

# ACTAS

DE LAS

## XXXVIII Jornadas de Automática

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



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



**CEA**  
*Comité Español  
de Automática*

Colabora

**Gijón**

Convention Bureau



Actas de

**XXXVIII**

**Jornadas de Automática**

© 2017 Universidad de Oviedo  
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

## Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López  
Presidente del Comité Organizador



## Program Committee

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

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



## Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro  
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor



## Table of Contents

<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. 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 Rodriguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS	334
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel</i>	
BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES .....	340
<i>Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz</i>	
Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches .....	347
<i>Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon</i>	
INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN .....	353
<i>Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin</i>	
<hr/> <b>Control Inteligente</b> <hr/>	
Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico .....	360
<i>Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto</i>	
Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias .....	368
<i>Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo</i>	

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

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



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

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

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

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

---

### Sistemas de Tiempo Real

---

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

---

### Visión por Computador

---

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

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

## Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote

G.N. Marichal  
nicomar@ull.edu.es;

D. Avila  
davidapr@ull.es

A. Hernández  
ahernand@ull.edu.es

I. Padrón  
ipadron@ull.es

J. A. Rodríguez  
jandas@ull.edu.es.

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval, Universidad de La Laguna. C/ Avda. Francisco Larroche s/n. 38071. Santa Cruz de Tenerife, España.

### Resumen.

*En el siguiente trabajo de investigación se realiza una caracterización de los potenciales del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote, llevando a cabo una modelización de los mismos. Para alcanzar dicho objetivo se utilizan las series temporales del oleaje para aguas profundas facilitadas por “Puertos del Estado” (1996- 2016). El estudio establece un mapa de recursos undimotrices a partir de la información disponible, determinando zonas de interés que posteriormente podrán ser analizadas con mayor precisión. Se presenta un sistema Neuro-Fuzzy Genético con el objetivo de predecir los valores energéticos undimotrices de ciertos puntos, a partir de los valores conocidos de los puntos WANA cercanos.*

**Palabras Clave:** Predicción, energía renovable, undimotriz, Lanzarote, Fuerteventura, Inteligencia Artificial.

### 1. Introducción.

En las islas Canarias, la promoción de las energías renovables se plantea como una de las claves de la política energética regional dirigida a la reducción de la dependencia energética de los combustibles fósiles importados y reducción de sus emisiones. Es por lo que desde hace varias décadas se viene trabajando en

varios centros de investigación y proyectos pilotos existentes en el archipiélago. Todo este esfuerzo ha traído consigo que al día de hoy Canarias sea un referente a nivel mundial en la implementación de las energías limpias, sin embargo las mismas están prácticamente circunscritas a la energía eólica onshore y solar fotovoltaica.

Aunque en España, como en el resto del mundo, aún no se aprovecha la energía de las olas de forma comercial, existiendo solo algunos proyectos a escala experimental. El desarrollo de tecnología nacional para diferentes prototipos, y proyectos de desarrollo de varios centros de pruebas permite pensar en un importante desarrollo industrial en el área de energías marinas en un futuro, pudiendo llegar a situar a España entre los principales productores de undimotriz a escala mundial.

Es por lo que se hace necesario el estudio de las energías provenientes del mar en el territorio español, tal es el caso del archipiélago canario el cual presenta un escenario ideal para el desarrollo del sector de las energías renovables marinas, especialmente las provenientes de las olas (*undimotriz*), tanto por su elevado potencial energético, como, por la especial situación geográfica de las islas, que con sus redes eléctricas aisladas y una dependencia casi total de los combustibles fósiles, hacen necesaria la introducción de nuevas fuentes de energías renovables.

Las Islas Canarias presentan 1.583 km de costa, lo que representa un 20 % del litoral español. Esto hace suponer que el archipiélago dispone de un importante potencial de energía undimotriz, especialmente en su costa norte, expuesta directamente al oleaje del Océano Atlántico Norte [1].

El potencial promedio anual en la costa norte de las islas está próximo a los 20 kW/m, situando a Canarias en segundo lugar en el ranking nacional en cuanto al contenido de energía media anual neta (TWh/año), tan solo por detrás de Galicia [1].

El archipiélago canario se origina de una naturaleza volcánica, como consecuencia de este fenómeno, las islas más antiguas: Lanzarote, Gran Canarias y Fuerteventura presentan una plataforma continental más amplia. No siendo de igual modo para las islas más recientes (La Palma y El Hierro) que presentan perfiles muy abruptos, sin apenas plataforma.

Tomando en consideración lo antes expuesto, el presente trabajo propone una caracterización de los potenciales undimotrices en la isla de Lanzarote y Fuerteventura, para lo cual se realizará una modelización de los mismos.

La investigación se centra en la evaluación de potenciales energéticos, no valorando ninguna tecnología específica. Tampoco se tendrán en cuenta criterios como los medioambientales, zonas protegidas (rutas de navegación, zonas de pesca, zonas de ejercicios militares, zonas de recreación, etc.), autorizaciones, licencias o permisos.

Se presenta un sistema Neuro-Fuzzy Genético con el objetivo de predecir los valores energéticos undimotrices de ciertos puntos, a partir de los valores conocidos de los puntos de simulación del oleaje de tercera generación (puntos WANA) más cercanos.

Los actuales modelos de predicciones del comportamiento del oleaje son capaces de entregarnos variables como: altura significativa de la ola, periodo medio, dirección media del oleaje, etc. Estos modelos son de gran ayuda para obtener valores orientativos a la hora de realizar cálculos de tipo energéticos, no siendo así cuando lo que se desea es instaurar un sistema de captación de energía de las olas, especialmente en las Islas Canarias. Esto se debe en gran medida a la escases de boyas para la toma de datos reales en el archipiélago, siendo inexistentes en las islas más orientales.

## 2. Materiales y métodos.

Los sistemas de captación energética del oleaje, son dispositivos que transforman la energía del oleaje en energía útil. Estos sistemas tienen que ser capaces de resistir los embates del mar y funcionar eficientemente para las amplias gamas de frecuencia y amplitud de las olas.

El grado de desarrollo tecnológico alcanzado hasta el momento es todavía insuficiente para hacer de esta una fuente de obtención de energía eléctrica competitiva. A pesar de eso, ya se ha comprobado que en sistemas marinos pueden existir grandes diferencias entre las inversiones iniciales de explotación y mantenimiento de proyectos: onshore, nearshore y offshore. Los costes de cimentación, anclaje y de las subestructuras en aguas marinas profundas pueden llegar a encarecer los proyectos entre un 15 % y un 20 % [2,3].

Tal y como se muestra en la Figura 1, Lanzarote y Fuerteventura presentan una plataforma continental más amplia que el resto de las islas, contando con una menor batimetría, lo que propicia el aprovechamiento de los recursos undimotrices en la región seleccionada, disminuyendo los costes asociados a la construcción y mantenimientos de los dispositivos de captación. Se puede destacar la baja frecuencia de eventos extremos del oleaje cercanos a ambas islas.

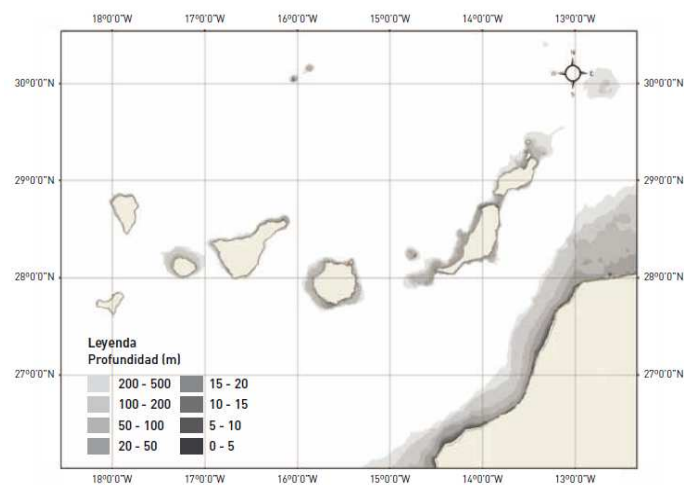


Figura 1. Batimetría de las Islas Canarias.

### 2.1 Toma de datos experimentales.

Para conseguir el objetivo que se persigue en este trabajo de investigación, el primer paso a llevar a cabo fue precisar una o varias fuentes fiables donde obtener los datos históricos de olas.

Estos datos fueron obtenidos a partir del “Organismo Público Puertos del Estado” (OPPE) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), los cuales facilitaron las series temporales de olas desde 1996 hasta el 2016.

En la actualidad, Puertos del Estado cuenta con una importante red de boyas para la toma de datos reales, pero estos sensores suelen estar vinculados en la mayor parte de los casos a instalaciones portuarias, no existiendo ninguna boya en las islas orientales de canarias, lo que dificulta el estudio de las regiones de interés a partir de mediciones reales [4].

Teniendo en consideración este inconveniente, la toma de datos de las olas en las aguas rodean a Lanzarote y Fuerteventura se realizará a partir de los resultados ofrecidos por la aplicación del modelo numérico (WANA) de simulación del oleaje de tercera generación en determinados puntos del litoral español, ofrecido por Puertos del Estado. La versión del modelo WANA utilizada en el Atlántico, para la predicción de olas, es de aguas profundas (más de 200 metro de profundidad) [4]. La decisión de tomar estos puntos WANA se basa principalmente en la necesidad de obtener valores energéticos que no estén afectados por ningún fenómeno producido por los fondos marinos. En estudios posteriores se podrá precisar la influencia de estos fenómenos en los potenciales energéticos marinos.

La Figura 2 detalla el espaciamiento de la malla considerada, en la misma se indica la ubicación y la nomenclatura de cada uno de los puntos de simulación WANA seleccionados para el estudio.

La Tabla 1 da a conocer los puntos de simulación WANA analizados y sus coordenadas en el Océano Atlántico Norte.

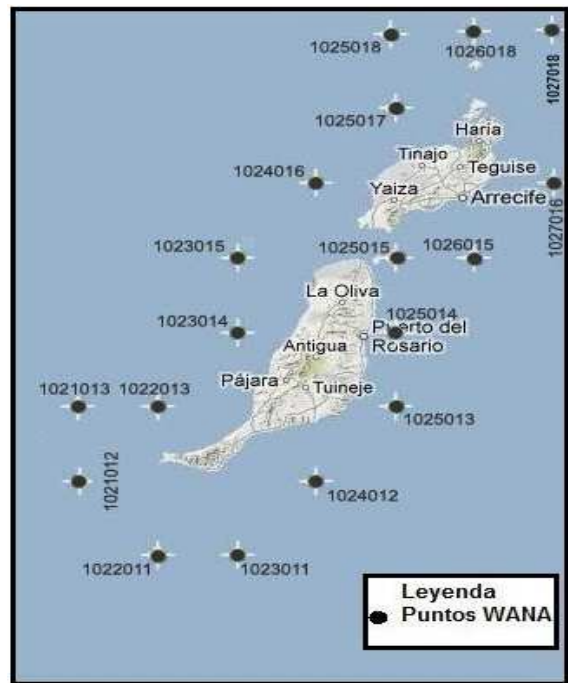


Figura 2. Puntos WANA seleccionados para el estudio en la isla de Lanzarote y Fuerteventura.

Tabla.1. Puntos WANA y sus coordenadas (Isla de Lanzarote y Fuerteventura).

Puntos WANA	Long.	Latitud.	Puntos WANA	Long.	Latitud.
1027018	13,25°W	29,50°N	1023014	14,25°W	28,50°N
1027016	13,25°W	29,00°N	1021012	14,75°W	28,00°N
1026018	13,50°W	29,50°N	1021013	14,75°W	28,00°N
1026015	13,50°W	28,75°N	1022013	14,50°W	28,25°N
1025018	13,75°W	29,50°N	1022011	14,50°W	27,75°N
1025017	13,75°W	29,25°N	1023011	14,25°W	27,75°N
1025015	13,75°W	28,75°N	1024012	14,00°W	28,00°N
1024016	14,00°W	29,00°N	1025013	13,75°W	28,25°N
1023015	14,25°W	28,75°N	1025014	13,75°W	28,50°N

Para la determinación de los potenciales undimotrices de la región en estudio, se toma la malla formada por dieciocho puntos WANA que se encuentran distribuidos alrededor de las islas de Lanzarote y Fuerteventura. A partir de los datos de altura significativa de las olas y sus periodos se procede a los cálculos.



## 2.2. Cálculo de la energía undimotriz.

Establecidos los puntos WANA para el estudio, se procede a determinar de forma orientativa cuáles de ellos pueden ser factibles para la explotación de la energía de las olas. Se realiza un análisis de los mismos y seleccionan los puntos que cumplen la siguiente condición: “la energía media de las olas ( $E_{wave,med}$ ) es igual o mayor de 15,0 kW/m”.

Para determinar esta condición se emplea la ecuación:

$$E_{wave,med} = 0.8571A \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i^2 T_i \quad 2.1$$

en la que:

$A$  es una contante ( $0,34 \div 0,59$ ).

$H$  es la altura significativa de la ola (m).

$T$  es el período o tiempo de paso de dos olas consecutivas por una línea imaginaria a la mitad de la distancia entre la cresta y el valle (s).

$n$  se presenta como el número de clase de los datos.

Determinados los puntos WANA que cumplen la condición, se procede al cálculo de los potenciales energéticos undimotrices (kWh/m). Para la realización de los mismos se ajustaron los datos de altura y el período de las olas a una distribución bidimensional, de la forma:

$$f(H,T) = \frac{k_1 k_2 \left(\frac{H}{c_1}\right)^{k_1-1} \left(\frac{T}{c_2}\right)^{k_2-1}}{c_1 c_2 (1-c_{12}^2)} \exp\left[-\frac{\left(\frac{H}{c_1}\right)^{k_1} + \left(\frac{T}{c_2}\right)^{k_2}}{1-c_{12}^2}\right] B_0\left[\frac{2c_{12} \left(\frac{H}{c_1}\right)^{k_1/2} \left(\frac{T}{c_2}\right)^{k_2/2}}{1-c_{12}^2}\right] \quad 2.2$$

donde  $B_0$  es la función de Bessel de orden 0 y  $c_1$ ,  $k_1$ ,  $c_2$ ,  $k_2$  y  $c_{12}$  son coeficientes de distribución.

El cálculo de la energía de las olas puede ser resuelta numéricamente mediante la ecuación 2.3. En dicha expresión se incluye el periodo considerado en el estudio,  $t = 730$  h.

$$E_{wave} = 0.8571At \sum_{H=0}^{H_{max}-\Delta H} \sum_{T=0}^{T_{max}-\Delta T} (H^2 T p) \Big|_{H,T}^{H+\Delta H, T+\Delta T} \quad 2.3$$

siendo  $p \Big|_{H,T}^{H+\Delta H, T+\Delta T}$ , la densidad de probabilidad acumulada para la distribución bidimensional en el intervalo rectangular definido por los límites  $[H, H + \Delta H]$  y  $[T, T + \Delta T]$ .

La distribución bidimensional utilizada en cada caso, se ajustó a partir de los datos de altura y período correspondientes a cada uno de los meses. Esto permite conocer los meses de mayores y menores potenciales undimotrices, pudiendo realizar una valoración de los mismos.

Es válido recordar que la energía que se determina en este estudio equivale al 100 % de la energía útil en cada punto WANA. Esta energía debe de ser transformada por un captador de energía undimotriz, por lo que se verá afectada por la eficiencia de transformación energética de dicho equipo.

## 2.3 Técnica inteligente para la predicción de valores energéticos.

Puesto que el objetivo es construir un sistema que sea capaz de predecir los valores de la energía undimotriz en ciertos puntos WANA, a partir de los valores conocidos de los puntos WANA cercanos, se ha decidido utilizar un sistema con capacidad de aprendizaje. Particularmente se ha empleado un algoritmo Neuro-Fuzzy Genético [5] con el que a través de entrenamiento se pueda alcanzar una adecuada generalización y por tanto sea capaz de proporcionar los valores de energía que existiría en los diferentes puntos WANA de interés.

Los datos de los que se disponen corresponden a los valores energéticos promedios en kWh/m.mes de cada uno de los puntos mencionados anteriormente para los 12 meses del año. Por tanto, los valores que formarán el conjunto de datos para la realización del entrenamiento serán esas potencias, junto con las coordenadas de cada punto, latitud y longitud, además de un indicativo del mes al que corresponde dicha energía. El algoritmo constará de tres entradas y una salida. Dado que se pretende comprobar que el sistema es capaz de predecir la energía, se reservarán los datos de dos puntos WANA. Eso quiere decir, que los datos energéticos de esos puntos no serán utilizados en el entrenamiento y se usarán al finalizar el proceso como referencia para analizar la capacidad de generalización del sistema.

El sistema Neuro-Fuzzy Genético empleado tiene una estructura similar a la propuesta por Jang [5,6], formada por tres capas. El algoritmo depende de tres parámetros que serán obtenidos mediante el proceso de entrenamiento. En particular, nos referimos a los centros de las funciones de pertenencia, su ancho y las salidas estimadas. Para alcanzar los mejores valores para estos parámetros el entrenamiento se

divide en tres fases. Las dos primeras son las encargadas de proporcionar los valores iniciales a algunos parámetros y de optimizar el número de nodos de la capa oculta, es decir, el número de reglas. Y la última fase reajusta los valores de los parámetros obtenidos en las fases anteriores.

En la primera fase se obtienen los valores iniciales de los centros de las funciones de pertenencia y de las salidas estimadas a través de la aplicación de un algoritmo basado en una Red Neuronal Artificial Kohonen [7]. Por otro lado, el vector inicial de pesos del mapa auto-organizativo se calcula a través de la media de los valores máximo y mínimo de las entradas proporcionadas. A continuación se determina el nodo 'ganador' para actualizar los pesos empleando un mapa auto-organizativo monodimensional. El número de vectores de pesos escogido corresponderá con el número de neuronas de la capa oculta del sistema Neuro-Fuzzy Genético. Una vez se ha determinado el nodo 'ganador' se calculan los nuevos pesos. Cada vector de pesos se asocia con cada neurona de la capa oculta, de manera que las funciones de pertenencia y las salidas estimadas se determinan por los componentes del vector de pesos asociados. Puesto que el número de nodos de la capa oculta está relacionado con el número de reglas, es necesario un proceso de optimización para obtener un número mínimo de reglas.

Una vez establecidos en la primera fase valores para los centros de las funciones de base radial y los valores estimados, en la segunda fase se debe decidir qué reglas asociadas a la capa oculta serían de interés en la resolución del problema y de cuales podríamos prescindir. En este sentido en esta fase del entrenamiento se introducen técnicas de algoritmos genéticos [8]. Se plantea como individuo una posible solución, entendida tal como la elección de un cierto conjunto de reglas y un cierto conjunto de valores de las funciones de pertenencia, tomando los valores calculados en la fase previa. A estos individuos se les aplican operadores de cruce y mutación, obteniendo nuevas posibles soluciones (individuos). En este caso, se elige como función de costo, la evaluación del error a partir de los valores reales.

Finalmente, en la última fase del entrenamiento se ajustan los parámetros del sistema obtenidos en las fases anteriores. Se emplea el algoritmo de aprendizaje de mínimos cuadrados debido a la similitud de este sistema con una red de base radial [9]. Este algoritmo trata de minimizar la

función criterio establecida que analiza la diferencia entre las salidas proporcionadas y las deseadas.

### 3 Resultados y discusión.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la evaluación del potencial undimotriz en los diferentes puntos WANA. Los mismos se representan de forma gráfica, de modo que pueda visualizarse de manera más sistemática y resumida.

Para el análisis de la energía undimotriz, se parte de la obtención de los valores de la energía media de las olas para cada punto, a partir de series temporales de datos. Estos valores se muestran en la Figura 3.

Las barras blancas simbolizan los puntos WANA donde se cumple que la energía media undimotriz es mayor de 15 kW/m. Estos serían las ubicaciones factibles desde el punto de vista energético, sumando 10 en total. Los puntos representados con las barras negras son las localizaciones que se desecharán para el estudio, presentando una energía media menor de 15 kW/m. Los puntos WANA seleccionados para el cálculo de potencia de las olas se dan a conocer en la Tabla 2.

Tal y como se puede apreciar, las 10 zonas seleccionadas para el estudio se encuentran localizadas al norte y el noreste de las islas, de cara al Océano Atlántico Norte. Esto se debe a los potenciales energéticos renovables presentes en la región, dada la influencia de los vientos Alisios durante casi todo el año, la latitud donde se encuentran las islas y a la proximidad del anticiclón de las Azores.

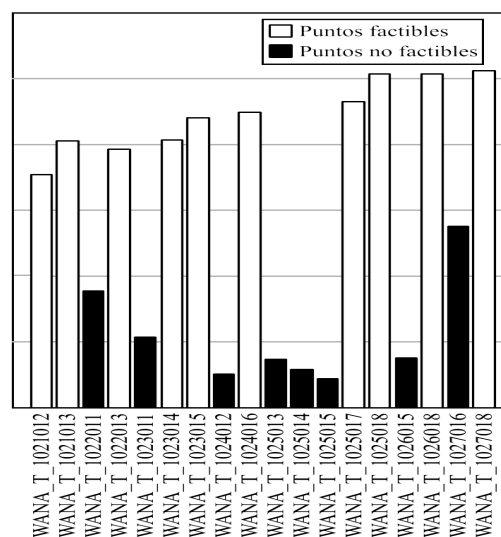


Figura 3. Potencia media del oleaje en Lanzarote y Fuerteventura.

Tabla.2. Puntos WANA seleccionados (energía media  $\geq 15$  kW/m).

Puntos WANA	Long.	Latitud	Puntos WANA	Long.	Latitud
1027018	13,25°W	29,50°N	1023015	14,25°W	28,75°N
1026018	13,50°W	29,50°N	1023014	14,25°W	28,50°N
1025018	13,75°W	29,50°N	1021012	14,75°W	28,00°N
1025017	13,75°W	29,25°N	1021013	14,75°W	28,00°N
1024016	14,00°W	29,00°N	1022013	14,50°W	28,25°N

### 3.1. Distribución probabilística bidimensional de Weibull.

En la Figura 4 se dan a conocer las distribuciones probabilísticas bidimensionales de Weibull para el oleaje durante el periodo de un año para algunos de los puntos WANA seleccionados (energía media  $\geq 15$  kW/m), la que depende del comportamiento de periodo de las olas (T) y la altura (H) de las mismas.

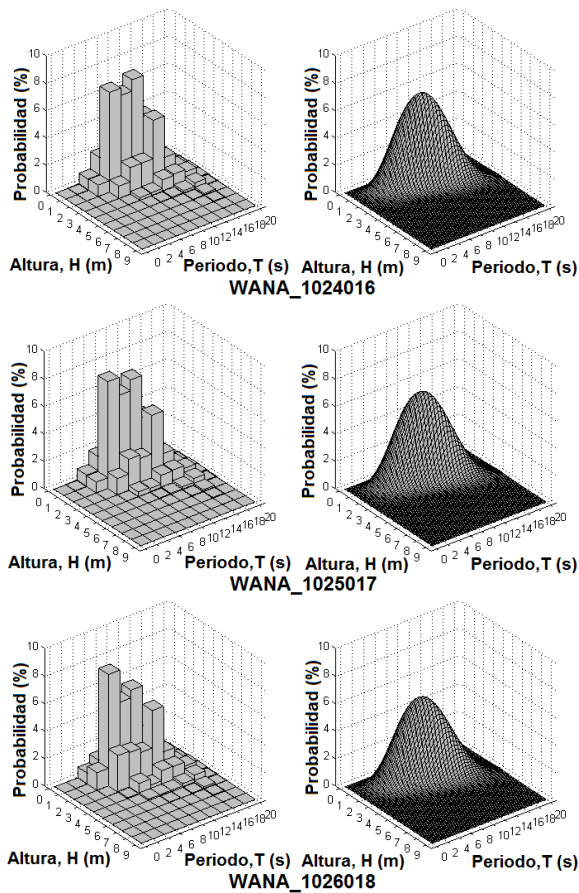
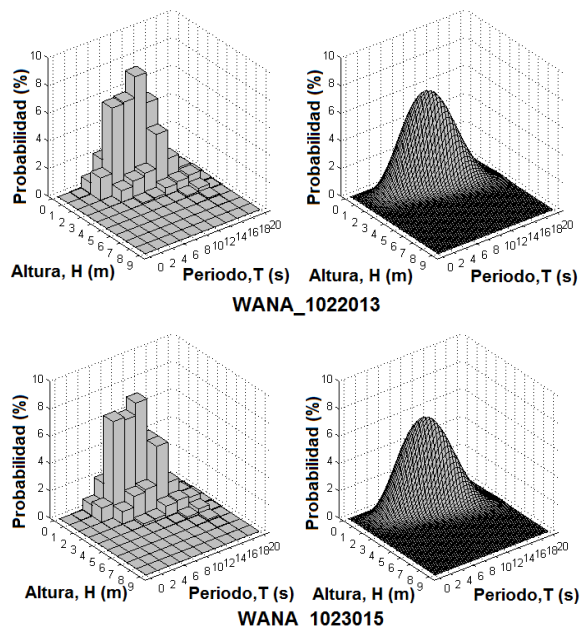


Figura 4. Distribuciones probabilística bidimensional de Weibull para los puntos WANA: 1022013; 1023015; 1024016; 1025017 y 1026018.

Al analizar el comportamiento de la distribución probabilística bidimensional anual del oleaje, es válido destacar que las mayores probabilidades ocurren con altura (H) de olas entre 1,0 y 2,0 metros y periodos (T) entre 6,0 y 14,0 segundos. Las menores coincidencias pueden ocurrir con valores de altura muy bajos (0÷1,0) y valores entre 3,0 y 7,0 metros con periodos que pueden ir desde los 2,0 hasta los 20 segundos.

### 3.2. Energía de las olas.

El cálculo de la potencia de las olas se desarrolla a partir de la distribución probabilística bidimensional de Weibull. El tiempo considerado en el estudio es de un mes (730 h). La energía será dada en función de los metros lineales (kWh/m mes). La Figura 5 muestra los valores mensuales que puede llegar a alcanzar la potencia undimotriz para cada uno de los cinco puntos WANA analizados en la Figura 4.

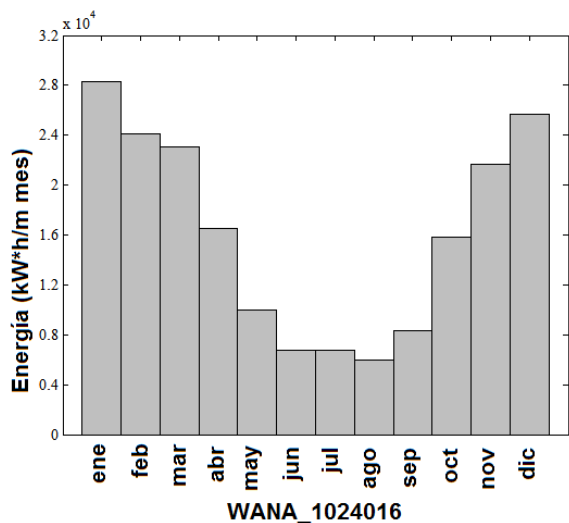
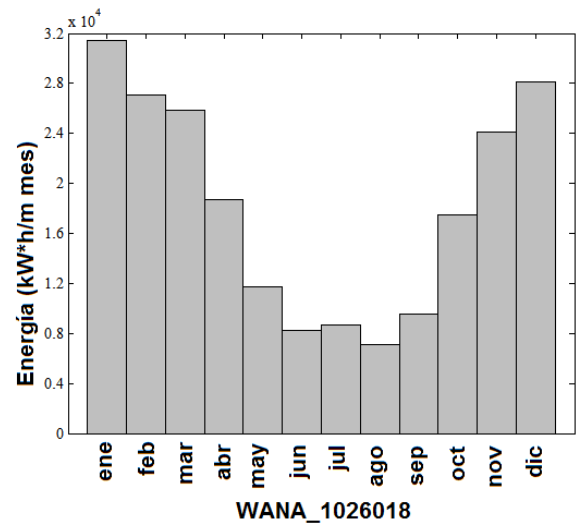
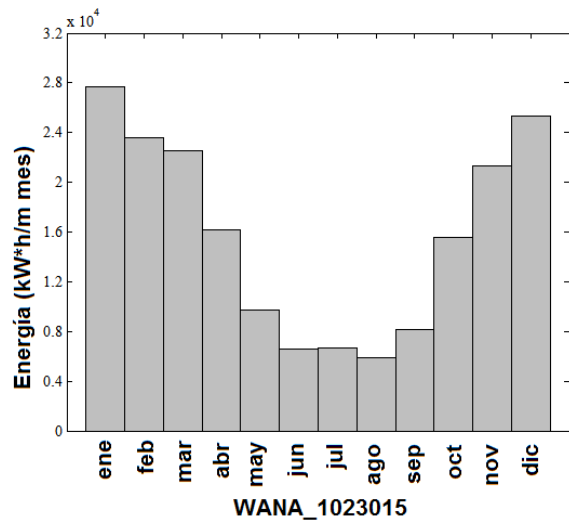
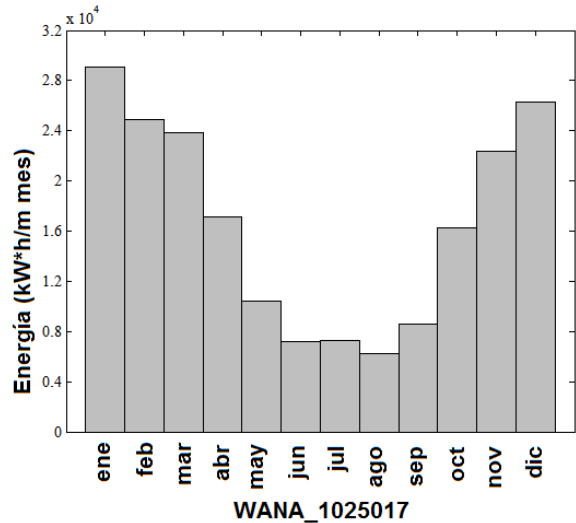
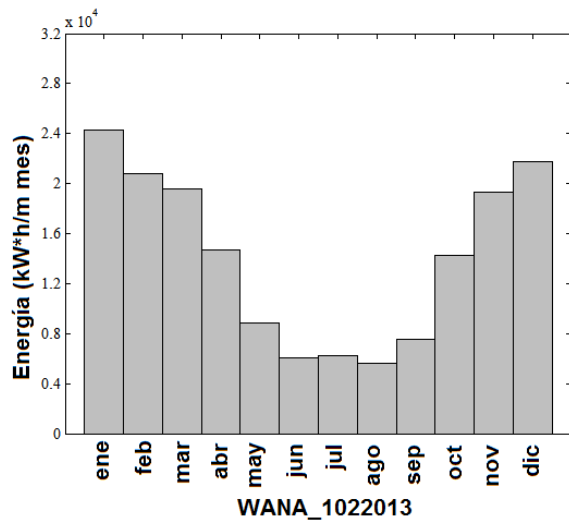


Figura 5. Energía undimotriz por meses del año (kWh/m mes) en los puntos WANA: 1023015; 1022013; 1024016; 1025017 y 1026018.

En todas las gráficas de barras que se muestra en la Figura 5, se observa que en los puntos WANA analizados, los mayores valores energéticos procedentes de las olas ocurren en los meses de invierno: diciembre y enero, con valores que pueden oscilar entre los 21,75 y los 31,75 MWh/m mes. El mes de agosto es el que presenta menores aportes de energía, con valores que rondan entre los 5,61 y los 7,3 MWh/m mes.

La suma total de la potencia de las olas que puede llegar a incidir por metro lineal durante el transcurso de un año en cada uno de los 10 puntos WANA analizados en el estudio se da a conocer en la Tabla 3.

Tabla 3. Energía de las olas por año (kWh/m año) en los 10 puntos WANA.

Puntos WANA	Energía undimotriz (kWh/m año)
1027018	220.541
1026018	217.996
1025018	217.561
1025017	199.482
1024016	192.888
1023015	188.989
1023014	174.741
1021012	151.826
1021013	173.817
1022013	168.979

En la tabla anterior aparecen los valores energéticos anuales procedentes de las olas que tienen lugar en los diferentes puntos analizados. Tal y como se muestra, los potenciales oscilan aproximadamente entre los 152,0 y los 220,5 MWh/m año. El punto WANA de mayores potenciales es el 1027018 con 220.541 kWh/m año, siendo este uno de los más orientales de todos los puntos estudiados.

#### 4 Predicción de valores energéticos.

Una vez se han concluido las tres fases del entrenamiento expuestas en la sección 2.3, se introducen valores que el sistema desconoce. En este caso se han reservado los datos vinculados a los puntos WANA 1026018 y 1022013 de Lanzarote y Fuerteventura respectivamente. Esto quiere decir, que le indicaremos al sistema Neuro-Fuzzy entrenado las coordenadas y el mes de estos puntos WANA y nos proporcionará un valor orientativo de su energía undimotriz.

En las tablas 4 y 5 se muestra la comparación entre los valores que proporciona el sistema y las salidas esperadas, que corresponden con las mediciones reales sobre ese punto en kWh/m.mes para cada uno de los meses del año. Hay que hacer hincapié en que los valores de las entradas son desconocidos, lo que quiere decir que el sistema no los ha utilizado para entrenarse.

Tabla 4. Comparación entre salida real y la salida del Neuro-Fuzzy para el punto WANA 1026018.

Punto WANA 1026018	
Salida real (kWh/m mes)	Salida proporcionada (kWh/m mes)
31.437	28.000
27.055	25.000
25.827	25.000
18.716	22.000
11.687	20.000
82.81	15.000
86.74	10.000
71.16	11.000
95.25	11.000
17.464	20.000
24.131	25.000
28.083	25.000

Tabla 5. Comparación entre salida real y la salida del Neuro-Fuzzy para el punto WANA 1022013.

Punto WANA 1022013	
Salida real (kWh/m mes)	Salida proporcionada (kWh/m mes)
24.257	25.000
20.773	25.000
19.570	21.000
14.659	11.000
8.888	11.000
6.102	9.000
6.240	9.000
5.609	10.000
7.571	10.000
14.272	10.000
19.289	22.000
21.749	25.000

Analizando ambas tablas se puede comprobar que el sistema Neuro-Fuzzy Genético ha alcanzado un nivel de generalización satisfactorio. La mayor parte de los resultados presentan variaciones en torno al 10 % con respecto al valor energético real. Aquellos que muestran mayores diferencias son los resultados 5 y 6, correspondientes a mayo y junio, en el punto WANA 1026018, y el dato número 8, que se corresponde con el mes de agosto, en el punto WANA 1022013. En referencia a estas grandes variaciones, próximas al 50 %, hay que hacer hincapié en que el estudio energético que se realiza en los distintos puntos WANA pretende analizar la viabilidad de esos puntos para la instalación de captadores, por lo tanto se realizará un estudio general anual y no únicamente un análisis de un mes

en particular. De esta manera, aunque el sistema muestre en algunos meses valores energéticos muy diferentes a los que debe indicar, al examinar el conjunto de los valores proporcionados a lo largo de todo un año, el sistema Neuro-Fuzzy Genético es capaz de realizar un buen análisis global.

## 5 Conclusiones.

1- Los mayores valores energéticos procedentes de las olas en los puntos WANA seleccionados ocurren en los meses de invierno: diciembre y enero, con valores que oscilan entre los 18,65 y los 31,75 MWh/m mes.

2- El mes de agosto es el que presenta menores aportes de energía para todos los puntos WANA, con valores que rondan entre los 5,5 y los 7,3 MWh/m mes.

3- Los valores energéticos anuales procedentes de las olas que se pueden obtener en cada uno de los puntos WANA analizados oscilan aproximadamente entre los 152,0 y 220,5 MWh/m año.

4- El punto WANA que presenta mayores potenciales de los analizados es el 1027018 con 220.541 kWh/m año, siendo el más oriental de todos los puntos estudiados.

5- Estos primeros resultados nos permiten determinar el interés que dichas zonas tienen de cara a hacer un estudio más exhaustivo en términos de poder evaluar la posibilidad de aprovechamiento de dichos potenciales por medio de diferentes dispositivos de captura de energía undimotriz.

6- En este estudio se ha analizado una técnica basada en algoritmos de inteligencia artificial al objeto de determinar un posible predictor de energía de las olas que vaya más allá de los puntos de malla calculado.

7- Los resultados ponen de manifiesto la conveniencia de la herramienta, si bien es necesario seguir realizando un estudio incorporando nuevas variables que hagan más efectivo el predictor, incluyendo adicionalmente aspectos socio-económicos y medioambientales que tienen un papel importante en la rentabilidad y viabilidad de emplazamiento de un capturador de energía undimotriz en esas localizaciones específicas.

## Agradecimientos.

“Este trabajo ha sido cofinanciado por fondos FEDER, Programa Interreg MAC 2014-2020, en el marco del proyecto DESAL+ (MAC/1.1a/094)” y por el Proyecto Nacional DPI2015-69325- C2-2-R (MINECO/FEDER, UE).

## Referencias

- [1] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), (2010). Evaluación del potencial de la energía de las olas. Estudio Técnico. PER 2011-2020.
- [2] Aranzadi, P., (2010). Valoración del entorno de simulación SESAM para el diseño de una estructura marina de tipo celosía. Trabajo de titulación de Ingeniero Industrial, Universidad pública de Navarra.
- [3] Ruiz, J. P., 2007. Aprovechamiento de la Energía de las Olas. Robotiker-TECNALIA (2da Jornada Internacional sobre Energía Marina), Bilbao
- [4] Puertos del Estado, 2017. Conjunto de datos WANA: [http://calipso.puertos.es//BD/informes/INT\\_WANA.pdf](http://calipso.puertos.es//BD/informes/INT_WANA.pdf)
- [5] Marichal GN, Del Castillo ML, López J, Padrón I, Artés M. (2016) “An Artificial Intelligence Approach for Gears Diagnostics in AUVs. Wang X, ed. Sensors.” (Basel, Switzerland), 16(4):529. doi:10.3390/s16040529.
- [6] Jang, J.R. (1993) ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Trans. Syst. Man Cybernetics, 23, pp. 665–685.
- [7] Kohonen T., (2001) Self-Organizing Maps. Springer Series in Information Sciences, Vol. 30, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- [8] Goldberg D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, January 1989
- [9] Chen, Cowan C. F. N., and Grant P. M., (1991) “Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks,” IEEE Trans. Neural Networks, vol. 2, no. 2, Mar., pp. 302-309.