

# ACTAS

DE LAS

## XXXVIII Jornadas de Automática

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



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



**CEA**  
Comité Español  
de Automática

Colabora

**Gijón**

Convention Bureau



Actas de

**XXXVIII**

**Jornadas de Automática**

© 2017 Universidad de Oviedo  
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

## Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López  
Presidente del Comité Organizador



## Program Committee

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

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



## Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro  
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor



## Table of Contents

---

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

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....	108
<i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>	
Control Predictivo Basado en Datos.....	115
<i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....	122
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	
Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.	130
<i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>	
AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....	138
<i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>	
OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	146
<i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>	
Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....	154
<i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.	160
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>	
Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....	167
<i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>	
Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....	174
<i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>	
An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....	181
<i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>	
Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid.....	189
<i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>	
Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....	197
<i>Jesús M. Zamarréño, 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>	
Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico .....	360
<i>Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto</i>	
Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias .....	368
<i>Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo</i>	

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

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



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

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

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

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

---

### Sistemas de Tiempo Real

---

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

---

### Visión por Computador

---

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

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

# POSIBILIDADES DEL USO DE TRAMAS ARTIFICIALES DE IMAGEN MOTORA PARA UN BCI BASADO EN EEG

Josep Dinarès-Ferran<sup>1,2</sup>  
(dinares@gtec.at, josep.dinares@uvic.cat)

Christoph Guger<sup>1</sup> y Jordi Solé-Casals<sup>2</sup>

<sup>1</sup>g.tec medical engineering Spain SL, C/ Plom 5, 08038 Barcelona, España

<sup>2</sup>Universitat de Vic – Universitat Central de Catalunya, C/ de la Laura 13, 08500, Vic, España

## Resumen

*La utilización de una interfaz cerebro-computadora basada en el paradigma de la imagen motora requiere un entrenamiento para adaptar el sistema al cerebro del usuario. Este proceso de adecuación para crear un clasificador útil requiere un número muy elevado de tramas de señal EEG, y adquirir esas tramas requiere tiempo. Así, ahorrar tiempo de entrenamiento puede incrementar el tiempo dedicado al uso de la aplicación de la interfaz. Utilizando la descomposición EMD (Empirical Mode Decomposition) sobre las tramas EEG y mezclando sus IMFs (Intrinsic Mode Function), es posible crear nuevas tramas EEG artificiales e incrementar el número total de tramas para entrenar el clasificador. Los resultados preliminares del estudio muestran que las tasas de error de los clasificadores creados con tramas reales y artificiales mezcladas son similares a las tasas de error del clasificador creado solo con tramas reales. Estos resultados deberán ser confirmados con estudios futuros donde se pueda hacer una validación estadística de los mismo.*

**Palabras Clave:** BCI, EMD, Empirical Mode Decomposition, Interfaz cerebro-computadora, imagen motora, EEG.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las interfaces cerebro-Computadora (ICC), o Brain-Computer Interfaces (BCI) en inglés, son sistemas capaces de controlar dispositivos externos solo con las señales del cerebro [1]. Un BCI se divide en tres partes principales:

1. Sistema de adquisición de las señales cerebrales.
2. Sistema de procesamiento.
3. Sistema externo.

Hay diferentes sistemas de adquisición y su elección depende de la aplicación a dar al BCI [1], [2]. La

utilización de gorros EEG (Electroencefalograma) permite conseguir sistemas no invasivos con una resolución temporal alta, y que son adecuados para aplicaciones en tiempo real [2]. Las señales EEG son diferencias de potencial eléctrico de distintos puntos del cuero cabelludo y son la respuesta a la activación o disparo de las neuronas como respuesta a un estímulo externo. La sincronización a esta respuesta de diferentes grupos de neuronas dará lugar a una mayor diferencia de potencial que puede ser captado y transferido al sistema de procesamiento.

Un ordenador, o una unidad de procesamiento, hará la tarea de procesar las señales de EEG (sistema de procesamiento). Estas señales son altamente ruidosas y para capturar la información necesaria en ellas se utilizan técnicas de filtrado y de detección de patrones [1]. Los paradigmas son las instrucciones que sigue el usuario de la BCI y que permiten provocarle respuestas cerebrales conocidas que pueden ser detectadas por el sistema de procesamiento, y ser utilizadas para la actuación sobre el sistema externo, el cual puede ser un monitor o cualquier dispositivo controlado con señales digitales.

Según cual sea la aplicación a la que se destina el BCI, se utilizará el paradigma adecuado [3]–[5]. Uno de los más utilizados es la imagen motora (Motor Imagery) [6], consistente en que el sujeto se imagine el movimiento de una de sus manos durante unos segundos. Esta imaginación activa zonas de la corteza motora muy similares a las que se activan cuando se ejecuta el movimiento real de la mano. Así, las aplicaciones de BCI basadas en la imagen motora posibilitan la elección entre dos acciones en función de si uno se está imaginado el movimiento de una u otra mano.

Recientemente, los BCI basados en señales EEG y la imagen motora están comenzando a utilizarse en la neurorrehabilitación de pacientes que han perdido la movilidad en una de sus extremidades superiores como consecuencia de un ictus [7], [8]. También se están utilizando para la comunicación en pacientes con desorden de consciencia [9], [10].

## 2 PROBLEMÁTICA

Al no ser el cerebro una estructura idéntica entre diferentes personas, las señales EEG derivadas de los paradigmas pueden contener diferencias sutiles. Es por esto que en general los sistemas BCI precisan de una de calibración, o entrenamiento, previo a su uso, consiguiéndose así que el BCI se adapte a las especificaciones de las señales EEG de cada usuario.

Para conseguir esta adaptación se utiliza un clasificador de la señal de EEG. Debido a que la señal eléctrica del cerebro debe atravesar el cráneo y los tejidos de la cabeza, esta llega muy debilitada al amplificador y con una muy baja relación señal a ruido, y además con una baja resolución espacial. Para generar un clasificador bueno con todos estos impedimentos, se necesitan una cantidad alta de repeticiones de los patrones para poder promediarlos y obtener una relación señal a ruido superior. Cuantas más repeticiones se consigan, mejor calidad señal, y mejor clasificador.

En el caso de BCI basados en la imagen motora este proceso es más largo que en otros paradigmas, y en la mayoría de caso añade un tiempo importante e imprescindible para el control adecuado del sistema. En el caso de aplicaciones destinadas a la neurorrehabilitación donde los usuarios son pacientes con distintos grados de minusvalía, estos periodos largos de tiempo pueden llegar a ser una molestia. Y cuanto más corto sea el tiempo destinado a la calibración, mayor puede ser el tiempo destinado a la aplicabilidad del BCI, y mayor puede ser el beneficio conseguido.

## 3 USO DE EMD PARA GENERAR NUEVAS TRAMAS

### 3.1 PARADIGMA DE IMAGEN MOTORA

La imagen motora del sujeto se obtiene gracias a la definición de un paradigma. Este consiste en que el sujeto debe imaginarse haciendo la dorsiflexión de una de sus dos muñecas durante ocho segundos, durante los cuales se guardaran los datos de EEG. Cada segmento de ocho segundos del sujeto imaginándose el movimiento se llama trama (Figura 1). Al inicio de cada trama el sujeto recibirá una indicación sonora sobre cuál de las dos muñecas debe imaginarse el movimiento. El paradigma determinará de una forma pseudo-aleatoria el lado (derecho o izquierdo) en cada nueva trama, hasta obtener un número predeterminado de tramas iguales para cada lado.

Al finalizar el paradigma se tendrán un número  $N$  de tramas de señal EEG de 8 segundos para cada lado ( $N/2$  para el lado derecho y  $N/2$  para el lado

izquierdo). Estos dos conjuntos de tramas son los utilizados para entrenar el clasificador que se utilizará en tramas posteriores para determinar el lado que el sujeto se está imaginando el movimiento.



Figura 1: Trama del paradigma de imagen motora. Los primeros dos segundos el sujeto está relajado. A los dos segundos suena un pitido y a continuación suena una indicación sonora del lado a imaginarse.

### 3.2 GENERAR NUEVAS TRAMAS

Como la calidad del clasificador es directamente proporcional al número de tramas de cada lado, tener un número elevado de tramas es vital para que el sujeto tenga un buen control del BCI [11]. Dadas las limitaciones para obtener un número elevado de tramas reales, se quiere estudiar la posibilidad de crear tramas artificiales a partir de las tramas reales ya existentes.

Por la naturaleza no lineal y no estacionaria de las señales EEG, se estima oportuno utilizar la descomposición EMD [12] para generar estas nuevas tramas artificiales.

### 3.3 EL ALGORITMO EMD

El algoritmo EMD (Empirical Mode Decomposition) es un método de descomposición de señales que permite analizar señales de naturaleza no-estacionaria y no-lineal.

La EMD descompone la señal en un número finito y pequeño de funciones intrínsecas llamadas IMFs (Intrinsic Mode Functions) que representan las oscilaciones características de la señal. Cada IMF debe satisfacer dos condiciones: (i) el número de cruces por cero y el número de máximos será igual, o al menos diferente de uno, para todo el conjunto de datos; y (ii) en cualquier punto, el valor medio de la

envolvente definida por el máximo local y la definida por el mínimo local, será cero [12].

Para una señal cualquiera, los pasos para obtener sus funciones IMF son los siguientes:

- (i) determinar el máximo y el mínimo local para
- (ii) generar la envolvente superior e inferior conectando esos máximos y mínimos locales respectivamente, con un método de interpolación
- (iii) determinar la media local haciendo la media de la envolvente superior e inferior de la señal.
- (iv) sustraer la media local de los datos:  $x(t) - m(t) = s(t)$
- (v) si  $s(t)$  cumple con el criterio de parada, se puede definir  $s(t) = IMF_n(t)$  como a una IMF, sino se asigna  $s(t) = m(t)$  y se vuelve a empezar el proceso en (i).

Una vez finalizado el algoritmo, la señal se puede definir a partir de sus IMFs (1). Quedando definida como:

$$x(t) = \sum_{n=1}^n IMF_n(t) + \epsilon_n(t) \quad (1)$$

Donde  $n$  es el número de IMFs obtenidas de la EMD, y  $\epsilon_n(t)$  es una constante o la media de la tendencia.

### 3.4 NUEVAS TRAMAS

Como se puede apreciar en (1), una señal descompuesta con la EMD se puede recuperar completamente a partir de sus IMFs y del residuo. Del mismo modo, si cambiásemos una de sus IMFs por una IMF de otra señal descompuesta previamente, obtendríamos de (1) otra señal diferente. Con esta idea se pretende combinar diferentes IMFs de diferentes señales de EEG para crear una nueva señal EEG distinta a cualquiera de las señales originales que han contribuido con su IMF. Aun así, esta señal resultante de este proceso de creación artificial, mantendrá una estructura y unas características similares a las de las señales contribuidoras.

Una trama está formada por señales de EEG de ocho segundos de duración cada uno, teniendo tantas señales como canales EEG. Para crear nuevas tramas artificiales se utilizarán IMFs de otras tramas obtenidas de correr el paradigma. La selección de las tramas contribuidoras se hará aleatoriamente y solo se tendrá en cuenta que todas pertenezcan a la misma clase (lado derecho o lado izquierdo) que la trama artificial a generar, y que solo contribuyan con una sola IMF para cada trama artificial nueva.

## 4 MÉTODO

### 4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PARADIGMA

La implementación del paradigma se ha realizado con un sistema (recoveriX de g.tec medical engineering GmbH) que provee una interfaz gráfica que permite correr el paradigma y guardar los datos para su procesamiento posterior. El sistema está compuesto de un gorro EEG de 16 canales (g.SCARABEO de g.tec medical engineering GmbH) puestos justo encima del córtex sensoriomotor según el sistema internacional 10/10: FC5, FC1, FCz, FC2, FC6, C5 C3, C1, Cz, C2, C4, C6, CP5, CP1, CP2, CP6. El electrodo de la posición Fpz está conectado a tierra, i en el lóbulo de la oreja derecha hay un electrodo de referencia. El gorro EEG está conectado a un amplificador biomédico (g.USBamp de g.tec medical engineering GmbH), que a su vez está conectado mediante un cable USB al ordenador.

Cada vez que finaliza el paradigma el sistema proporciona los datos en bruto de donde se puede obtener las tramas para su procesamiento posterior, diferenciadas por el lado del movimiento a imaginar (derecha o izquierda). El paradigma recoge un total de 80 tramas: 40 para el lado derecho y 40 para el lado izquierdo. A este conjunto de tramas se le llama colección de tramas.

### 4.2 PROCESADO DE LOS DATOS

#### 4.2.1 Preprocesado de la señal

Una vez obtenidos los datos estos se procesan en diferentes fases. Cada trama consta de 16 señales (una por canal) de 8 segundos con una frecuencia de muestreo de 256 Hz, y una indicación de la clase a la que pertenece (derecha o izquierda). A cada una de las señales se les aplica un filtro digital de 8-30 Hz.

#### 4.2.2 Obtención de un clasificador

Para la obtención de un clasificador las tramas se separan en dos grupos según sea su clase (imaginación del movimiento de la muñeca derecha o izquierda), y a continuación se calcula un filtro espacial CSP (Common Spatial Pattern) [13][14].

Una vez obtenido los parámetros del CSP, utilizando solo los dos primeros y los dos últimos vectores, se aplican a todas las tramas, obteniéndose una matriz de datos para cada trama con 4 canales EEG de 8 segundos. A estas señales se efectúa un cálculo continuo de la varianza de su amplitud en una ventana de 1.5 segundos. Estos valores de varianza, una vez normalizados, representan las características que se utilizarán para entrenar el clasificador LDA (Linear Discriminant Analysis)[7].



Así, para un conjunto de tramas se obtiene un clasificador formado por los parámetros del CSP y los parámetros del LDA. Para asegurar que el clasificador no esté sobreentrenado se aplicará un proceso de validación cruzada.

#### 4.2.3 Cálculo de la tasa de error del clasificador

Para la evaluación de un clasificador se utiliza su tasa de error. Una tasa de error elevada significa que el clasificador no es capaz de determinar a qué clase pertenecen las tramas. Para calcular la tasa de error se necesitan un clasificador y una colección de tramas (donde cada trama tendrá asociada una clase). A cada una de las tramas se las pasa por el clasificador, obteniendo a cada muestra (256 muestras cada segundo) y a la salida del clasificador el valor de la clase a la que pertenece. Si la clase resultante del clasificador no coincide con la real de la trama, esa muestra se indica como errónea. Una vez finalizadas todas las muestras de todas las tramas se calcula el porcentaje de fallos, obteniendo la tasa de error.

La tasa de error se diferencia en dos valores: derecha e izquierda. De esta forma se puede diferenciar el error cuando se clasifican las tramas del lado derecho y las del lado izquierdo.

### 4.3 CREACIÓN DE TRAMAS ARTIFICIALES

A partir de una colección de tramas se creará una nueva colección de tramas en la cual se van a reemplazar un número determinado de tramas reales por tramas artificiales (el mismo número de tramas para cada una de las clases). Así, si se cambia una trama correspondiente al lado derecho, se debe también reemplazar una del lado izquierdo.

Para proceder a hacer la transformación de la colección de tramas, se seleccionan aleatoriamente entre todas las tramas las que se van a reemplazar. Las otras tramas, serán las que contribuirán con sus IMFs en la obtención de las nuevas tramas artificiales. Para cada una de las tramas artificiales se seleccionará aleatoriamente cual es la trama que le cede su primera IMF, cual es la que le cede su segunda IMF, y así sucesivamente hasta obtener todas las IMFs. Con todas las IMFs seleccionadas aleatoriamente y aplicando la fórmula (1), obtenemos la trama artificial.

Como una trama está compuesta de 16 canales, cada trama que cede su IMF para una trama nueva, en realidad cederá las 16 IMF que corresponden a sus 16 canales. Así, en realidad se están creando 16 señales nuevas para cada trama.

## 4.4 PROCEDIMIENTO

Para el experimento solo se utiliza una única colección de 80 tramas (40 para cada clase) que se han obtenido de un sujeto sano de 37 años. A partir de esta colección de tramas se crean otras ocho colecciones de tramas, cada una con un número diferente de tramas artificiales: 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30 y 40. Para cada colección de tramas se calcula su clasificador, obteniendo un total de nueve clasificadores (el de la colección original y los ocho de las colecciones con tramas artificiales).

El siguiente paso es calcular la tasa de error de cada uno de los nueve clasificadores, utilizando los datos de la colección de tramas originales. No se van a considerar todas las muestras de los ocho segundos que dura una trama, sino que solo se consideran las muestras a partir de los 3.5 segundos hasta el final de la trama. Es en estos momentos cuando el usuario ya ha recibido la señal acústica y ya se está imaginando el movimiento de la muñeca.

## 5 RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados del experimento para cada uno de los clasificadores y para cada una de las clases.

Tabla 1: Tasa de error de cada clasificador

Clasificador	Derecha	Izquierda
0 tramas artificiales	6,63	2,66
2 tramas artificiales	8,30	3,21
4 tramas artificiales	7,66	2,26
6 tramas artificiales	9,05	3,38
8 tramas artificiales	9,23	1,36
10 tramas artificiales	8,47	1,80
20 tramas artificiales	11,51	0,92
30 tramas artificiales	6,72	4,05
40 tramas artificiales	3,62	6,62

El primer clasificador es el que se ha generado con la colección de tramas original, y comparando sus resultados con los de los otros clasificadores se puede ver que el comportamiento es siempre mejor para el lado izquierdo que para el derecho, exceptuando los dos últimos clasificadores. También se puede apreciar que cuantas más tramas artificiales en la colección, mejor es la tasa de error para el lado izquierdo y peor para el lado derecho, exceptuando también los dos últimos casos.

Los dos últimos clasificadores tienen unas tasas de errores bajas y muy similares a las del clasificador sin tramas artificiales, a pesar de tener un porcentaje muy elevado de tramas artificiales en la colección que los generó.

## 6 DISCUSIÓN

Los resultados del experimento muestran que todos los clasificadores tienen una tasa de error similar a la tasa de error del clasificador generado con la colección de tramas original. Esto quiere decir que se podría utilizar uno de los clasificadores con tramas artificiales para utilizar el BCI, siendo el proceso de entrenamiento más corto porque se hubieran precisado menos tramas reales para obtener la colección de tramas.

Estos buenos resultados se pueden explicar por cuatro motivos:

(i) La descomposición EMD se adapta muy bien a señales no-lineales y no-estacionarias como es el caso de las señales EEG.

(ii) Usando las IMFs de tramas reales se recoge su información subyacente que estará en las tramas artificiales.

(iii) Los clasificadores LDA tienen poca tendencia al sobreentrenamiento y una gran capacidad de generalización.

(iv) El clasificador LDA se obtiene después de una validación cruzada que ayuda a prevenir el sobreentrenamiento.

A pesar de todo esto, los resultados solo son preliminares, y es necesario validarlos estadísticamente para asegurar que es posible utilizar tramas artificiales de la colección existente para aumentar el número total de tramas. Para la validación estadística son imprescindibles la repetición varias veces del mismo experimento utilizando diferentes IMFs de diferentes tramas para crear las tramas artificiales. También será imprescindible repetir el experimento con un número suficiente de sujetos diferentes.

### Agradecimientos

Programa de Doctorados Industriales, dentro del Departamento de Empresa y Conocimiento de la Generalitat de Catalunya.

### Referencias

[1] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan, Brain

Computer Interfaces for communication and control, *Front. Neurosci.*, vol. 4, no. 113, pp. 767–791, 2002.

[2] J. J. Shih, D. J. Krusienski, and J. R. Wolpaw, Brain-computer interfaces in medicine., *Mayo Clin. Proc.*, vol. 87, no. 3, pp. 268–79, Mar. 2012.

[3] M. Oehler, P. Neumann, M. Becker, G. Curio, and M. Schilling, Extraction of SSVEP signals of a capacitive EEG helmet for human machine interface., *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 2008, no. factor 2, pp. 4495–4498, 2008.

[4] G. Pfurtscheller, Functional brain imaging based on ERD/ERS, *Vision Res.*, vol. 41, no. 10–11, pp. 1257–1260, May 2001.

[5] L. A. Farwell and E. Donchin, Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials., *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 70, no. 6, pp. 510–23, Dec. 1988.

[6] C. Guger, C. Kapeller, R. Ortner, and K. Kamada, Motor Imagery with Brain-Computer Interface Neurotechnology, 2015.

[7] W. Cho *et al.*, Paired Associative Stimulation Using Brain-Computer Interfaces for Stroke Rehabilitation: A Pilot Study., *Eur. J. Transl. Myol.*, vol. 26, no. 3, p. 6132, 2016.

[8] A. Ramos-Murguialday *et al.*, Brain-machine interface in chronic stroke rehabilitation: a controlled study., *Ann. Neurol.*, vol. 74, no. 1, pp. 100–8, Jul. 2013.

[9] C. Guger *et al.*, Complete Locked-in and Locked-in patients: Command following assessment and communication with vibrotactile P300 and motor imagery brain-computer interface tools, *Front. Neurosci.*, vol. 11, no. May, p. 251, 2017.

[10] C. Guger *et al.*, *Brain-Computer Interfaces for Assessment and Communication in Disorders of Consciousness*, no. January. 2013.

[11] H. Ramoser, J. Muller-Gerking, and G. Pfurtscheller, Optimal spatial filtering of single trial EEG during imagined hand

- movement, *IEEE Trans. Rehabil. Eng.*, vol. 8, no. 4, pp. 441–446, Dec. 2000.
- [12] N. Huang *et al.*, The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 454, no. 1971, pp. 995, 903, 1998.
- [13] Z. J. Koles, M. S. Lazar, and S. Z. Zhou, Spatial patterns underlying population differences in the background EEG, *Brain Topogr.*, vol. 2, no. 4, pp. 275–284, 1990.
- [14] Yijun Wang, Shangkai Gao, and Xiaornog Gao, Common Spatial Pattern Method for Channel Selelction in Motor Imagery Based Brain-computer Interface, in *2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, 2005, vol. 5, pp. 5392–5395.