

# 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>	
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>	
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>	

# ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA

Silvia Moreno, Mario Ortiz, José M. Azorín  
Brain-Machine Interface Systems Lab. Universidad Miguel Hernández de Elche  
Avda. de la Universidad s/n 03202, Elche España  
silvia.moreno02@goumh.umh.es

## Resumen

*La estimulación transcranial de corriente directa (tDCS, transcranial Direct Current Stimulation), una forma no invasiva de estimulación cerebral, ha sido investigada en diversos estudios como un método para mejorar la memoria de trabajo, la atención o inducir alguna mejora en enfermedades cognitivas. En el siguiente artículo se analizan los principales trabajos en este campo, estudiando, entre otros aspectos, las estrategias empleadas de estimulación y los efectos de mejora cognitiva tanto en sujetos sanos como pacientes con diversas patologías.*

**Palabras Clave:** neuroestimulación, tDCS, memoria de trabajo, atención, mejora cognitiva.

## 1 INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 15% de la población mundial presenta algún tipo de discapacidad. La estimulación transcranial de corriente directa (tDCS, transcranial Direct Current Stimulation) constituye un método no invasivo, de bajo coste y fácil de utilizar capaz de modificar la excitabilidad cerebral [1], y por tanto, capaz de mejorar la vida de estas personas. Durante los últimos años se han llevado a cabo diversas investigaciones en relación a esta técnica, no sólo en casos relacionados con la rehabilitación motora [15], sino que también está tomando importancia su intervención en procesos que inducen a una mejora cognitiva. De esta manera, debe tenerse en cuenta también que este último tipo de estimulación aplicada sobre el córtex prefrontal dorsolateral (DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex) o sobre alguna zona relacionada con la memoria de trabajo, podría ser suministrada a adultos sanos con la finalidad de acelerar el aprendizaje o mejorar el rendimiento en entornos militares o educativos.

El objetivo de este artículo es mostrar las estrategias que han sido seguidas en algunas de las

investigaciones relacionadas con la mejora cognitiva anteriormente mencionadas, atendiendo así al tipo de estimulación utilizada, la duración de esta misma, la densidad de corriente suministrada y la localización de los electrodos entre otras características. Con todo ello, se pretende aunar la información necesaria para la realización de futuras investigaciones.



Figura 1: Dispositivo de neuroestimulación tDCS (Neuroelectrics).

## 2 ESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL DE CORRIENTE DIRECTA

La tDCS constituye un tipo de estimulación eléctrica no invasiva en la que se aplica una intensidad de manera constante. Sus efectos se basan en los principios de plasticidad neuronal y neuromodulación. Las células nerviosas presentan propiedades electroquímicas por las cuales es posible disminuir o aumentar su excitabilidad y de esta manera cambiar su comportamiento. Dicho de otra manera, cuando las neuronas perciben un tipo de corriente lo suficientemente elevada como para hiperpolarizar sus dendritas, se produce un efecto de despolarización en el soma, dando lugar a un aumento de la excitación o la plasticidad.

Por otra parte, la excitación tiene lugar al localizar un electrodo como ánodo y otro como cátodo sobre el

cuero cabelludo. Se ha de suministrar una intensidad de corriente a partir de un dispositivo de estimulación (figura 1) lo suficientemente elevada durante un tiempo óptimo cuando el sujeto en cuestión realiza alguna actividad asociada a la zona del cerebro donde se encuentra el ánodo. Por tanto, se han de tener en cuenta parámetros como la densidad de corriente utilizada, la duración de la neuroestimulación, la repetitividad de las tareas y los tiempos de descanso entre sesiones.

### 3 ESTRATEGIAS BASADAS EN TDCS PARA MEJORA COGNITIVA

A continuación, se presenta un breve resumen cronológico sobre algunos estudios que se han realizado respecto a la tDCS para mejora cognitiva y una tabla (tabla 1) con el contenido de las principales características de cada uno de ellos.

En [7] se empleó estimulación por corriente directa anódica con la finalidad de mejorar la memoria de trabajo. En las pruebas experimentales participaron 15 sujetos sanos. Se realizaron dos sesiones de tDCS sobre el DLPFC izquierdo y Sham. Seis meses después, se realizaron otras dos sesiones de control (tDCS anódica de la corteza primaria motora M1, tDCS catódica del DLPFC o estimulación Sham, de manera aleatoria). El cátodo se situó sobre la región supraorbital contralateral.

Por otra parte, la estimulación fue llevada a cabo durante 10 minutos con una densidad de corriente de  $0.029 \text{ mA/cm}^2$ . Durante los primeros 5 minutos los sujetos se encontraron en reposo y durante los últimos 5 realizaron una prueba basada en la aparición de letras ( 3-back working memory test ). Se llegó a la conclusión de que la tDCS anódica en el DLPFC conduce una mejora en la memoria de trabajo respecto a la estimulación Sham de la misma área.

En esta ocasión, en [3], los efectos de la tDCS sobre la memoria de trabajo fueron probados en 18 enfermos de Parkinson durante tres sesiones (tDCS anódica del DLPFC F3, de la corteza primaria motora M1 o estimulación Sham) con una separación de dos días. El cátodo, al igual que en el anterior caso, fue situado en la región supraorbital contralateral.

En cuanto a la densidad de corriente utilizada, podemos decir que los sujetos fueron separados en dos grupos. A la mitad de los sujetos se les aplicó  $0.029 \text{ mA/cm}^2$  mientras que al resto, se les aplicó  $0.057 \text{ mA/cm}^2$ . Las sesiones tuvieron una duración de 20 minutos. En los primeros 15 los sujetos se

encontraron en reposo, mientras que en los últimos 5 minutos realizaron la tarea anteriormente mencionada, 3-back working memory test . Se pudo concluir que la memoria de trabajo en enfermos de Parkinson tras aplicar tDCS anódica sobre el DLPFC mejora a 2 mA pero no a 1 mA.

A su vez, en la investigación [2] formaron parte 26 sujetos con desórdenes mentales depresivos. El objetivo fue mejorar sus síntomas aplicando tDCS. A 12 de ellos se les aplicó tDCS sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG), a otros 7 se les administró tDCS sobre el cortex occipital, mientras que al último grupo de 7 sujetos se les aplicó estimulación Sham. Al igual que anteriormente, el cátodo se posicionó sobre la región supraorbital derecha.

En relación al método seguido en cada sesión, los pacientes realizaron tareas afectivas de acierto o fallo ( go-no-go tasks ) previamente y posteriormente a los 20 minutos de estimulación, con una densidad de corriente de  $0.057 \text{ mA/cm}^2$ . Se concluyó que la tDCS anódica del DLPFC produce mejoras en este tipo de tareas. También se verificó que, tras 10 días, los efectos de la estimulación desaparecieron.

Por otra parte, el estudio [6] tuvo como finalidad confirmar que los efectos de la tDCS mejoran si existe aprendizaje. Se llevó a cabo gracias a la participación de 17 sujetos sanos, de los cuales, 13 se sometieron a una tarea de tipo Sternberg antes y después de aplicar tDCS sobre el cerebelo. De éstos, 5 sujetos llevaron a cabo la misma tarea un mes después, antes y después de aplicar tDCS sobre el DLPFC (entre las posiciones Fp1-F3 y Fp2-F4 Sistema Internacional 10/20 de EEG).

Asimismo, el experimento constó de seis sesiones en total, tres sesiones (tDCS anódica, catódica y sham), una por semana para tDCS del DLPFC y tDCS del cerebelo con una separación de un mes. El cátodo fue situado sobre el músculo deltoides derecho y la densidad de corriente utilizada fue de  $0.095 \text{ mA/cm}^2$ . La conclusión final fue que las tDCS anódica y catódica sobre el cerebelo no contribuyen a la disminución del tiempo de reacción inducido al repetir una tarea sin aplicar tDCS. Sin embargo, la tDCS aplicada sobre el DLPFC, la estimulación catódica provoca una evidente disminución del tiempo de reacción 5 minutos después de haber finalizado, mientras que la estimulación anódica no presenta ningún efecto.

En cuanto al estudio [12], se compararon los efectos de la tDCS y tRNS (transcranial Random Noise) sobre el DLPFC. En él, participaron 10 sujetos sanos, a los que se les aplicó tDCS anódica sobre el DLPFC

(F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG), tRNS y tDCS Sham de manera aleatoria durante las tres sesiones de 10 minutos a las que asistieron. El cátodo fue posicionado en la región supraorbital contralateral.

Durante la estimulación, los sujetos realizaron tareas de tipo Sternberg, mientras que previamente y posteriormente a ésta, desarrollaron diferentes tareas de la batería CogState. La densidad de corriente administrada fue de 0.029 mA/cm<sup>2</sup>. El análisis estadístico no reveló ningún efecto significativo al aplicar tDCS anódica salvo en el caso en el que se estaba efectuando la tarea 2-back working memory de la batería CogState.

En esta ocasión, en la investigación [1], el objetivo fue aplicar tDCS anódica sobre el DLPFC con la finalidad de mejorar la memoria de trabajo participaron 10 sujetos sanos durante tres sesiones en las que se suministraron tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y estimulación Sham durante la realización de una tarea de tipo n-back, así como tDCS anódica previamente a ésta, durante 10 minutos. El cátodo fue colocado sobre la región supraorbital contralateral.

La estimulación se aplicó con una intensidad de corriente de 0.029 mA/cm<sup>2</sup> y tras el análisis estadístico se concluyó que la tDCS anódica sobre este lugar durante la realización de una tarea relacionada con la memoria de trabajo mejora los efectos de esta misma.

El experimento [18] se realizó con la intención de comparar la tDCS anódica con la catódica sobre el DLPFC y fue posible gracias a la colaboración de 32 sujetos sanos. 16 de estos sujetos realizaron una tarea 2-back working memory task en dos sesiones distintas en las que se les aplicó tDCS anódica y catódica sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG). El cátodo se situó sobre el mastoideo izquierdo.

En cuanto a las sesiones, tuvieron una duración de 15 minutos y la densidad de corriente utilizada fue de 0.029 mA/cm<sup>2</sup>. El análisis de los resultados condujo a la conclusión de que la tDCS anódica mejora la memoria de trabajo y la catódica la empeora.

Asimismo, en el estudio [17], se investigó sobre el rol de la densidad de corriente durante la tDCS. En él participaron 14 sujetos sanos. A cada uno de ellos se le aplicó tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) a 0.1 mA, a 2 mA y estimulación Sham en tres sesiones distintas. El cátodo fue situado sobre la región supraorbital contralateral.

Por otra parte, las sesiones tuvieron una duración de 20 minutos y las densidades de corriente utilizadas fueron de 0.029 y 0.057 mA/cm<sup>2</sup>. Los sujetos recibieron estimulación durante toda la sesión y en los periodos 10-15 y 15-20 minutos realizaron una tarea 3-back. Se verifica la hipótesis de que la tDCS anódica mejora la memoria de trabajo de manera dependiente al tiempo y a la intensidad aplicada. Los sujetos reaccionaron con mayor rapidez y exactitud cuando la estimulación fue de 2 mA de intensidad durante los últimos 5 minutos.

En la investigación [5] se estudió el impacto de la tDCS durante el aprendizaje. En el experimento participaron 22 sujetos sanos a los que se les suministró 2 mA de tDCS anódica sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y 13 a que recibieron la misma estimulación pero a 0.1 mA. El cátodo se localizó en la parte superior del brazo izquierdo.

En cuanto a las 3 sesiones que realizaron dichos sujetos (entrenamiento, realización de la tarea DARWARS durante la estimulación, realización de esta misma una hora después de la estimulación), tuvieron una duración de 30 minutos y se utilizaron unas densidades de corriente de 0.009 y 0.181 mA/cm<sup>2</sup>. Los participantes que recibieron 2 mA fueron más exactos en sus respuestas, por lo que este estudio prueba que existe una correlación significativa entre los cambios de comportamiento con aprendizaje y la densidad de corriente aplicada.

Por otro lado, en el estudio [11] se investigó sobre los efectos de la tDCS sobre el lóbulo parietal y la atención. Se llevó a cabo gracias a la participación de 12 sujetos sanos que recibieron tDCS anódica sobre el lóbulo parietal superior (P6, Sistema Internacional 10/20 de EEG) durante los 10 minutos previos a realizar un test de reconocimiento verbal en dos sesiones distintas. También participaron otros 12 sujetos, los cuales formaron parte del grupo de control. El cátodo fue situado sobre el lóbulo parietal inferior derecho (P3, Sistema Internacional 10/20 de EEG).

La densidad de corriente administrada fue de 0.040 mA/cm<sup>2</sup> y la conclusión a la que se llegó fue que la tDCS anódica aplicada en las regiones parietales podría modular el aprendizaje en tareas de memoria relacionadas con el reconocimiento verbal.

El experimento [9] tuvo como finalidad analizar los efectos de la tDCS sobre el DLPFC en relación a tareas de atención incorporando elementos para aumentar la distracción (interferencias) de los sujetos. Participaron 14 sujetos sanos que recibieron tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) durante la primera sesión de 10

minutos y tDCS Sham durante la segunda sesión. El cátodo se situó en la órbita derecha.

Cada sujeto fue estimulado con una densidad de corriente de  $0.029 \text{ mA/cm}^2$  mientras realizaba una tarea de tipo Sternberg. Al finalizar dicha estimulación los sujetos continuaron realizando la tarea alrededor de 20 minutos más hasta finalizarla. Se comprobó que la memoria de trabajo mejora en dicha situación de estimulación si se tiene en cuenta la presencia de interferencias.

En cuanto al estudio [8], también se estudiaron los efectos de la tDCS sobre el DLPFC. Debe decirse que fue llevado a cabo gracias a la colaboración de 20 sujetos sanos que recibieron tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) durante la primera sesión de 10 minutos y tDCS Sham durante la segunda sesión. El cátodo se situó en la órbita derecha.

La densidad de corriente suministrada fue de  $0.029 \text{ mA/cm}^2$  y cada sujeto fue estimulado previamente a la realización de un Test de Asociación Implícita. Se demostró que no se cumple la hipótesis de que la tDCS anódica mejore el sesgo en los resultados de este test.

En el experimento [4] se aplicó tDCS sobre el córtex temporal en pacientes con Alzheimer. En él formaron parte 10 sujetos enfermos de Alzheimer que participaron en tres sesiones de 30 minutos diferentes: tDCS anódica sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG), tDCS anódica sobre el córtex temporal izquierdo (Left Temporal Cortex, LTC) (T7, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y estimulación Sham. El cátodo fue situado sobre la órbita derecha y la densidad de corriente administrada fue de  $0.029 \text{ mA/cm}^2$ .

En cuanto a las sesiones, cada sujeto realizó tareas de tipo Stroop, de reconocimiento visual y de intervalo de dígitos 10 minutos después de que comenzara la estimulación y hasta su fin. La conclusión a la que se llegó fue que se producen mejoras después de aplicar tDCS anódica tanto sobre la región temporal como sobre la prefrontal, sin embargo, no se observaron cambios significantes en las tareas relacionadas con la atención.

En el estudio [16] se realizó una investigación sobre la mejora de la memoria de trabajo después de aplicar tDCS a 28 sujetos con desórdenes mentales depresivos. A todos ellos se les aplicó durante 2 sesiones tDCS sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y estimulación Sham. El cátodo se situó sobre el DLPFC derecho (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y la densidad de corriente suministrada fue de  $0.080 \text{ mA/cm}^2$ .

Los sujetos realizaron tareas de tipo n-back antes de la estimulación y a los 15 minutos de haber empezado esta misma. Se comprobó que el rendimiento de la memoria de trabajo mejora al aplicar tDCS anódica mientras se realizan tareas de este tipo en pacientes con depresión.

En el experimento [10] colaboraron 18 sujetos sanos. A cada uno de ellos se le aplicó tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) a 1 mA, a 2 mA y estimulación Sham en tres sesiones distintas de 20 minutos. El cátodo fue situado sobre la región supraorbital contralateral. Las densidades de corriente administradas fueron de  $0.029$  y  $0.057 \text{ mA/cm}^2$ .

En cada sesión, tras aplicar la estimulación, los sujetos procedieron a realizar tareas de tipo n-back durante 10 minutos mientras se grababan las señales EEG. Este estudio demostró que la tDCS anódica mejora la eficiencia del procesamiento cognitivo produciéndose los cambios más significativos a 1 mA.

En la investigación [14] participaron un total de 30 sujetos de edad avanzada con el objetivo de observar si la tDCS mejoraba la memoria de trabajo en esta población. A cada uno de ellos se le aplicó tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) a 1 mA, a 2 mA y estimulación Sham en tres sesiones distintas de 25 minutos. El cátodo fue situado sobre la región supraorbital contralateral. Las densidades de corriente administradas fueron de  $0.029$ ,  $0.057$ ,  $0.01$  y  $0.02 \text{ mA/cm}^2$ .

Durante cada sesión los participantes realizaron en seis ocasiones tareas de tipo n-back : antes de la estimulación, durante los 5 primeros minutos de estimulación, durante los minutos 10 -15 y 20-25 de esta misma, y después de aplicarla, durante los minutos 5-10 y 30-35. Los resultados sugirieron que una única sesión de tDCS en el DLPFC es improbable que mejore la memoria de trabajo en personas de edad avanzada.

En el experimento [13] el objetivo fue analizar los efectos de la tDCS al realizar una batería multitarea. Participaron 10 sujetos sanos que recibieron tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y otros 10 a los que se les aplicó estimulación Sham durante una sesión de 30 minutos. El cátodo se posicionó en la parte superior del brazo derecho. Las densidades de corriente administradas fueron de  $0.029$  y  $0.057 \text{ mA/cm}^2$ .

Los sujetos recibieron la estimulación mientras utilizaban la Multi Attribute Task Battery (MATB). Se pudo concluir que la tDCS anódica

mejora de manera significativa la capacidad de procesamiento de información de los participantes.

## 4 DISCUSIÓN

Al analizar y comparar los estudios anteriormente descritos, se puede decir que en la mayoría de ellos se ha demostrado que la tDCS anódica del DLPFC izquierdo conduce a una mejora de la memoria de trabajo respecto a la estimulación Sham de la misma área. Al aplicar este tipo de estimulación sobre la zona anteriormente mencionada, observamos que la posición utilizada habitualmente para colocar el ánodo es F3 (Sistema Internacional 10-20 EEG) [3] [2] [12] [1] [18] [17] [8] [16] [10] mientras que la del cátodo, ha sido el área supraorbital contralateral [7] [3] [2] [12] [1] [17] [9] [8] [4] [10] [14]. También deben ser mencionados los casos en los que el ánodo ha sido situado en el cerebelo [6], no obteniéndose contribuciones claras, el hueso esfenoides derecho

[17], el lóbulo parietal superior [5] o el córtex temporal izquierdo [11], dónde sí se produjeron efectos beneficiosos en cuanto a mejora cognitiva.

Por otra parte, atendiendo en esta ocasión a la relación de dependencia existente entre la tDCS, la densidad de corriente y tiempo de estimulación que debe aplicarse, caben ser mencionados estudios como el detallado en [3], que demuestran que se produce una mejora tras aplicar una estimulación anódica sobre el DLPFC de 2 mA mientras que no se percibe ninguna contribución al aplicar 1 mA durante el mismo periodo de tiempo. Por su parte, el artículo descrito en [17], verifica del mismo modo la dependencia del tiempo de estimulación. También, han de mencionarse [5] [4] [16] [13] donde se aplica un periodo de estimulación de 30 minutos (el más largo en comparación al resto de estudios descritos) y aquellos en los que se han utilizado un número de usuarios en torno a 30 [2] [18] [5] [16].

Tabla 1: Principales características de los estudios relacionados con la tDCS para mejora cognitiva.

Referencia	Polaridad	Posición Ánodo	Posición Cátodo	Duración estimulación	Número sesiones	Número sujetos	Densidad corriente	Efectos
[7]	tDCS Anódica/ Catódica/ Sham	DLPFC izquierdo/ M1	Área Supraorbital contralateral	10 min	2	15	0.029 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica del DLPFC mejora la memoria de trabajo.
[3]	tDCS Anódica/ Catódica/ Sham	F3	Área Supraorbital derecha	20 min	3	18	0.029, 0.057 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica del DLPFC mejora la memoria de trabajo en pacientes con Parkinson a 2 mA.
[2]	tDCS Anódica/ Sham	F3	Área Supraorbital derecha	20 min	1	26	0.057 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica del DLPFC produce mejoras en tareas afectivas de acierto/fallo
[6]	tDCS Anódica/ Catódica/ Sham	Cerebelo/ Fp1-F3 y Fp2-F4	Músculo deltoides derecho	15 min	6	17	0.095 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS sobre el cerebelo no implica ninguna mejora cognitiva. La tDCS catódica abre el DLPFC disminuye el tiempo de reacción.
[12]	tDCS Anódica/ Sham/ tRNS	F3	Área Supraorbital contralateral	10 min	3	10	0.029 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica mejora el tiempo de reacción según el tipo de tarea. La tDCS anódica
[1]	tDCS Anódica/ Sham	F3	Área Supraorbital contralateral	10 min	3	10	0.029 mA/cm <sup>2</sup>	aplicada mientras se ejercita la memoria de trabajo mejora los efectos.
[17]	tDCS Anódica/ Catódica/ Sham	F3	Mastoides izquierdo	15 min	2	32	0.029 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica del DLPFC mejora la memoria de trabajo. La catódica no.
[16]	tDCS Anódica/ Sham	F3	Área Supraorbital contralateral	20 min	3	14	0.029, 0.057 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica mejora la memoria de trabajo de manera dependiente al tiempo y a la intensidad.
[5]	tDCS Anódica	F10	Parte superior del brazo izquierdo	30 minutos	3	35	0.009, 0.181 mA/cm <sup>2</sup>	Existe una correlación entre el aprendizaje y la densidad de corriente al aplicar la estimulación.

[11]	tDCS Anódica	P6	P3	10 min	2	24	0.040 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica sobre la región parietal podría modular el aprendizaje en tareas relacionadas con el reconocimiento verbal.
[9]	tDCS Anódica/Sham	DLPFC izquierdo	Órbita derecha	10 min	1	14	0.029 mA/cm <sup>2</sup>	Si introducimos un factor adicional de interferencia, la tDCS mejora el tiempo de reacción.
[8]	tDCS Anódica/Sham	F3	Órbita derecha	10 min	2	20	0.029 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS no mejora el sesgo en los resultados de IAT.
[4]	tDCS Anódica/Sham	F3/T7	Órbita derecha	30 min	3	10	0.029 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica produce mejoras sobre la región temporal y la prefrontal.
[15]	tDCS Anódica/Sham	F3	F4	30 min	2	28	0.080 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica mejora la memoria de trabajo en pacientes con depresión.
[10]	tDCS Anódica/Sham	F3	Área Supraorbital derecha	20 min	3	18	0.029, 0.057 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica mejora la eficiencia de procesamiento cognitivo a 1 mA. Una única sesión de tDCS es improbable que mejore la memoria de trabajo en personas de edad avanzada.
[14]	tDCS Anódica/Sham	F3	Región Supraorbital contralateral	25 min	3	30	0.029, 0.057, 0.01, 0.02 mA/cm <sup>2</sup>	La tDCS anódica del DLPFC mejora la capacidad de procesamiento de información de los participantes.
[13]	tDCS Anódica/Sham	DLPFC izquierdo	Parte Superior del brazo derecho	30 min	1	20	0.029, 0.057 mA/cm <sup>2</sup>	

Asimismo, encontramos estudios en los que también han sido procesadas las señales EEG durante la estimulación [18] y posteriormente a ésta [10]. En ellos quedó demostrado que se produce una amplificación de la oscilación en las bandas theta y alfa tras aplicar tDCS anódica sobre el DLPFC izquierdo.

En cuanto a las aplicaciones o test psicológicos utilizados con el fin de evaluar los procesos cognitivos, los más utilizados han sido las tareas de tipo Sternberg y los test n-back, por lo que podemos decir que han sido las aplicaciones con las que se han presentado los mejores resultados, aunque también caben ser destacadas las baterías de tareas como CogState, que permiten identificar los procesos cognitivos que más han sido afectados por la estimulación, es decir, nos permite diferenciar entre tareas relacionadas con la atención, la memoria o la lógica entre otras.

Por último, en cuanto al análisis estadístico de los resultados, la mayoría de los estudios han realizado ANOVAS de múltiples caminos atendiendo tanto al tipo de estimulación (Sham, tDCS anódica, tDCS catódica) como al tipo de corriente aplicada y los datos obtenidos al evaluar los procesos cognitivos de cada sujeto durante el desarrollo de una de las tareas o test psicológicos anteriormente mencionados

(tiempos de reacción y exactitud de las respuestas). Se han llevado a cabo ANOVAS tanto de varios caminos como de medidas repetidas. También se tuvieron en cuenta los distintos grupos de sujetos en los que fue dividido cada experimento con el fin de colocar en distintas posiciones el ánodo. Previamente, con la finalidad de normalizar las muestras, se realizó un preprocesamiento de los datos utilizando distintos tipos de aplicaciones o test, uno de ellos el test Shapiro-Wilk, utilizado habitualmente en experimentos de este tipo para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Posteriormente, tras aplicar las ANOVAS necesarias, se procedió a utilizar un test *post hoc* de comparaciones múltiples de tipo Bonferroni o Wilcoxon.

## 5 CONCLUSIONES

El tratamiento de la disfunción cognitiva sigue siendo una necesidad clínica insatisfecha hoy en día. De acuerdo a la Comisión Europea el número de personas con dificultades cognitivas asciende a 30 millones en Europa. En este documento, se han descrito diversos estudios sobre la utilización de tDCS con la finalidad de obtener mejora cognitiva tanto en personas sanas como en pacientes con Alzheimer, Parkinson o depresión, entre otras enfermedades. Centrándonos en esta información, podemos considerar la tDCS como un tratamiento

experimental en el que, al igual que con otros tratamientos médicos, no se puede asegurar un resultado del todo específico. Se puede observar como algunos pacientes mejoran con rapidez, mientras que otros lo hacen lentamente o incluso, en alguno de ellos no se percibe ningún tipo de mejoría.

Del análisis de dichos estudios, se puede concluir que la relación de dependencia entre la duración temporal de la estimulación y el grado de intensidad aplicada juega un papel fundamental durante el proceso de mejora cognitiva y que se debe investigar más en torno a ella. Por otra parte, se hace especial hincapié en aplicar la estimulación sobre el DLPFC para mejorar sobretodo la memoria de trabajo. No obstante, la mayoría de investigaciones se han basado en localizar el ánodo en la posición F3 del Sistema Internacional EEG 10-20. Podría resultar de interés para futuras investigaciones utilizar otras posiciones cercanas también al área Brodmann 10, así como elegir un grupo de sujetos que participe en cada una de las sesiones de estimulación para comprobar la mejora de un modo individual, ya que algunas de las investigaciones han separado a los usuarios según el tipo de estimulación aplicada. Otra idea interesante podría ser realizar test de coeficiente intelectual a los sujetos, con el fin de que no existan grandes diferencias en sus capacidades y los resultados sean más específicos. Asimismo, dichas investigaciones deberían de llevarse a cabo paralelamente con registros de EEG, ya que de esta manera los estudios no se basarían tan sólo en la obtención de datos de acierto/fallo en respuestas o tiempos de reacción.

Otro tema importante a tener en cuenta, es la duración de los efectos de la tDCS, siendo como máximo de algo más de dos horas tras su aplicación. Se han de buscar soluciones para mejorar estos tiempos o incluir alternativas. Un tratamiento con medicamentos como apoyo a la tDCS podría estar también indicado y ser eficaz, no obstante, han de tenerse en cuenta posibles riesgos o complicaciones. A su vez, este tipo de estimulación puede constituir un tratamiento que potencie la eficacia de otros tratamientos farmacológicos, facilitando reducir la dosis de los mismos.

Según la OMS, para el año 2050 se incrementará en un 73% el número de personas mayores de 65 años en los países industrializados. Un cerebro de esta madurez podría cambiar físicamente en respuesta a un programa de entrenamiento cognitivo y a la tDCS, modificando de esta manera su corteza cerebral y en definitiva, disminuyendo el deterioro cognitivo y la limitación de la capacidad para la vida independiente y autosuficiente. Por todo ello, la investigación sobre esta técnica de neuroestimulación eléctrica es de una gran importancia.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada en el marco del proyecto Associate - Decodificación y estimulación de actividad cerebral sensorial y motora para permitir potenciación a largo plazo mediante estimulación Hebbiana y estimulación asociativa pareada durante la rehabilitación de la marcha (con referencia DPI2014-58431-C4-2-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Plan Estatal de I+D+I) y por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional - FEDER

Una manera de hacer Europa . Además, se agradece a la Universidad Miguel Hernández de Elche el apoyo a S. Moreno a través del programa para la realización de prácticas en actividades de fomento de la investigación en los Departamentos e Institutos Universitarios de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

## Referencias

- [1] Andrews, Hoy, et al. (2011), Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex , *Brain Stimulation*.
- [2] Boggio, Berman, et al. (2007), Go-no-go task performance improvement after anodal transcranial DC stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex in major depression , *Journal of Affective Disorders*.
- [3] Boggio, Ferruci, et al. (2006), Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson s disease , *Journal of the Neurological Sciences*.
- [4] Boggio, Khoury, et al. (2012), Temporal cortex direct current stimulation enhances performance on visual recognition memory task in Alzheimer disease , *J Neurol Neurosurg Psychiatry*.
- [5] Coffman, Trumbo, et al. (2012), Impact of tDCS on performance and learning of target detection: Interaction with stimulus characteristics and experimental design , *Neuropsychologia*.
- [6] Ferruci, Marceglia, et al. (2008), Cerebellar transcranial direct current stimulation impairs the practice-dependent proficiency increase in working memory , *Journal of Cognitive Neuroscience*.

- [7] Fregni, Boggio, et al. (2005), Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory , *Experimental Brain Research*.
- [8] Gladwin, den Uyl, et al. (2012), Anodal tDCS of dorsolateral prefrontal cortex during an Implicit Association Test , *Neuroscience Letters*.
- [9] Gladwin, den Uyl, et al. (2012), Enhancement of selective attention by tDCS: Interaction with interference in a Sternberg task , *Neuroscience Letters*.
- [10] Hoy, Emonson, et al. (2013), Testing the limits: Investigating effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls , *Neuropsychologia*.
- [11] Jacobson, Goren, et al. (2011), Oppositional transcranial direct current stimulation (tDCS) of parietal substrates of attention during encoding modulates episodic memory , *Brain Research*.
- [12] Mulquiney, Hoy, et al. (2011), Improving working memory: Exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex , *Clinical Neurophysiology*.
- [13] Nelson, McKinley, et al. (2016), The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Multitasking Thoughtput Capacity , *Frontiers in Human Neuroscience*.
- [14] Nilsson, Lebedev and Lovdén (2015), No significant Effect of Prefrontal tDCS on Working Memory Performance in Older Adults , *Frontiers in Aging Neuroscience*.
- [15] Nitsche and Paulus (2000), Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation , *The Journal of Physiology*.
- [16] Oliveira, Zano, et al. (2012), Acute working memory improvement after tDCS in antidepressant-free patients with major depressive disorder , *Neuroscience Letters*.
- [17] Teo, Hoy, et al. (2011), investigating the role of current strength in tDCS modulation of working memory performance in healthy controls , *Frontiers in Psychiatry*.
- [18] Zaehle, Sandmann, et al. (2011), Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence , *BMC Neuroscience*.