudio.

### 3.2 TAREA DE NAVEGACIÓN

La tabla 2 muestra el tiempo que cada usuario estuvo ejecutando cada una de las dos tareas, así como el número de comandos de avance ejecutados, en cada sección del recorrido. Por tanto, de ella puede ser extraído el tiempo medio que emplearon los usuarios para completar un tramo de avance, el cual fue de  $26,42 \pm 5,85$  s para el modo continuo y de  $12,75 \pm 0,83$  s para el modo en interruptor. De igual manera, este

Tabla 1: Resultado de los participantes en la tarea de calibración.

Usuario	Banda de frecuencia reactiva(Hz)	Error mínimo (%)
S1	7-17	8,81
S2	13-16	31,31
S3	12-14	18,44
S4	5-15	20,94
S5	11-15	22,38
Media	9,6±3,44-15,4±1,14	20,38±8,08

tiempo medio puede ser calculado para las secciones de parada, ofreciendo como resultado un tiempo medio de 53,25±12,84 s y 22,5±14,46 s para los paradigmas de continuo e interruptor, respectivamente. Por otro lado, el número medio de comandos de avance requeridos para para completar los tramos de avance fueron de 3,91±1,1 y 0,92±0,32 para los modos continuo e interruptor, respectivamente. Nótese que el valor del número de comandos para el modo interruptor es incluso inferior a la unidad, lo que significa que algunas veces la silla realizó el tramo de avance sin realizar ninguna selección de avance; hay que tener en cuenta que si la silla no realiza ninguna parada desde que entra al tramo de avance, no es necesario que dicho comando sea seleccionado. Asimismo, estos valores en los tramos de parada fueron de 2,88±1,8 selecciones no deseadas del comando de avance en el modo continuo y 1,13±0,48 en el modo interruptor.

Finalmente, en cuanto a las medidas presentadas en el apartado 2.6 *Evaluación* relativas a los ratios de tiempo de avance y parada, podemos observar una tendencia, según la cual, el modo en interruptor ha resultado más eficaz en los tramos de avance,

mientras el modo continuo ha realizado considerablemente mejor los tramos de parada (figura 4).

#### 4 CONCLUSIONES

Los resultados del estudio sugieren que cada modo de control posee características específicas que dan lugar a ciertas ventajas e inconvenientes que deben ser tenidos en cuenta a la hora de ser utilizados. Concretamente, en este estudio preliminar hemos observado una tendencia del modo interruptor a ofrecer un mejor rendimiento que el modo continuo en los tramos de avance, ya que el usuario podía recorrer una mayor distancia con una única selección de comando. No obstante, esta ventaja ha mostrado la posibilidad de ser un inconveniente en los tramos de parada, donde el modo continuo ha ofrecido mejores resultados.

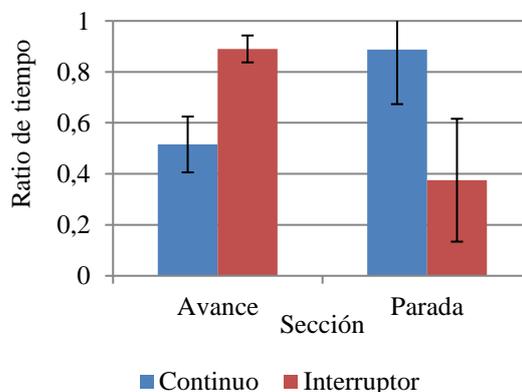


Figura 4. Variables de ratios de tiempo para los tramos de avance (ecuación 1) y los tramos de parada (ecuación 2) para ambos modos de control.

Tabla 2. Variables de rendimiento recogidas durante la tarea de navegación con la silla de ruedas.

Usuario	Manejo	Tiempo (s)										Selecciones de avance				
		A1		P1		A2		P2		A3		A1	P1	A2	P2	A3
		T <sub>a</sub>	T <sub>p</sub>													
S1	continuo	16	5	4	56	11	4	7	1	13	21	5	3	2	1	5
	interruptor	11	0	7	26	10	2	8	43	13	5	1	1	1	2	2
S3	continuo	13	4	6	54	11	0	2	58	16	17	2	2	0	1	5
	interruptor	11	0	8	14	10	0	7	2	12	2	1	1	0	1	1
S4	continuo	16	6	12	48	16	18	7	53	18	11	4	8	5	3	5
	interruptor	11	0	8	2	11	0	7	0	12	4	1	1	0	0	1
S5	continuo	12	0	5	55	22	28	8	50	18	21	1	3	6	2	7
	interruptor	11	0	8	26	11	4	8	6	11	2	1	1	1	2	1

Cada uno de los tramos de avance del recorrido ha sido denominado, del primero al último, como A1, A2 y A3, mientras que las secciones primera y segunda de parada se denotaron como P1 y P2. Asimismo, para cada uno de estos tramos se ha registrado el tiempo que la silla ejecutaba cada uno de los comandos, los de avance (T<sub>a</sub>) y los de parada (T<sub>p</sub>).

Para futuros estudios, sería conveniente volver a estudiar el control sobre los diferentes tipos de paradigmas con usuarios entrenados durante varias sesiones, ya que debe ser tenido en cuenta que todos los usuarios aquí presentados eran nuevos en el manejo de estas interfaces y el control de su señal EEG. Asimismo, podría resultar interesante estudiar la aplicación de nuevos paradigmas de navegación que consigan agrupar las ventajas de estos dos modos de control, de forma que el rendimiento del usuario y, por tanto, su experiencia durante el manejo resulte lo más adecuada posible.

### Agradecimientos

Nos gustaría agradecer la asistencia de los participantes al estudio y la colaboración de Manon Bonnet en el diseño experimental y la realización de las pruebas. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por los fondos Europeos FEDER a través del proyecto LICOM (DPI2015-67064-R(MINECO/FEDER)), y la Universidad de Málaga.

### Referencias

- [1] Corralejo R., Hornero R. and Álvarez D., *A Domestic Control System Using Brain-Computer Interface (BCI)*, vol. 6691 LNCS, no. PART 1. 2011.
- [2] Farwell L.A. and Donchin E., "Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related potentials," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 70, no. 6, pp. 510–523, 1988.
- [3] Fernández-Rodríguez Á., Velasco-Álvarez F. and Ron-Angevin R., "Review of real brain-controlled wheelchairs," *J. Neural Eng.*, vol. 13, no. 6, p. 61001, 2016.
- [4] Kubler A., Neumann N., Kaiser J., Kotchoubey B., Hinterberger Y. and N. Birbaumer, "Brain-computer communication: Self-regulation of slow cortical potentials for verbal communication," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 82, no. 11, pp. 1533–1539, 2001.
- [5] McFarland D. J., McCane L. M., David S. V. and Wolpaw J. R., "Spatial filter selection for EEG-based communication," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 103, no. 3, pp. 386–394, Sep. 1997.
- [6] Millán J. D. R., Galán F., Vanhooydonck D., Lew E., Philips J. and Nuttin M., "Asynchronous non-invasive brain-actuated control of an intelligent wheelchair," *Proc. 31st Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. Eng. Futur. Biomed. EMBC 2009*, vol. 2009, pp. 3361–3364, 2009.
- [7] Pfurtscheller G., Brunner C., Schlögl A. and Lopes da Silva F. H., "Mu rhythm (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks," *Neuroimage*, vol. 31, no. 1, pp. 153–159, 2006.
- [8] Ron-Angevin R. and Díaz-Estrella A., "Brain-computer interface: Changes in performance using virtual reality techniques," *Neurosci. Lett.*, vol. 449, no. 2, pp. 123–127, 2009.
- [8] Ron-Angevin R., Aurélie D., Yvan M., Lespinet-Najib V. and André J.M., "Brain-computer interface: comparison of two control modes to drive a virtual robot," *Eur. Sci. J.*, vol. 7881, no. Im, pp. 177–189, 2015.
- [10] Tanaka K., Matsunaga K. and Wang H. O., "Electroencephalogram-based control of an electric wheelchair," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 21, no. 4, pp. 762–766, 2005.
- [11] Velasco-Álvarez F., Ron-Angevin R., Da Silva-Sauer L. and Sancha-Ros S., "Brain-computer interface: Comparison of two paradigms to freely navigate in a virtual environment through one mental task," *2010 5th Int. Conf. Broadband Biomed. Commun. IB2Com 2010*, no. IB2Com 2010, pp. 1–5, 2010.