

# 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

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

---

### 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 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>	

# SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD

Víctor Martínez-Cagigal\*  
victor.martinez@gib.tel.uva.es

Javier Gomez-Pilar\*, Daniel Álvarez\*, Eduardo Santamaría-Vázquez y Roberto Hornero\*  
javier.gomez@gib.tel.uva.es, dalvgon@ribera.tel.uva.es, eduardo.santamaria@gib.tel.uva.es, robhor@tel.uva.es  
\*Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Valladolid, Paseo Belén 15, 47011, Valladolid, España

## Resumen

*En este estudio se presenta un navegador web basado en un sistema Brain-Computer Interface (BCI) orientado al uso por parte de personas con grave discapacidad. El control de la aplicación lo gobiernan los potenciales evocados P300, generados por el usuario de manera involuntaria a través de un estímulo odd-ball visual. A diferencia de las aproximaciones anteriores, el navegador desarrollado emplea un umbral que determina la atención del usuario, permitiendo un control asíncrono que no requiere modos de lectura para evitar una selección continua de comandos. La aplicación se ha evaluado con 5 sujetos de control y 16 enfermos de esclerosis múltiple, alcanzando precisiones medias del 95,75% y del 84,14%, respectivamente. Dichos resultados sugieren que el navegador web puede ser adecuado para el uso por parte de personas con grave discapacidad.*

**Palabras Clave:** Brain-Computer Interface (BCI), potenciales evocados P300, electroencefalografía (EEG), navegador web, esclerosis múltiple.

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso de sistemas Brain-Computer Interface (BCI) puede mejorar la calidad de vida de las personas que sufren una grave discapacidad. Estos sistemas son capaces de establecer una comunicación entre el cerebro y el entorno sin la necesidad de emplear los músculos o los nervios periféricos, permitiendo a los usuarios controlar aplicaciones con sus propias ondas cerebrales [11]. Aunque existen multitud de métodos para registrar la actividad cerebral, es común emplear el electroencefalograma (EEG) debido a su bajo coste, facilidad de uso, portabilidad y naturaleza no invasiva [11].

Los enfermos de esclerosis múltiple (EM) son, de hecho, usuarios potenciales de este tipo de sistemas. La EM se considera la enfermedad autoinmune del

sistema nervioso central más común en todo el mundo [12]. La enfermedad produce inflamaciones en las vainas de mielina de las neuronas del cerebro y la médula espinal, dificultando la propagación de los estímulos eléctricos. Esto resulta en un amplio rango de síntomas, entre los cuales se incluyen pérdida de movilidad, problemas psiquiátricos y déficits cognitivos [12].

Los sistemas BCI permiten a los enfermos de EM controlar aplicaciones empleando únicamente su señal de EEG, reduciendo su dependencia. Dado el avance de las telecomunicaciones en las últimas décadas, Internet se ha convertido en un medio de comunicación global cotidiano. No obstante, los navegadores web han sido desarrollados para controlarse mediante teclado y ratón, dificultando su accesibilidad para las personas con grave discapacidad [6]. Por tanto, parece adecuado desarrollar una herramienta que facilite la accesibilidad de Internet para aquellas personas cuya capacidad de comunicación está restringida, con el fin de mejorar su calidad de vida y aumentar su autonomía.

Se ha tratado de resolver este problema con anterioridad, empleando tanto señales endógenas, (i.e. potenciales corticales lentos y ritmos sensoriomotores) [1,3]; como señales exógenas (i.e., potenciales evocados P300 y potenciales evocados visuales) [7,10,13]. No obstante, todas las aproximaciones anteriores eran síncronas, siendo necesaria la inclusión de un modo de lectura para evitar una selección continua de comandos. Sin embargo, las aplicaciones síncronas no son prácticas en una navegación realmente completa, puesto que el sistema BCI tomará decisiones incluso cuando el usuario no atiende a la estimulación [8].

En este estudio se presenta un navegador web BCI basado en potenciales evocados P300 capaz de superar las limitaciones de los navegadores anteriores. Para ello, la aplicación debe ser: (i) rápida; (ii) fácil de usar; (iii) autónoma; y (iv) asíncrona.

## 2 SUJETOS Y MÉTODOS

### 2.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio estaba formada por 5 sujetos de control (SC) y 16 enfermos de esclerosis múltiple (EM), reclutados a través del Centro de Dependencia Estatal de Discapacidad y Dependencia (CRE-DyD) de San Andrés del Rabanedo (León). Todos ellos fueron informados sobre la participación en el estudio, dando su consentimiento para formar parte del mismo. En la Tabla 1 se recoge la información demográfica y clínica de los participantes del estudio.

### 2.2 NAVEGADOR WEB BCI

El navegador web desarrollado se compone de tres etapas principales: (1) etapa de adquisición, que registra y pre-procesa la señal EEG; (2) etapa de procesado, que muestra los estímulos y determina el comando seleccionado por el usuario; y (3) etapa de navegación web, que traduce la intención del usuario en comandos de navegación web.

#### 2.2.1 Etapa de adquisición

La etapa de adquisición se encarga de registrar y pre-procesar la señal EEG. Se emplearon un total de 8 electrodos colocados en las posiciones estratégicas más comunes a la hora de detectar potenciales evocados P300: Fz, Cz, Pz, P3, P4, PO7, PO8 y Oz [4]. El registro de la señal se realizó con una frecuencia de muestreo de 256 Hz. Como pre-procesado de la señal, se aplicó un filtro de ranura a 50 Hz, un filtro paso-banda entre 0.1–60 Hz, y un filtro espacial de referencia de media común. Asimismo, se empleó el sistema de propósito general BCI200 para la adquisición y el pre-procesado de la señal [9].

#### 2.2.2 Etapa de procesado

La etapa de procesado se encarga de mostrar los estímulos visuales y de detectar los potenciales evocados P300 del usuario, así como de determinar qué comando desea seleccionar en cada momento. Los estímulos se presentan de acuerdo a un paradigma *odd-ball* visual, conocido con el nombre de *row-col paradigm* [2]. Se presenta una matriz que contiene los posibles comandos a seleccionar por el usuario, cuyas filas y columnas se iluminan aleatoriamente. El usuario únicamente debe fijarse en el comando que desee seleccionar y, una vez se ilumine la fila y la columna que contienen dicho comando, se generará un potencial evocado P300 en la zona parietal de su córtex, aproximadamente 300 ms después de que el estímulo se haya producido [2,11]. Detectando, por tanto, la fila y la columna que los han generado, podemos determinar el comando

Tabla 1. Características demográficas y clínicas de los participantes con esclerosis múltiple

Usuario	Sexo	Edad	Discapacidad motora	Capacidad cognitiva	Capacidad de atención sostenida
E01	M	30	Nula	Muy alta	Muy alta
E02	H	31	Nula	Alta	Muy alta
E03	H	43	Leve	Muy alta	Alta
E04	M	47	Moderada	Normal	Alta
E05	H	56	Moderada	Baja	Muy baja
E06	M	32	Nula	Normal	Normal
E07	H	35	Nula	Muy alta	Muy alta
E08	H	41	Nula	Alta	Alta
E09	F	49	Nula	Normal	Muy alta
E10	H	44	Mild	Normal	Baja
E11	M	41	Moderada	Normal	Alta
E12	H	43	Moderada	Muy alta	Normal
E13	H	44	Nula	Alta	Alta
E14	H	52	Moderada	Muy alta	Normal
E15	M	38	Nula	Normal	Alta
E16	H	47	Moderada	Normal	Normal

M: Mujer, H: Hombre.

que ha deseado seleccionar mediante el cálculo de su intersección. Debido al gran número de comandos necesarios para experimentar una navegación web completa y libre, hemos optado por emplear dos matrices de selección de comandos distintas que se intercalan a voluntad del usuario, tal y como se puede observar en la Figura 1.

Una vez se han iluminado todas las filas y columnas de la matriz que esté activa, es necesario determinar cuándo se han producido los potenciales P300. Para ello, es necesario aplicar una etapa de extracción y clasificación de características. En este caso, las características se extrajeron aplicando una ventana de 800 ms a partir del inicio de cada estímulo y reduciendo la frecuencia de muestreo a 20 Hz, obteniendo, por tanto, 16 muestras por estímulo y canal [5,10]. En la Figura 2 se puede observar la respuesta evocada de todos los sujetos sobre el canal Pz, lo cual confirma que la ventana escogida es lo suficientemente grande como para capturar el potencial P300. Posteriormente, se aplicó un análisis de discriminante lineal paso-a-paso (SWLDA, *Step-Wise Linear Discriminant Analysis*) con el fin de clasificar cada estímulo según la presencia o la ausencia de un potencial P300 [4,5]. De esta manera, una vez se retornen la fila y la columna que contienen potenciales P300 con mayor probabilidad, basta con realizar la intersección de ambas para determinar el comando que desea seleccionar el usuario en tiempo real.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, las matrices de selección de comandos son procesos síncronos. Esto implica que el sistema tomará una decisión tanto si el usuario está atendiendo a la estimulación visual como si no [8]. En este estudio



Figura 1. Interfaz de usuario: la matriz de selección activa se muestra en la parte derecha de la pantalla y el navegador web en la parte izquierda. La matriz de selección puede intercarse entre matriz de navegación (izquierda) y de teclado (derecha) a voluntad del usuario. Como se muestra en el *buffer* (a), el usuario ha seleccionado “005” y, por tanto, las selecciones potenciales (b) se marcan en verde, mientras que el resto (c) se mantienen en gris. En esta captura, la penúltima fila de la matriz de navegación está siendo iluminada.

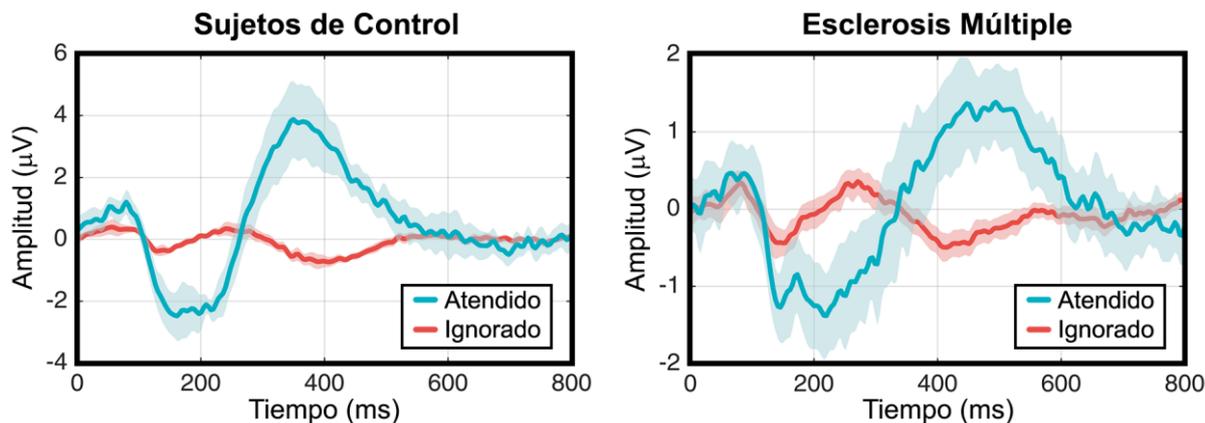


Figura 2. Respuesta evocada en el canal Pz de todos los usuarios SC (izquierda) y EM (derecha) cuando atienden al estímulo visual (azul) o lo ignoran (rojo). La línea gruesa muestra la media de todos los sujetos de cada sub-grupo, mientras que el área sombreada indica la desviación típica.

hemos aplicado un umbral asíncrono que monitoriza la atención del usuario y determina si está prestando atención a la estimulación. Para ello, es necesario registrar de manera *offline* una serie de intentos del usuario deletreando una palabra mientras atiende a la estimulación y otros intentos ignorándola. Debido a la ausencia de atención, se espera que los *scores* (i.e., probabilidad de encontrar un potencial P300 en cada iluminación) retornados por el clasificador SWLDA de los intentos ignorando la matriz sean menores que los intentos atendidos. Posteriormente, se calcula la curva ROC que ilustra el compromiso entre sensibilidad y especificidad a la hora de discernir entre intentos atendidos e ignorados. Finalmente, el umbral se calcula como el punto óptimo de dicha curva, es decir, el punto que maximiza el par sensibilidad-especificidad en mayor medida.

### 2.2.3 Etapa de navegación web

La etapa de navegación web se encarga de recibir e interpretar los comandos seleccionados y proveer realimentación al usuario en tiempo real. Como se puede ver en la Figura 1, la matriz de selección de comandos se coloca a la derecha de la pantalla, mientras que a la izquierda se muestra el navegador web. Esta etapa se ha desarrollado como una extensión del navegador web Google Chrome. Si el usuario desea seleccionar un hipervínculo, debe seleccionar el comando “TAG”. Una vez seleccionado, se inicializa un *buffer* en la parte superior izquierda de la pantalla que indica los comandos que va seleccionado el usuario. Asimismo, la extensión identifica todos los nodos (i.e., objetos seleccionables, como enlaces, botones o formularios)

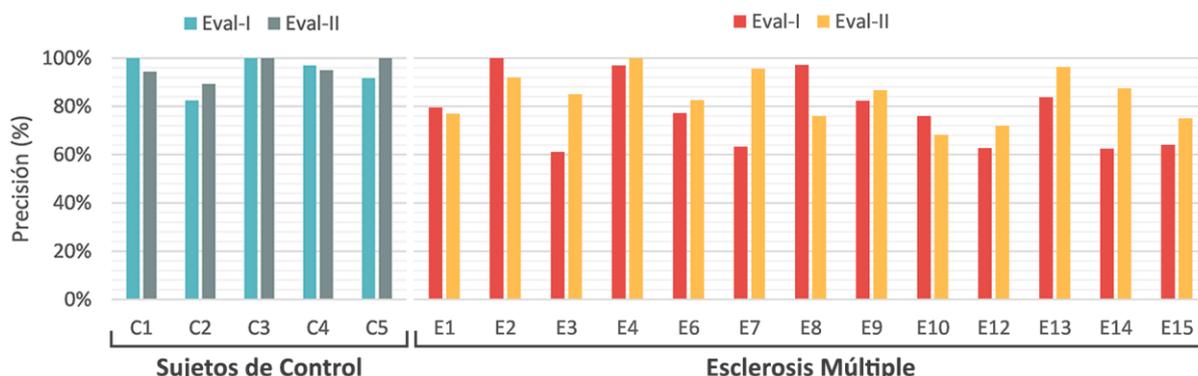


Figura 3. Precisiones medias alcanzadas por cada uno de los sujetos de la población de estudio en las sesiones de evaluación de la aplicación: (izquierda) sujetos de control, (derecha) enfermos de esclerosis múltiple.

de la web que se está visualizando y los etiqueta con una codificación formada por los números 0–5. Para visitar un enlace basta con introducir su codificación [7]. Si el usuario comete un error, puede solventarlo. De manera adicional, se marcan con color verde las selecciones en potencia, es decir, aquellos nodos cuya codificación empieza por el código previamente introducido por el usuario, con el objetivo de facilitar el uso de la aplicación.

### 2.3 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Durante las sesiones de evaluación, todos los participantes estuvieron sentados en una silla o en su propia silla de ruedas, en frente de una pantalla panorámica que mostraba la aplicación. Cada usuario realizó cuatro sesiones distintas: dos sesiones de calibración y dos sesiones de evaluación.

El objetivo de las sesiones de calibración era entrenar los pesos del clasificador SWLDA, el número de secuencias y el valor del umbral óptimos para cada usuario. Para los dos primeros se ordenó a los usuarios tratar de escribir 4 palabras de 6 caracteres. Posteriormente, se entrenó el clasificador y se hallaron los pesos y el número de secuencias óptimo. Para calibrar el umbral, se ordenó a los usuarios ignorar y atender a la matriz de navegación durante 4 palabras de 6 caracteres. Una vez recogidos los *scores* de cada una de las selecciones, se calculó el umbral óptimo mediante una curva ROC.

Las sesiones de evaluación consistieron en la realización de una serie de tareas con el navegador. En la primera sesión se incluyeron 5 tareas distintas sin usar el umbral de decisión, mientras que en la segunda se realizaron 3 tareas con el umbral activo. Las tareas involucraban la navegación a través de *Wikipedia*, la selección de un enlace, la búsqueda en *Google*, la publicación de un *tweet*, la respuesta a un e-mail y la lectura de una página web.

## 3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos se han analizado tanto de forma cuantitativa (i.e., medidas de precisión, tiempo, etcétera), como cualitativa (i.e., cuestionarios de satisfacción). En la Figura 3 se muestran las precisiones medias obtenidas para cada usuario en las sesiones de evaluación. Nótese que los usuarios EM etiquetados con los números 5, 11 y 16 se descartaron de la evaluación por obtener precisiones inferiores al 70% en el entrenamiento del clasificador. Asimismo, los resultados del análisis cualitativo se muestran en la Figura 4.

## 4 DISCUSIÓN

Tal y como se ha mencionado previamente, tres de los usuarios EM se descartaron de la evaluación debido a la baja precisión de su clasificador en las sesiones de calibración. Esto se debe a que su respuesta P300 estaba demasiado atenuada y/o su latencia era muy variable, probablemente debido un déficit de atención mientras se realizaba la tarea. Los usuarios SC alcanzaron mejores precisiones en las dos sesiones de calibración ( $100,00\% \pm 0,00\%$  y  $95,00\% \pm 4,56\%$ ) que los usuarios EM ( $80,45\% \pm 13,65\%$  y  $79,81\% \pm 10,60\%$ ). Asimismo, no solo el rendimiento de los usuarios SC fue superior, sino que el número de secuencias óptimo para ellos fue inferior al requerido por los usuarios EM (SC  $8,90 \pm 2,07$ ; EM  $9,85 \pm 3,29$ ), causando una mayor velocidad a la hora de utilizar la aplicación.

Aunque todos los usuarios SC pudieron superar todas las tareas en ambas sesiones de evaluación, no todos los usuarios EM fueron capaces de hacerlo. En la primera sesión de evaluación, con el umbral de decisión desactivado, los usuarios SC alcanzaron mayores precisiones que los usuarios EM (SC  $94,23\% \pm 7,39\%$ ; EM  $77,46\% \pm 14,24\%$ ). Todos los usuarios SC alcanzaron precisiones superiores al

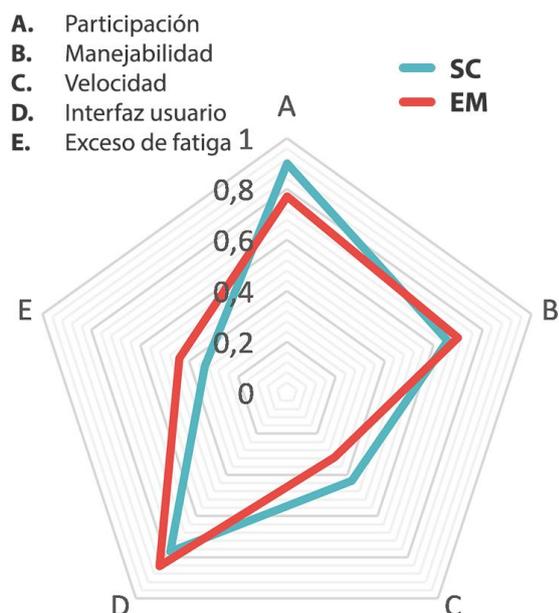


Figura 4. Resultados del análisis cualitativo realizado mediante cuestionarios de satisfacción. Se han evaluado cinco aspectos de la aplicación: (a) participación, (b) manejabilidad, (c) velocidad, (d) interfaz de usuario y (e) exceso de fatiga visual.

80%, y dos de ellos del 100%. En el caso de los usuarios EM, cinco de ellos superaron el 80%, y uno de ellos consiguió un control perfecto.

En general, en la segunda sesión de evaluación, con el umbral ya activo, se observa una mejora en el rendimiento de toda la población de estudio, aunque los usuarios SC siguen alcanzando precisiones más altas que los usuarios EM (SC  $95,75\% \pm 4,48\%$ ; EM  $84,14\% \pm 10,08\%$ ). Todos los usuarios SC superaron el 80% y dos de ellos alcanzaron el 100%. Ocho usuarios EM superaron el 80% y uno de ellos alcanzó un control perfecto. Estos resultados sugieren que la inclusión del umbral de atención del usuario no solo permite un control asíncrono de la aplicación, sino que también aumenta el rendimiento del sistema.

El análisis cualitativo muestra que todos los participantes, en general, se han mostrado satisfechos con la aplicación. El aspecto mejor valorado por ambos sub-grupos fue la interfaz de usuario, debido a su simplicidad y facilidad de uso. Asimismo, los usuarios destacaron que no sufrieron un exceso de fatiga, lo cual permite utilizar la aplicación durante un largo periodo de tiempo sin experimentar cansancio visual. Algunos usuarios manifestaron estar ligeramente de acuerdo con que se encontraban satisfechos por finalizar las sesiones de evaluación. Esto indica que la participación les suponía un esfuerzo que debe tenerse en cuenta a la hora de planificar y diseñar el contenido y duración de las sesiones. También cabe destacar que los usuarios EM demandaron mayor velocidad en la aplicación. Sin

embargo, este aspecto se encuentra directamente relacionado con la calidad del clasificador. Un clasificador más robusto es capaz de obtener mayores precisiones con un menor número de secuencias y, por ende, de aumentar la velocidad del sistema.

La Tabla 2 muestra una comparación entre navegadores web BCI desarrollados con anterioridad y el presente estudio. A pesar de que el etiquetado de nodos hace que el navegador propuesto sea más rápido y autónomo que otros estudios previos [1,3], la mayor ventaja radica en la asincronía de la aplicación. El uso del umbral de atención del usuario evita el modo de lectura rígido de otras aproximaciones [7,10], así como la necesidad de supervisión constante [1,3]. Dicho umbral permite a los usuarios experimentar una navegación libre de restricciones mientras el sistema detecta las intenciones del usuario basándose en su atención.

Asimismo, las diferencias obtenidas entre los resultados de los usuarios SC y EM sugieren que la razón radica en los síntomas de la enfermedad. Se ha observado un rendimiento del clasificador muy variable para los sujetos EM. Aun así, la precisión alcanzada por los usuarios EM (84,14%) es mayor a la alcanzada por los usuarios de ELA en otros estudios [1,3,7]. De hecho, se han encontrado diferencias significativas entre los resultados de nuestro trabajo y las precisiones reportadas por Mugler et al. [7] ( $p$ -valor = 0.0193, Mann-Whitney  $U$ -Test). Aunque hay que tener cuidado al comparar ambas enfermedades, las precisiones obtenidas muestran una precisión general más alta que en los estudios previos. Asimismo, el daño cognitivo que se presenta en los enfermos EM no suele presentarse en los enfermos de ELA, puesto que el daño neurológico de estos últimos se centra principalmente en las neuronas motoras. Por esta razón, se propone evaluar la aplicación con enfermos de ELA como una línea futura de la investigación. En la misma línea que lo anterior, las precisiones alcanzadas por los usuarios SC (95,75%) también son ligeramente superiores a las reportadas en estudios previos, aunque no supone una diferencia significativa ( $p$ -valor > 0.05, Mann-Whitney  $U$ -Test) [7,10,13]. Los resultados obtenidos, por tanto, indican que el uso del umbral desarrollado puede ser una contribución importante para futuros sistemas BCI asíncronos, proveyendo al usuario de un control total de la aplicación.

A pesar de que los resultados sugieren que el navegador web BCI desarrollado es adecuado para su uso por parte de personas con grave discapacidad, podemos destacar una serie de limitaciones. La mayor limitación radica en la gran variabilidad del rendimiento del clasificador entre usuarios y sesiones. La robustez del sistema se vería aumentada si se redujese esta variabilidad, por ejemplo, empleando técnicas de extracción y clasificación de

Tabla 2. Comparación entre navegadores web BCI anteriores y el presente estudio.

Artículo	Señal de control	Tipo de señal	Funcionalidades		Evaluación		
			Selección enlaces	Asincronía	Sujetos	Precisión media	
Karim <i>et al</i>	SCPs	Endógena	Árbol dicotómico	Supervisión	1	ELA	80,00%
Bensch <i>et al</i>	SCPs o SMR	Endógena	Árbol dicotómico	Supervisión	4	ELA	-
Mugler <i>et al</i>	P300	Exógena	Etiquetado de nodos	Modo lectura	3	ELA	72,00%
Blasco <i>et al</i>	P300	Exógena	Cursor	Modo lectura	10	SC	93,40%
Yu <i>et al</i>	P300 y SMR	Ambos	Cursor	-	4	SC	93,00%
<b>Presente estudio</b>	<b>P300</b>	<b>Exógena</b>	<b>Etiquetado de nodos</b>	<b>Umbral de atención</b>	<b>16</b>	<b>EM</b>	<b>84,14%</b>
					<b>5</b>	<b>SC</b>	<b>95,75%</b>

SCPs: Potenciales Corticales Lentos (*Slow Cortical Potentials*), SMR: Ritmos Sensoriomotores (*Sensori-Motor Rhythms*), ELA: Esclerosis Lateral Amiotrófica, SC: Sujetos de Control, EM: Esclerosis Múltiple

características más adecuadas [8]. Adicionalmente, el umbral asíncrono que monitoriza la atención del usuario se calcula directamente sobre los *scores* retornados por SWLDA y, por tanto, depende del clasificador empleado. Otra limitación a solventar en una futura versión es la imposibilidad de alternar entre mayúsculas y minúsculas, esencial para rellenar formularios. Asimismo, aunque hemos incluido una gran cantidad de símbolos, la inclusión de otra matriz adicional con el resto podría contribuir a acceder a cualquier página web desde la barra de direcciones.

## 4 CONCLUSIONES

Este estudio se ha centrado en proponer el uso de un navegador web BCI basado en potenciales evocados P300 para personas con grave discapacidad. El sistema procesa la señal EEG del usuario mediante un paradigma *odd-ball* visual compuesto por dos matrices distintas, que contienen comandos de navegación y caracteres alfanuméricos. Los comandos seleccionados por el usuario en tiempo real se envían a una extensión de *Google Chrome*, que ofrece realimentación al usuario. El navegador se ha evaluado sobre una población de 5 usuarios SC y 16 usuarios EM. Los resultados sugieren que el navegador es capaz de permitirles navegar por Internet de manera sencilla, rápida y autónoma. Las precisiones medias obtenidas por los usuarios SC y EM (95,75% y 84,14%, respectivamente) son superiores a las indicadas en estudios previos. De hecho, se han encontrado diferencias significativas en el aumento de precisión con respecto a otros estudios para la población enferma ( $p$ -valor = 0.0193). Por lo tanto, los resultados indican que el umbral de control asíncrono, así como el navegador web BCI en general, son una contribución útil para los usuarios con grave discapacidad motora, capaz de facilitar su integración social, aumentar su autonomía y, por ende, su calidad de vida.

## Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado parcialmente mediante el proyecto TEC2014-53196-R del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y FEDER, así como el proyecto DPI2015-69098-REDT “NEUROTEC – Red Temática de Investigación en Neurotecnologías para la Asistencia y la Rehabilitación”. También ha sido financiado parcialmente por el Centro de Referencia Estatal de Discapacidad y Dependencia del IMSERSO. V. Martínez-Cagigal se encuentra financiado por un contrato de “Promoción de Empleo Joven e Implantación de la Garantía Juvenil” del MINECO y la Universidad de Valladolid.

## Referencias

- [1] M. Bensch, A. a Karim, J. Mellinger, T. Hinterberger, M. Tangermann, M. Bogdan, W. Rosenstiel, N. Birbaumer, Nessi: An EEG-Controlled Web Browser for Severely Paralyzed Patients., *Comput. Intell. Neurosci.* 2007 (2007) 71863.
- [2] L.A. Farwell, E. Donchin, Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 70 (1988) 510–523.
- [3] A.A. Karim, T. Hinterberger, J. Richter, J. Mellinger, N. Neumann, H. Flor, A. Kubler, N. Birbaumer, Neural Internet: Web Surfing with Brain Potentials for the Completely Paralyzed, *Neurorehabil. Neural Repair.* 20 (2006) 508–515.
- [4] D.J. Krusienski, E.W. Sellers, F. Cabestaing, S. Bayouth, D.J. McFarland, T.M. Vaughan, J.R. Wolpaw, A comparison of classification

- techniques for the P300 Speller., *J. Neural Eng.* 3 (2006) 299–305.
- [5] D.J. Krusienski, E.W. Sellers, D.J. McFarland, T.M. Vaughan, J.R. Wolpaw, Toward enhanced P300 speller performance, *J. Neurosci. Methods.* 167 (2008) 15–21.
- [6] J. Mankoff, A. Dey, U. Batra, M. Moore, Web accessibility for low bandwidth input, *Proc. Fifth Int. ACM Conf. Assist. Technol.* (2002) 17–24.
- [7] E.M. Mugler, C. a. Ruf, S. Halder, M. Bensch, A. Kübler, Design and implementation of a P300-based brain-computer interface for controlling an internet browser, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 18 (2010) 599–609.
- [8] A. Pinegger, J. Faller, S. Halder, S.C. Wriessnegger, G.R. Müller-Putz, Control or non-control state: that is the question! An asynchronous visual P300-based BCI approach., *J. Neural Eng.* 12 (2015) 014001.
- [9] G. Schalk, D.J. McFarland, T. Hinterberger, N. Birbaumer, J.R. Wolpaw, BCI2000: A general-purpose brain-computer interface (BCI) system, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 51 (2004) 1034–1043.
- [10] J.L. Sirvent Blasco, E. Iáñez, A. Úbeda, J.M. Azorín, Visual evoked potential-based brain-machine interface applications to assist disabled people, *Expert Syst. Appl.* 39 (2012) 7908–7918.
- [11] J.R. Wolpaw, N. Birbaumer, D.J. McFarland, G. Pfurtscheller, T.M. Vaughan, Brain-computer interfaces for communication and control, *Clin. Neurophysiol.* 113 (2002) 767–91.
- [12] World Health Organization, Atlas: Multiple sclerosis resources in the world, *Vasa.* (2008).
- [13] T. Yu, Y. Li, J. Long, Z. Gu, Surfing the internet with a BCI mouse, *J. Neural Eng.* 9 (2012) 036012.