

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control

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

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....	108
<i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>	
Control Predictivo Basado en Datos.....	115
<i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....	122
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	
Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.	130
<i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>	
AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....	138
<i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>	
OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	146
<i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>	
Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....	154
<i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.	160
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>	
Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....	167
<i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>	
Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....	174
<i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>	
An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....	181
<i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>	
Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid.....	189
<i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>	
Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....	197
<i>Jesús M. Zamarréño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>	
<hr/> Automar <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/> Bioingeniería <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/> Control Inteligente <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/> Educación en Automática <hr/>	
REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL.....	445
<i>Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García</i>	
Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos	451
<i>Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA	457
<i>Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga</i>	
Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático	465
<i>Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary</i>	

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

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

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

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

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

Sistemas de Tiempo Real

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

Visión por Computador

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

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

Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía

Ascensión Zafra, Rafael Espinosa, Miguel Ángel Ridao, Carlos Bordóns
 Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
 Escuela Técnica Superior de Ingeniería
 Universidad de Sevilla
 {asunzafra,bordons,miguelridao}@us.es, rafaelespinosa2005@hotmail.com

Resumen

Este trabajo propone una herramienta para ayudar en la toma de decisión de la planificación de redes de energía. Se incluye una evaluación multicriterio de los escenarios posibles de planificación considerando distintos criterios y ponderaciones. Para este cometido se usa la herramienta multiobjetivo discreta PROMETHEE y planos GAIA. El conjunto de escenarios se genera considerando incertidumbres que puede presentar el sistema. La simulación de la red eléctrica se lleva a cabo en la herramienta comercial OpenDSS. Para ilustrar la herramienta se ha tomado una red de la IEEE, donde se observan los beneficios del método propuesto. Los resultados obtenidos muestran que el tomar incertidumbres en el proceso de optimización de las redes de potencia, supone un gran aumento en la eficiencia de la red.

Palabras clave: Gestión Microrredes, Optimización Multicriterio, Incertidumbres, Simulación

1 INTRODUCCIÓN

Estamos en una era donde se está realizando una transición del sistema eléctrico tradicional a redes de menor tamaño con incorporación de sistemas de almacenamiento. Las previsiones de energía indican un crecimiento moderado de la demanda, un fuerte incremento de las energías renovables y una necesidad de potencia firme y flexible. Todo ello está haciendo que el concepto de red eléctrica “inteligente” y microrredes estén tomando un considerable auge, propiciando el desarrollo de técnicas de gestión que mejoren el rendimiento y desempeño de la red [5].

Las redes eléctricas inteligentes (o *smart grids* en inglés) integran las tecnologías de la información con las infraestructuras eléctricas actuales, haciendo posible una comunicación bidireccional entre generadores, y consumidores. El nuevo modelo energético pretende transformar el sistema actual en un sistema distribuido, en el cual, cualquier agente que esté conectado a la red tiene la posibi-

lidad de aportar energía, apoyando la creación de microgeneradores. De esta forma, no existe una dependencia tan directa como con la generación energética actual. Las redes inteligentes disminuyen drásticamente las pérdidas por el transporte energético, facilitan la conexión a la red de todo tipo de energías renovables (mejorando la integración de porcentajes crecientes de energías no gestionables como la eólica o la solar), soportan las capacidades de almacenamiento energético y la conexión masiva de vehículos eléctricos o híbridos (tanto para cargar como para volcar energía a la red)[12].

Dentro de las redes eléctricas inteligentes, se pueden distinguir las microrredes, inicialmente introducidas en [11]. Se trata de una alternativa para abordar la integración de recursos energéticos distribuidos, como las energías renovables o los coches eléctricos. Según [7], las microrredes pueden considerarse como un conjunto de cargas, generadores y sistemas de almacenamiento coordinadas tal que puedan suministrar electricidad de forma factible. Pueden funcionar de forma aislada o conectadas a la red principal, vistas desde esta última como un elemento único que responde a las señales de control. Es por tanto necesario controlar la microrred para que desempeñe su función de forma estable y económica.

Usualmente, en el control de las microrredes se plantean problemas de optimización en los cuales se valoran distintos objetivos [8, 6]. Así por ejemplo, en la planificación diaria de una microrred se ha de valorar la satisfacción de las demandas, el coste económico, la fiabilidad de los componentes,... llegando a una solución de compromiso entre el conjunto de factores. La mejor estrategia a seguir dependerá en parte de los objetivos considerados, sus prioridades y ponderaciones.

Se pueden encontrar en la literatura, distintas técnicas de decisión multicriterio (o multiobjetivo) aplicadas a sistemas ([1], [10]). Una posible clasificación de estos métodos se puede hacer atendiendo si la región factible del problema es continua o discreta. Dentro de esta última se destaca la técnica PROMETHEE (Preference Ranking Organisational Method for Enrichment Evaluation)

[4].

Este trabajo presenta una herramienta de decisión multiobjetivo para la optimización de la planificación de microrredes. La generación de las distintas alternativas de configuración de la microrred se realiza considerando incertidumbres. En este trabajo la fuente de incertidumbres viene determinada por la incorporación de fuentes de energía renovables y coches eléctricos en la microrred. De esta forma, el conjunto de alternativas y por tanto las posibilidades del decisor se ve incrementada. La simulación de cada alternativa se lleva a cabo en el paquete software OpenDSS, donde se valoran las pérdidas de la red en cada uno de los nodos y la satisfacción de la demanda. Los resultados de la simulación son usadas en la evaluación multicriterio usando la técnica PROMETHEE y planos GAIA (Geometrical Analysis for Interactive Assistance), obteniendo la mejor de las opciones de la configuración de la microrred ([3]).

La organización del artículo es la siguiente. La sección 2 expone cómo se lleva a cabo la generación de alternativas de configuración de una red de energía. La sección 3 describe cómo se evalúan cada una de estas alternativas, considerando indicadores como pérdidas, satisfacción de la demanda, etc... En este apartado se describe la herramienta de simulación OPenDSS. La evaluación multicriterio se describe en la sección 4, con la técnica PROMETHEE y planos GAIA. En la sección 5 se usa la microrred de la IEEE de 37 nodos a la cual se le han realizado algunos cambios para incluir coches eléctricos y otras fuentes renovables, poniendo de manifiesto cada uno de los pasos seguidos. Finalmente, el capítulo 6 concluye este artículo, mostrando las conclusiones.

2 GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CONFIGURACIÓN DE MICRORRED

Este punto tiene como objetivo generar un conjunto de escenarios posibles de configuración de la microrred con objeto de elegir la más idónea atendiendo a una evaluación multicriterio.

Para ello, se van a introducir variabilidad en las siguientes variables:

- Costes de producir cada unidad de potencia de las fuentes, C_i (euros)
- Cargas puntuales en cada uno de los nodos de la red, considerando dentro de ellas las conexiones de los coches eléctricos, L_i (kWh)

- Potencia suministrada por cada uno de los generadores de la microrred, P_i (kWh)

Partiendo de una configuración inicial, al que llamaremos escenario nominal, se generarán las distintas realizaciones de estas variables atendiendo a variables estocásticas. En nuestro caso, se modelan con funciones de distribución de probabilidad identificando datos históricos. Las funciones de distribución se discretizarán en un conjunto finito de escenarios posibles [2].

Un proceso estocástico, \mathbf{P} , se define de forma generalizada como una colección de na variables aleatorias dependientes:

$$\mathbf{P} = \{y_t^i, t \in T, i \in \{1 \dots na\}\},$$

donde para cada t en el espacio temporal T , y_t^i es el estado de la variable aleatoria i en el tiempo t . Se trata ahora de determinar la estructura probabilística de las variables $\{y_t^i\}$, estudiando su comportamiento probabilístico y la interrelación entre ellas (dependencia estática). Este procedimiento puede ser bastante complejo; en nuestro caso se asume que el proceso estocástico sigue una distribución Gaussiana en la que se ha de especificar el vector de valores medios y la matriz de covarianza. En [13] se puede ver cómo modelar un proceso estocástico si no se asume lo anterior y se recurre a series temporales basadas en modelos ARMA (AutoRegressive Moving Average).

3 SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS

Considérese el conjunto de n alternativas $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ y m criterios de evaluación. En este apartado se trata de evaluar cada alternativa respecto a cada criterio, $f^c(A_i)$, con $c = 1 \dots m$ y $i = 1 \dots n$. En nuestro caso, las distintas alternativas son parámetros de configuración de la red de energía. Para obtener los resultados se necesita el modelo de la red. En este trabajo se va a usar para la simulación el software OpenDSS (Open-source Distribution System Simulator) [9].

OpenDSS es un software de simulación de sistemas de distribución de energía eléctrica, desarrollado por EPRI (Electric Power Research Institute). Es un programa de simulación en el dominio de la frecuencia con las funcionalidades propias de los simuladores comerciales, así como nuevas herramientas que tienen en cuenta futuras necesidades relacionadas con los esfuerzos de modernización de las redes actuales. El programa fue originalmente pensado como una herramienta para el análisis de la interconexión de generación distribuida, pero su continua evolución ha llevado al

desarrollo de otras funcionalidades que son adecuadas, por ejemplo, para estudios de eficiencia en el suministro de energía y estudios de armónicos. OpenDSS representa los circuitos de distribución a través de ecuaciones de admitancias nodales. Cada elemento del sistema es representado por una matriz de admitancia nodal primitiva. Cada matriz primitiva es adjuntada a la matriz de admitancias del sistema, por lo que el sistema de ecuaciones que representa al sistema es solucionado con la ayuda de algoritmos de matrices dispersas. OpenDSS está diseñado para recibir instrucciones y devolver resultados en formato de texto. Puede accederse al programa tanto a través de una aplicación independiente como del módulo COM server. La aplicación independiente cuenta con una interfaz de usuario básica, aunque completamente funcional, que permite interactuar con el programa, mientras que el COM server permite conectar el OpenDSS con otros programas tales como Matlab, proporcionando de esa manera una gran capacidad de análisis de la información. La figura 1 muestra cómo interactúan los diferentes módulos dentro de la estructura de OpenDSS.

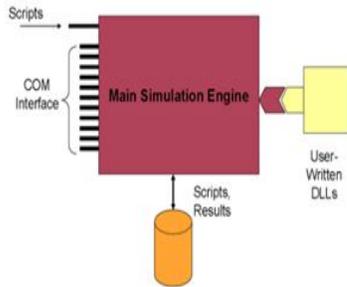


Figura 1: Esquema OpenDSS

En este trabajo las distintas alternativas se ejecutan desde un módulo de programación en Matlab.

4 EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Para la evaluación de las distintas alternativas de configuración de la red, se ha optado por el método discreto PROMETHEE [4]. Esta técnica parte de la base de que el decisor debe establecer la importancia relativa de cada uno de los criterios para luego definir una estructura de preferencia entre las alternativas. De esta forma, se definen funciones de preferencia que evitan la ambigüedad en la determinación de los umbrales de cada criterio. Para cada criterio se asocia una función con la que se valora la preferencia de una alternativa respecto a otra. De esta forma $P_c(A_i, A_k)$ representa la decisión entre la alternativa A_i y A_k con respecto al criterio c . El valor obtenido está en el rango entre

0 y 1.

Para aplicar el método PROMETHEE se necesita de forma adicional los pesos de cada criterio, w_j . Se computa para cada par de alternativas A_i y A_k la decisión con respecto a todos los criterios, expresada de la forma:

$$\pi(A_i, A_k) = \frac{\sum_{j=1}^m P_j(A_i, A_k)}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (1)$$

Con el fin de posicionar cada alternativa con respecto a las demás, PROMETHEE computa los flujos de preferencia positivo y negativo, ϕ^+ y ϕ^- para cada alternativa.

$$\begin{aligned} \phi^+(A_i) &= \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \pi(A_i, A_k) \\ \phi^-(A_i) &= \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \pi(A_k, A_i) \end{aligned} \quad (2)$$

El flujo positivo $\phi^+(A_i)$ cuantifica cómo la alternativa A_i es dominante sobre las otras. El flujo negativo $\phi^-(A_i)$ representa cuánto es dominado por las otras alternativas. La diferencia de ambos, el flujo neto ϕ , se obtiene para ordenar las alternativas:

$$\phi(A_i) = \phi^+(A_i) - \phi^-(A_i) \quad (3)$$

Un valor mayor en una alternativa que en otra de esta variable, representa una mejor valoración.

5 EJEMPLO: RED IEEE DE 37 NODOS AMPLIADA

La red de distribución que se usará para ilustrar el método corresponde al Test Case IEEE 37-bus Feeder, compuesta de 37 nodos. En esta red se puede diferenciar un regulador entre el bus 799 y el nodo 701 y un transformador entre los nodos 709 y 775. Como ya se ha descrito con anterioridad, se utilizará una modificación de esta red de distribución. La principal diferencia es la incorporación de diferentes agentes a esta red, tales como una batería (o grupo electrógeno), una pila de combustible, un generador solar, un generador eólico y un coche eléctrico. Los nodos donde colocaremos estos agentes serán los nodos 701, 720, 730, 722 y 737 respectivamente. La figura 2 muestra la configuración de esta red. Las propiedades de cada uno de los nodos se describen en un fichero de texto que toma como entrada de datos el simulador.

5.1 PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

El objetivo principal de nuestro problema será el de satisfacer la demanda de energía de nuestra red

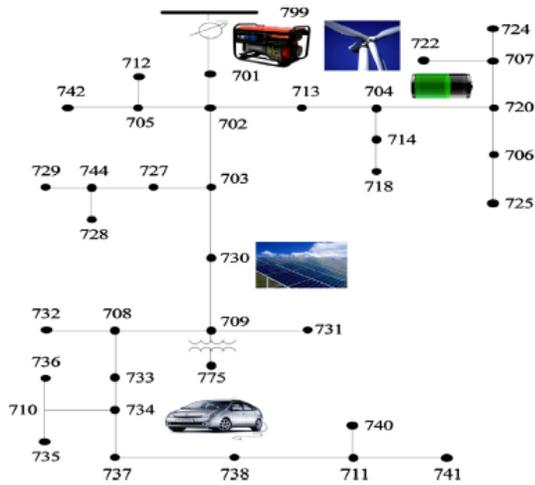


Figura 2: Red de energía de ejemplo.

y de los coches eléctricos (mediante el empleo de los diferentes generadores ya implementados en OpenDSS), reducir los costes de operación y reducir en todo lo posible las pérdidas que se puedan producir en la red. Esto queda reflejado en la siguiente función objetivo:

$$\begin{aligned}
 F = & \beta_1 \sum_{t=1}^{24} (D(t) - E(t))^2 + \\
 & + \beta_2 \sum_{t=1}^{24} \sum_{j=1}^4 (C_j(t) * P_j(t) + \\
 & + \beta_3 \sum_{t=1}^{24} P_{er}(t) \quad (4)
 \end{aligned}$$

donde $D(t)$ es la suma de la demanda de energía de los n_i coches eléctricos y de la red; $E(t)$ es la suma de las energías producidas por los generadores, C_j es el coste de producir una unidad de energía en el generador j y P_j es la potencia generada por el generador j . El término $P_{er}(t)$ representa las pérdidas de potencia de la red por hora. Nótese que todos los sumatorios están realizados en un intervalo de 24 horas. El sumatorio $j = 1 \dots 4$, corresponde a los 4 generadores existentes en la red.

Los diferentes pesos de la función objetivo se han asignado como $\beta_1 = 0.4$, $\beta_2 = 0.4$ y $\beta_3 = 0.2$. Los valores de carga en cada uno de los nodos se establecen en el fichero de texto de entrada al simulador. Una vez calculadas las pérdidas de la red así como la comprobación del abastecimiento de los nodos, se pueden extraer los valores desde el entorno Matlab con los siguientes comandos:

`DSSText.command='show generators';`

`DSSText.command='show meters';`

`DSSText.command='show losses';`

El coste de producir el kWh para cada uno de los generadores, se han tomado de la web de IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). Para las energías solares y eólicas, el rango de coste está entre 0.05 y 0.08 €/kWh. Para los combustibles fósiles y otras energías entre 0.045 y 0.14 €/kWh. La tabla 1 muestra los valores nominales de coste por kWh y potencia nominal de los 4 generadores.

Tabla 1: Valores nominales de costes y potencias de los generadores.

Generador	Coste (€)	Potencia
G. Electrónico	$C_1 = 0.045$	$P_1 = 1kW$
P. de Combustible	$C_2 = 0.05$	$P_2 = 8kW$
Energía eólica	$C_3 = 0.05$	$P_3 = 2300kW$
Energía solar	$C_4 = 0.08$	$P_4 = 78kW$

La decisión a tomar en este problema viene determinada por las potencias de entrada de los generadores.

Para la generación del conjunto de alternativas, según se establece en la sección 2, se han considerado como variables estocásticas los siguientes valores:

- Los costes de producir cada unidad de potencia, $\{C_1, C_2, C_3, C_4\}$.
- Valor de las cargas de los coches eléctricos dependiendo del instante de tiempo, L_i .
- Potencia suministrada por los generadores ($\{P_1, P_2, P_3, P_4\}$).

5.2 RESULTADOS

Cada una de las alternativas propuestas se ha evaluado atendiendo a los 3 criterios establecidos en la expresión 5.1 y obteniendo los resultados del software de simulación OpenDSS. El siguiente paso es introducir cada una de las alternativas y su valoración con respecto a cada criterio en el programa Visual Promethee-GAIA.

Los experimentos realizados se han clasificado dependiendo de la generación de alternativas. Se verá a continuación que los primeros escenarios se generan cambiando sólo un criterio en cada alternativa. En el segundo bloque, las alternativas se generan modificando varios criterios en cada alternativa.

5.2.1 Alternativas con incertidumbres en un sólo criterio

En este primer grupo de resultados, las alternativas se han generado introduciendo incertidumbres en un sólo criterio. Para el resto de criterios, permanecen los valores nominales. De esta forma se han llevado a cabo 3 grupos de evaluaciones. En la primera evaluación, las alternativas sólo han visto modificada la potencia de los generadores; en la segunda, las cargas de los nodos y en la tercera, los costes de producción de la energía. A título de ejemplo, la figura 3 muestra los resultados de PROMETHEE cuando se evalúan 7 alternativas correspondientes a variar los costes de producción de energía. El resultado que devuelve establece que la mejor alternativa es la A_{19} , consistente en aumentar el coste del kW del grupo electrógeno en un 20%. Las 3 columnas últimas muestran el flujo neto, flujo positivo y flujo negativo. Nótese que las alternativas se ordenan atendiendo al flujo neto.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Alternativa 19	0,4571	0,4571	0,0000
2	Alternativa 15	0,3429	0,4000	0,0571
3	Alternativa 16	0,2286	0,3429	0,1143
4	Alternativa 20	0,1143	0,2857	0,1714
5	Alternativa 22	-0,0571	0,1714	0,2286
6	Alternativa 17	-0,1143	0,1714	0,2857
7	Alternativa 18	-0,2286	0,1143	0,3429
8	Alternativa 21	-0,7429	0,0000	0,7429

Figura 3: Evaluación multicriterio de alternativas con cambios en coste del Kw.

En la siguiente simulación, se comparan las 3 alternativas mejores resultantes de variar potencias, cargas y costes de forma independiente, como se ha detallado anteriormente, siendo éstas:

- A_5 : Se mantienen cargas y costes y se reduce potencia nominal en un 10%.
- A_8 : Se mantienen potencias nominales y costes y se reducen cargas en un 5%.
- A_{19} : Se mantienen potencias nominales y cargas y se aumenta el coste del grupo eléctrico en un 20%.

De la figura 4 se puede deducir que si sólo se produjesen cambios en una de las tres direcciones o criterios que se han establecido, la mejor opción sería mantener los costes y las potencias nominales iniciales, intentando reducir las cargas (A_8 , cargas al 95%), es decir, que el consumo sea menor. Esto ajustaría al máximo la diferencia entre demanda y generación de potencia.

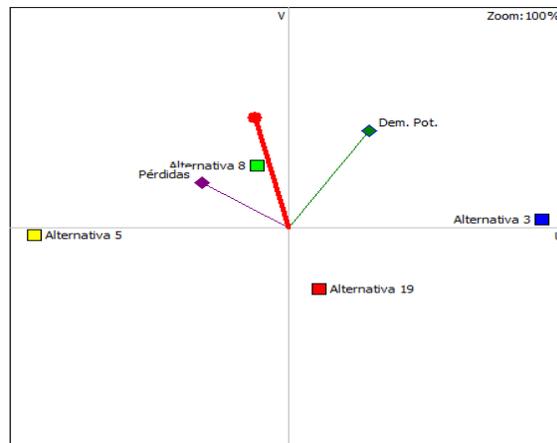


Figura 4: Plano GAIA.

Se puede observar en el plano GAIA dónde se encontraría la localización de la mejor alternativa. La A_8 es la más cercana a esta dirección de mejora. Sin embargo la alternativa A_{19} está justo en la dirección contraria a ella. Sería interesante ver, no sólo poder comparar situaciones con valores fijos, si no con rangos de valores. Para esto tenemos la curva de eficiencia o Frente de Pareto, donde observamos por donde nos podemos mover eficientemente al aumentar o disminuir el coste o la satisfacción de la demanda (ver figura 5).

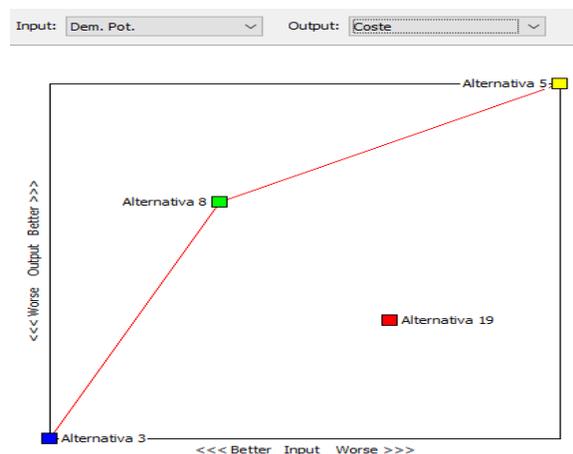


Figura 5: Frente Pareto Demanda- Coste.

La siguiente simulación pone de manifiesto como afecta la decisión cuando se cambian los pesos en la función objetivo. En este caso se han cambiado los pesos a $\beta_1 = 0.25$, $\beta_2 = 0.5$ y $\beta_3 = 0.25$. Como se puede observar en la figura 6 la mejor alternativa ahora cambia, siendo la alternativa A_5 .

5.2.2 Alternativas con incertidumbres en varios criterios

Todas las decisiones tomadas en el apartado anterior ponen de manifiesto cómo actuar si sólo se

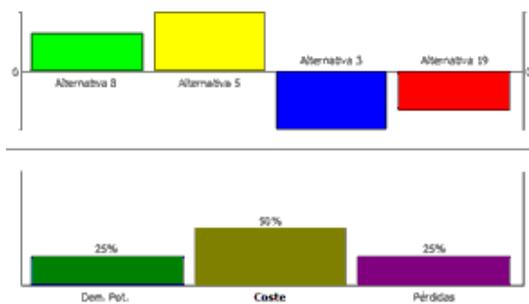


Figura 6: Evaluación de alternativas con cambio en los pesos de la función objetivo.

presentan cambios en una dirección. Este escenario es poco probable, por lo que el estudio de cambios en varios criterios parece la mejor forma de comparar los resultados.

La tabla 5.2.2 presenta las alternativas para las modificaciones combinadas, realizadas a partir de la situación inicial. Así por ejemplo, la alternativa A_3 considera un incremento en la demanda del 10% y una reducción en la producción de energía del 10%.

Tabla 2: Generación de alternativas modificando varios criterios.

Alternativa	Carga	Potencia	Coste
A_1	-	-	-
A_2	105	95	-
A_3	110	90	-
A_4	95	105	-
A_5	90	110	-
A_6	105	-	95
A_7	110	-	90
A_8	95	-	105
A_9	90	-	110
A_{10}	-	105	95
A_{11}	-	110	90
A_{12}	-	95	105
A_{13}	-	90	110
A_{14}	110	90	110
A_{15}	110	110	110
A_{16}	90	90	110
A_{17}	90	110	110
A_{18}	110	110	90
A_{19}	110	90	90
A_{20}	90	110	90
A_{21}	90	90	90

Los resultados obtenidos con PROMETHEE se muestran en la figura 7. Se pueden deducir los siguientes comentarios:

- La situación más favorable es reducir las potencias de los generadores si se detecta que

se satisface correctamente la demanda y se ha producido una reducción de costes (A_{21}). La alternativa A_{16} obtiene un resultado parecido, aumentando el coste en un 10%.

- Si se produjese una reducción de costes, se podría aumentar la potencia generada en un 5% (A_{10}) para obtener un buen resultado. Si esto no es posible, se podría permitir un aumento en las cargas de un 5% (A_6). Se empeoraría la satisfacción de la demanda pero se reducirían costes.
- Hay una gran cantidad de alternativas o situaciones que resultan con peor comportamiento a la inicial. Es el caso de todas aquellas que se encuentran por debajo de la alternativa A_1 , presentando un flujo negativo. Muchas de ellas (A_5 , A_{17} o A_{20}) se producen cuando se decide aumentar la producción de energía significativamente si se reducen las cargas, algo que claramente no se debe hacer.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Alternativa 21	0,8700	0,9100	0,0400
2	Alternativa 16	0,5500	0,7100	0,1600
3	Alternativa 10	0,2200	0,6000	0,3800
4	Alternativa 6	0,2000	0,5900	0,3900
5	Alternativa 8	0,1600	0,5700	0,4100
6	Alternativa 11	0,1200	0,5100	0,3900
7	Alternativa 13	0,1200	0,5100	0,3900
8	Alternativa 19	0,1000	0,5100	0,4100
9	Alternativa 2	0,0600	0,5200	0,4600
10	Alternativa 7	0,0200	0,5000	0,4800
11	Alternativa 12	0,0200	0,5000	0,4800
12	Alternativa 3	0,0200	0,4700	0,4500
13	Alternativa 1	-0,0400	0,4800	0,5200
14	Alternativa 4	-0,0400	0,4700	0,5100
15	Alternativa 9	-0,0600	0,4600	0,5200
16	Alternativa 18	-0,0700	0,4000	0,4700
17	Alternativa 14	-0,2200	0,3100	0,5300
18	Alternativa 20	-0,2400	0,3000	0,5400
19	Alternativa 15	-0,5100	0,2200	0,7300
20	Alternativa 5	-0,6000	0,1600	0,7600
21	Alternativa 17	-0,6800	0,1200	0,8000

Figura 7: Evaluación de alternativas con cambios en varios criterios.

Las figuras 8 y 9 representan el Frente Pareto para el criterio satisfacción de demanda frente a las pérdidas de la red y costes de producción, respectivamente. Se puede observar que las alternativas A_{21} y A_{10} se encuentran en la optimalidad para las dos comparaciones. Otras alternativas, dependiendo de la prioridad de la función objetivo, cambian su posición.

Para finalizar, se muestra el plano GAIA de todas las alternativas. Se observan las direcciones

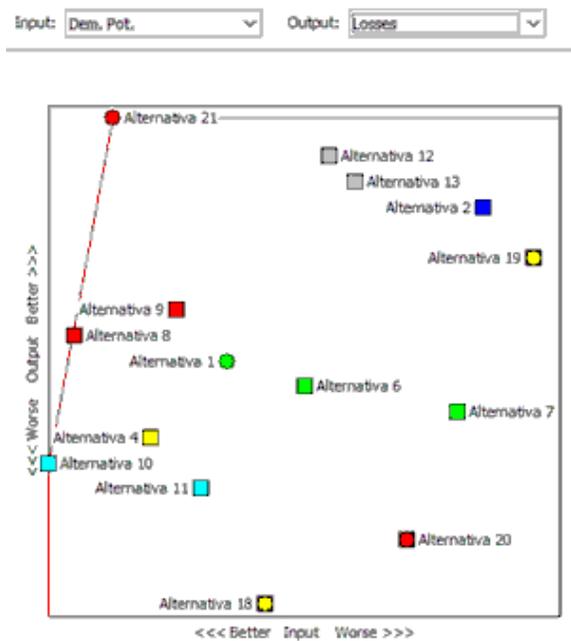


Figura 8: Frente Pareto Demanda-Pérdidas.

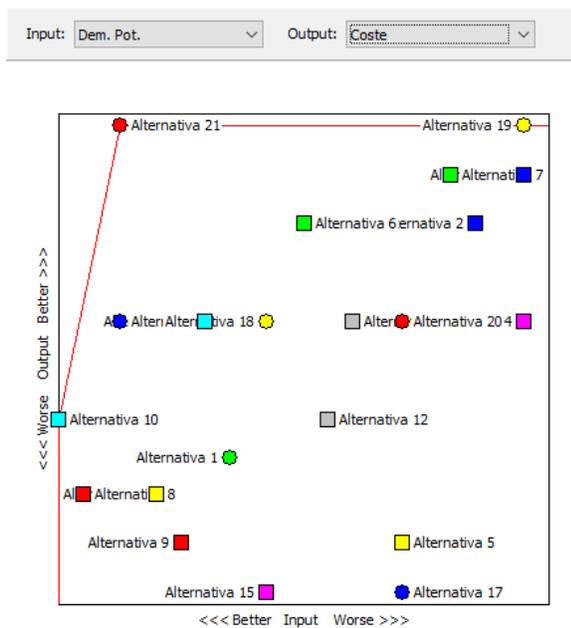


Figura 9: Frente Pareto Demanda-Costes.

de mejora de cada criterio y la combinación de los tres. Alternativas como la A_{20} , A_5 o A_{15} se encuentran en sentido opuesto a la óptima, mientras que las alternativas A_{21} , A_{12} o A_{16} están en dirección y sentido hacia la mejor situación. Otras como la A_8 se encuentran opuestas al coste, pero muy favorables a la satisfacción de la demanda. De igual forma ocurre para la A_6 en relación al coste-demanda.

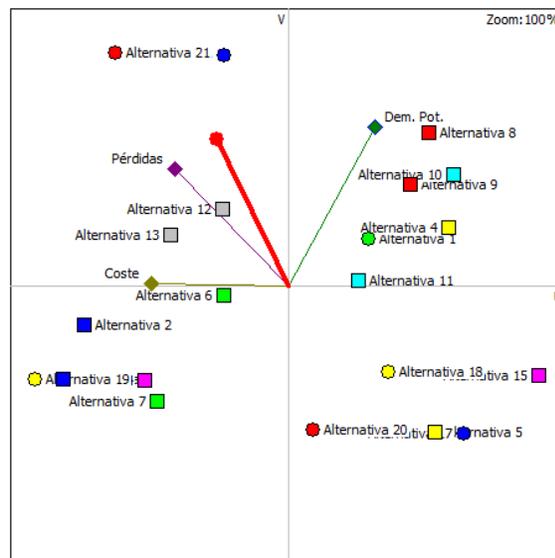


Figura 10: Plano GAIA.

6 CONCLUSIONES

La utilización del método de evaluación Promethee ha permitido optimizar varios criterios de forma simultánea presentados de una forma gráfica, ayudando a la toma de decisión. La incorporación de incertidumbres en las alternativas a valorar hace que la solución a determinar sea más eficiente.

La selección de OpenDSS como herramienta de simulación presenta ventajas evidentes; permite modelar cualquier tipo de red de energía con cargas constantes en los nodos o bien que varíen con el tiempo (diarias). Ello proporciona un valor agregado al contemplar condiciones más reales para el sistema.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto CONFIGURA (DPI2016-78338-R) perteneciente al programa de proyectos de investigación del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España.

Referencias

- [1] C. Araz and I. Ozkarahan. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. *International Journal of Production Economics*, 106(2):585–606, 2007.
- [2] J.R. Birge and F. Louveaux. *Introduction to stochastic programming*. Springer-Verlag, 1997.

- [3] J. Brans and B. Mareschal. Promcalc & gaia: a new decision support system for multicriteria decision aid. *Decision Support Systems*, 12, 1994.
- [4] J.P. Brans and Ph Vincke. A preference ranking organisation method: The promethee method for mcdm. *Management Science*, 31(6):647–656, 1985.
- [5] F. García-Torres C. Bordons and Luis Valverde. Gestión óptima de la energía en microrredes con generación renovable. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 12:117–132, 2015.
- [6] N. Meskens D. Duvivier and M. Ahues. A fast multicriteria decision-making tool for industrial scheduling problems. *Int. J. Production Economics*, 145:753–760, 2013.
- [7] A. H. Etemadi C. A. Canizares R. Iravani M. Kazerani A. H. Hajimiragha O. Gomis-Bellmunt M. Saeedifard R. Palma-Behnke G. A. Jiménez-Estévez D. E. Olivares, A. Mehrizi-Sani and N.D. Hatziargyriou. Trends in microgrid control. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(4):1905–1919, 2014.
- [8] M. Esmaili and A. Goldoust. Multi-objective optimal charging of plug-in electric vehicles in unbalanced distribution networks. *Electrical Power and Energy Systems*, 73:644–652, 2015.
- [9] Electric Power Research Institute. Open-source distribution system simulator (openss).
- [10] J. Jozefowska and A. Zimniak. Optimization tool for short-term production planning and scheduling. *International Journal of Production Economics*, 112(1):109–120, 2008.
- [11] B. Lasseter. Microgrids (distributed power generation). *In Proc. IEEE Power Engineer. Soc. Winter Meet*, 1:146–149, 2001.
- [12] Turismo y Agenda Digital Ministerio de Energía. Smart grids y la evolución de la red eléctrica. *Informe publicado*, 2011.
- [13] J.M. Morales, R. Mínguez, and A.J. Conejo. A methodology to generate statistically dependent wind speed scenarios. *Applied Energy*, 87:843–855, 2010.