

Actas de las VII Jornadas ScienCity 2024

Fomento de la Cultura Científica, Tecnológica y de Innovación en Ciudades Inteligentes

Editores:

José Manuel Lozano Domínguez, Estefanía Cortés Ancos, Manuel J. Redondo González, Tomás de J.
Mateo Sanguino, Iñaki J. Fernández de Viana González, Miguel Ángel Rodríguez Román

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Huelva

Universidad de Huelva

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)

Campus de El Carmen

Huelva, España

Tel: (+34) 959 217316

<https://www.uhu.es/etsi/>

Copyright © 2025 Universidad de Huelva

Todos los derechos reservados

ISBN: 979-8266036024

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, así como la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o venta fuera de los canales comerciales establecidos por el/los editor/es sin la autorización de los propietarios del Copyright.

I. Resúmenes

Diseño de modelos de datos para entidades y modelos analíticos para un gemelo digital	1
<i>A. J. Carballo Menayo, A. Sánchez-Herguedas y A. Crespo Márquez</i>	
Aplicación de la metodología PM ² en la selección estratégica de proyectos en entornos complejos	1
<i>J. A. Hernández Torres, A. I. Mena Nieto y D. Carvajal Gómez</i>	
Optimización de sistemas de distribución a través de nudos de potencia flexible y reconfiguración de la red	1
<i>J. Clavijo-Camacho, F. J. Ruiz-Rodríguez, R. S. Herrera, G. Gomez-Ruiz y A. de la Cruz Álamo</i>	
Nuevos materiales bituminosos con capacidad de almacenamiento de energía para su uso en construcción sostenible	2
<i>C. Delgado-Sánchez, A. Tenorio-Alfonso, A. A. Cuadri y F.J. Navarro</i>	
Application of artificial intelligent maintenance of hydrogen systems in a Smart City	2
<i>A. Abiola, F. Segura Manzano y J. M. Andújar Márquez</i>	
Aprovechamiento energético sostenible de los residuos sólidos	2
<i>J. Coca Prados</i>	
Efecto de la morfología de nanocompuestos de acetato de celulosa/sílice en las propiedades de grasas lubricantes semisólidas	3
<i>M. Toro-Gallego, C. Valencia, M.C. Sánchez, J.E. Martín-Alfonso y J.M. Franco</i>	
A comparative review and recommendations for modeling thermostatically controlled loads in buildings	3
<i>G. Gómez-Ruiz, R. Sánchez-Herrera, J. Clavijo-Camacho y José M. Andújar Márquez</i>	
IA Generativa: la IA de hoy	4
<i>R. Castilla Bravo</i>	
El ferrocarril de mercancías, palanca logística del Puerto de Huelva en el corredor Atlántico	4
<i>D. Martínez Camacho</i>	
Development of oil-in-oil phase change emulsions for cold energy storage applications	4
<i>A. Tenorio-Alfonso, A. Guerrero y F. J. Navarro</i>	
Design of a high-current AEM electrolytic cell in absence of precious metals	5
<i>M. A. González Rodríguez, C. Delgado Asencio, A. Abiola, F. Segura Manzano y J. M. Andújar Márquez</i>	
Huelva ODS un proyecto para la ciudad del futuro	5
<i>I. Pérez Corralejo</i>	
Design and testing of different types of turbines for irrigation canals	5
<i>A. García-Chica, A. M. Rodríguez-Pérez, J. J. Caparros-Mancera y C. A. Rodríguez</i>	
Design, implementation and testing of a hydrogen-powered remotely piloted ground vehicle (UGV) ...	5
<i>C. Delgado Asencio, F. Segura Manzano, J. M. Andújar Márquez y Juan Mora Macías</i>	
Comparison between parallel and serial robots for agricultural applications	6
<i>A. García Chica, J. L. Torres Moreno, M. Gómez Galán y A. Giménez Fernández</i>	
II Jornada la era del dato-agro y su cadena de valor. Cambio y sostenibilidad	6
<i>Agricultura 4.0</i>	
Productividad y Sostenibilidad - Los beneficios de la agricultura sostenible (permacultura) y como evaluarlos - el ejemplo de la Finca Jelanisol, Gibraleón	6
<i>A. Nauditt, D. Knopp, J. M. Viquez, L. Bastos y L. Ribbe</i>	
Gestión ágil de la innovación en las organizaciones	7
<i>C. Baena Sánchez, A. Sánchez Herguedas y A. Mena Nieto</i>	
E-mentores. Curso de Memoria Digital +55.....	7
<i>Y. Ceada Garrido, R. Illanes Segura, F. de P. Rodríguez Miranda, L. Rodríguez Alarcón y R. Tirado Morueta</i>	
Funciones de distribución para precipitaciones extremas en ingeniería: EVD I, II y III	7
<i>R. Montes Pajuelo, A. M. Rodríguez Pérez y C. A. Rodríguez González</i>	

Uso de técnicas satelitales para el seguimiento de la calidad del agua en embalses. Caso uso de Aguas de Huelva y en el embalse de Beas	8
<i>M. Argamasilla Ruiz, F. Núñez Moreno, N. Moya Sánchez, G. Carrasco Mancha, L. González Álvarez y M. Manzanares Gijón</i>	
Simbiopark: Identificación de ciclos de materiales, agua y energía en entornos industriales	8
<i>C. Plata Ríos y D. González-Bootello García</i>	
Integración de la energía de las corrientes mareales en entornos urbanos costeros: Caso de la desembocadura del río Tinto	8
<i>A. de la Cruz Álamo, M. Reyes Sánchez Herrera, J. Pérez Torreglosa, J. A. Morales, J. Clavijo Camacho y J. A. Hernández Díaz</i>	
Ligantes para impermeabilización a base de residuos agroindustriales y materiales reciclados. Cubiertas sostenibles	9
<i>R. Álvarez-Barajas, A. A. Cuadri, C. Delgado-Sánchez, F. J. Navarro, P. Partal</i>	
Retos de la electrificación del transporte terrestre en España	10
<i>J. M. Ledo Lobato, A. M. Navarro Torres, y A. Mena Nieto</i>	
La transición energética en los hospitales: De las calderas de carbón al hidrogeno verde.....	10
<i>J. Macías Macías</i>	
Tecnologías de gemelos digitales para la Digitalización de Servicios de Mantenimiento. Caso de taller y flota ferroviaria	10
<i>A. Sánchez Herguedas, A. J. Carballo Menayo y A. Mena Nieto</i>	
Análisis fluido-dinámico de celda electrolítica AEM para la optimización en la dispersión de los reactivos	11
<i>C. Delgado Asencio, M. A. González Rodríguez, F. Segura Manzano y J. M. Andújar Márquez</i>	
O Youtube como ferramenta de aprendizagem do conceito de probabilidade condicionada	11
<i>C. Santos y C. Dias</i>	
Competências Digitais de IA dos Professores de Matemática	12
<i>C. Dias y C. Santos</i>	
Al otro lado. La educación aplicada a la planificación urbana. Diseño de áreas verdes	12
<i>A. Angulo Ruiz</i>	
Impacto del cambio climático en la salud de las personas	13
<i>M. Romero-Martín, L. Rodríguez-Jiménez, J. M. Robles-Romero y J. Gómez-Salgado</i>	
Beneficios del uso de las nuevas tecnologías	15
<i>J. A. González Duque</i>	
Estimación de las emisiones por el uso de un vehículo eléctrico	15
<i>J. A. Delgado-Fernandez, A. Mena-Nieto y A. Pérez Vallés</i>	
Estudio de la introducción de coches eléctricos a gran escala en el sistema insular canario	15
<i>G. Ortega Ruíz, A. Pérez Vallés y A. Mena Nieto</i>	
Transforming Waste: Black Liquor's Path to Green Lubricant Formulations	16
<i>E. Cortés-Triviño, A. Tenorio-Alfonso, D. Cantero, M.J. Cocero y J.M. Franco</i>	
Nuevos modelos productivos de bellotas de encina de plantas injertadas y progenies seleccionadas	16
<i>M. L. Fernández García, M. Fernández Martínez, J. Ginesta Colón y R. Tapias Martín</i>	
Valorización de residuos de cáscara de naranja para la producción de biocombustibles: Un enfoque de economía circular	17
<i>J. M. Loaliza, J. M. Camacho y J. C. García</i>	
Herramientas de ayuda al diseño inteligente de edificios de bajo impacto ambiental en España	17
<i>C. Llatas, B. Soust-Verdaguer, J. A. Gutiérrez, M. D. Fernandez-Gálvez, L. Castro y D. Cagigas</i>	
Aplicación de métodos no paramétricos para evaluar la eficiencia relativa de políticas energéticas	18
<i>A. Lopa Santana y A. Mena Nieto</i>	
Evaluación de la resiliencia de plántulas de encina y alcornoque ante estrés térmico y hídrico: un enfoque experimental	18
<i>C. Romero Forte, A. Quevedo Díaz, M. L. Fernández García, G. Canuto Amaral, M. Fernández Martínez, A. Solla Hach, B. Cuenca, F. Pérez y R. Tapias Martín</i>	

Biorrefinería de cultivos energéticos: fraccionamiento y EAF de “Paulownia fortunei”	18
<i>M. T. García Domínguez, J. C. García Domínguez, J. M. Loaiza, S. Lozano Calvo, F. López Baldovín y R. Silva Quintero</i>	
Improving Renewable Energy Storage: Characterization of a Water-Free Pickering Emulsion Based on Phase Change Materials	19
<i>S. Sanabria, C. Delgado-Sanchez, P. Partal y F. Javier Navarro</i>	
Ligantes no bituminosos para materiales impermeabilizantes	19
<i>R. Álvarez-Barajas, A. A. Cuadri, C. Delgado-Sánchez, F. J. Navarro y P. Partal</i>	
Estudio de viabilidad de la tecnología Power-to-Gas a partir de la metanización directa de biogás	20
<i>U. Mata Rivas, M. J. Martín Alfonso y F. J. Martínez Boza</i>	
Análisis del cumplimiento de las metas de descarbonización para la transición energética sostenible en Vietnam	20
<i>L. Van Hau, J. E. García Ramos y A. Mena Nieto</i>	
Implementación experimental del control de una microrred eléctrica para la mejora del autoabastecimiento energético	21
<i>N. Magro Garrido, J. Rodríguez Vázquez y M. R. Sánchez Herrera</i>	
 II. Ponencias	
 Industria 4.0	
Diseño de modelos de datos para entidades y modelos analíticos para un gemelo digital	23
<i>A. J. Carballo Menayo, A. Sánchez-Herguedas y A. Crespo Márquez</i>	
Optimización de sistemas de distribución a través de nudos de potencia flexible y reconfiguración de la red	27
<i>J. Clavijo-Camacho, F. J. Ruiz-Rodríguez, R. S. Herrera, G. Gomez-Ruiz y A. de la Cruz Álamo</i>	
Application of artificial intelligent maintenance of hydrogen systems in a Smart City	31
<i>A. Abiola, F. Segura Manzano y J. M. Andújar Márquez</i>	
Design of a high-current AEM electrolytic cell in absence of precious metals	35
<i>M. A. González Rodríguez, C. Delgado Asencio, A. Abiola, F. Segura Manzano y J. M. Andújar Márquez</i>	
 Agricultura 4.0 Economía Salud y Bienestar Medio Ambiente	
Design, implementation and testing of a hydrogen-powered remotely piloted ground vehicle (UGV) ...	39
<i>C. Delgado Asencio, F. Segura Manzano, J. M. Andújar Márquez y Juan Mora Macías</i>	
Comparison between parallel and serial robots for agricultural applications	43
<i>A. García Chica, J. L. Torres Moreno, M. Gómez Galán y A. Giménez Fernández</i>	
Gestión ágil de la innovación en las organizaciones	46
<i>C. Baena Sánchez, A. Sánchez Herguedas y A. Mena Nieto</i>	
E-mentores. Curso de Memoria Digital +55	50
<i>Y. Ceada Garrido, R. Illanes Segura, F. de P. Rodríguez Miranda, L. Rodríguez Alarcón y R. Tirado Morueta</i>	
Funciones de distribución para precipitaciones extremas en ingeniería: EVD I, II y III	53
<i>R. Montes Pajuelo, A. M. Rodríguez Pérez y C. A. Rodríguez González</i>	
Simbiopark: Identificación de ciclos de materiales, agua y energía en entornos industriales	56
<i>C. Plata Ríos y D. González-Bootello García</i>	
Integración de la energía de las corrientes mareales en entornos urbanos costeros: Caso de la desembocadura del río Tinto	60
<i>A. de la Cruz Álamo, M. Reyes Sánchez Herrera, J. Pérez Torreglosa, J. A. Morales, J. Clavijo Camacho y J. A. Hernández Díaz</i>	

Ponencia Invitada en Industria 4.0

Tecnologías de gemelos digitales para la Digitalización de Servicios de Mantenimiento. Caso de taller y flota ferroviaria	64
<i>A. Sánchez Herguedas, A. J. Carballo Menayo y A. Mena Nieto</i>	

III. Pósteres

O Youtube como ferramenta de aprendizagem do conceito de probabilidade condicionada	68
<i>C. Santos y C. Dias</i>	
Competências Digitais de IA dos Professores de Matemática	72
<i>C. Dias y C. Santos</i>	
Al otro lado. La educación aplicada a la planificación urbana. Diseño de áreas verdes	75
<i>A. Angulo Ruiz</i>	
Beneficios del uso de las nuevas tecnologías	79
<i>J. A. González Duque</i>	
Estudio de la introducción de coches eléctricos a gran escala en el sistema insular canario	82
<i>G. Ortega Ruiz, A. Pérez Vallés y A. Mena Nieto</i>	
Valorización de residuos de cáscara de naranja para la producción de biocombustibles: Un enfoque de economía circular	86
<i>J. M. Loaiza, J. M. Camacho y J. C. García</i>	
Evaluación de la resiliencia de plántulas de encina y alcornoque ante estrés térmico y hídrico: un enfoque experimental	90
<i>C. Romero Forte, A. Quevedo Díaz, M. L. Fernández García, G. Canuto Amaral, M. Fernández Martínez, A. Solla Hach, B. Cuenca, F. Pérez y R. Tapias Martín</i>	
Biorrefinería de cultivos energéticos: fraccionamiento y EAF de “ <i>Paulownia fortunei</i> ”	93
<i>M. T. García Domínguez, J. C. García Domínguez, J. M. Loaiza, S. Lozano Calvo, F. López Baldovín y R. Silva Quintero</i>	
Estudio de viabilidad de la tecnología Power-to-Gas a partir de la metanización directa de biogás	97
<i>U. Mata Rivas, M. J. Martín Alfonso y F. J. Martínez Boza</i>	
Implementación experimental del control de una microrred eléctrica para la mejora del autoabastecimiento energético	101
<i>N. Magro Garrido, J. Rodríguez Vázquez y M. R. Sánchez Herrera</i>	

Mensaje de Bienvenida

ScienCity es una actividad que viene siendo continuada desde 2018 con el objetivo de dar a conocer los conocimientos y tecnologías emergentes siendo investigados en las universidades, informar de experiencias, servicios e iniciativas puestas ya en marcha por instituciones y empresas, llegar hasta decisores políticos que podrían crear sinergias, incentivar la creación de ideas y posibilidades de desarrollo conjuntas, implicar y provocar la participación ciudadana, así como gestar una red internacional multidisciplinar de investigadores que garantice la continuación de futuras ediciones.

ScienCity ha servido para que universidades, ayuntamientos, organismos públicos y empresas privadas tomen contacto por primera vez en este ámbito. En 2018 participaron más de 20 expertos de 17 instituciones de la Eurorregión Alentejo-Algarve-Andalucía durante una semana. En 2019 la participación aumentó a 32 expertos de 21 instituciones de España y Portugal durante 3 días mediante ponencias, una sesión de pósteres, un taller de programación en Android y un concurso de IDEAS para jóvenes. En 2020, siguiendo con el formato de actividades, se presentaron un total de 40 trabajos de 63 autores pertenecientes a 30 instituciones públicas y privadas de España, Portugal, Brasil, Italia, Chipre, Francia, Polonia y Reino Unido. Durante 2021 han asistido 40 participantes de distintos rincones de España, Portugal, Méjico, Costa Rica, Italia y Polonia con 31 ponencias, 8 pósteres, 1 taller, 8 vehículos eléctricos e híbridos, así como 8 propuestas para el concurso de ideas. En 2022 se recibieron un total de 48 trabajos repartidos en 25 ponencias y 24 pósteres pertenecientes a 98 autores de 14 instituciones distintas de España, Portugal y Países Bajos. En ScienCity 2023 se tuvieron 2 ponencias invitadas, 22 ponencias orales y 18 pósteres de más de 70 autores, y 1 taller. En 2024 contamos con 4 ponencias invitadas, 23 ponencias, 19 pósteres de más de 110 autores pertenecientes a 45 instituciones de España, Portugal, Alemania y Reino Unido, y 2 talleres.

Comité Organizador | ScienCity 2024

ScienCity 2024

Comité Organizador Local

Dr. José Manuel Lozano Domínguez, *Universidad de Huelva*
Dña. Estefanía Cortés Ancos, *Universidad de Huelva*
Dr. Manuel J. Redondo González, *Universidad de Huelva*
Dr. Iñaki J. Fernández de Viana González, *Universidad de Huelva*
Dña. Eva María Vidakovic Mercader, *Universidad de Huelva*
Dra. Clara Delgado Sánchez, *Universidad de Huelva*
Dr. Miguel Ángel Rodríguez Román, *Universidad de Huelva*
Dr. Alejandro Pérez Vallés, *Universidad de Huelva*
Dr. Salvador Pérez Litrán, *Universidad de Huelva*
Dña. Consuelo González Acevedo, *Universidad de Huelva*

Comité Científico Internacional

Dr. José Manuel Lozano Domínguez, *Universidad de Huelva*
Dña. Estefanía Cortés Ancos, *Universidad de Huelva*
Dr. Manuel J. Redondo González, *Universidad de Huelva*
Dra. Francisca Segura Manzano, *Universidad de Huelva*
Dr. Tomás de J. Mateo Sanguino, *Universidad de Huelva*
Dr. Ángel I. Mena Nieto, *Universidad de Huelva*
Dr. Fernando Gómez Bravo, *Universidad de Huelva*
Dr. Francisco José Moreno Velo, *Universidad de Huelva*

Comité de Relaciones Empresariales

Dr. José Manuel Lozano Domínguez, *Universidad de Huelva*
Dña. Estefanía Cortés Ancos, *Universidad de Huelva*
Dr. Manuel J. Redondo González, *Universidad de Huelva*
Dr. Francisco Javier Navarro Domínguez, *Universidad de Huelva*
Dr. Juan Carlos Fortes Garrido, *Universidad de Huelva*
Dra. Gloria López Pantoja, *Universidad de Huelva*

Patrocinadores de ScienCity 2024

Estrategia de Política de Investigación y Transferencia de la Universidad de Huelva
Cátedra de Innovación Social de Aguas de Huelva de la Universidad de Huelva
Cátedra de la Provincia de la Universidad de Huelva
Cátedra Gabitel sobre el Hidrógeno de la Universidad de Huelva
Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Universidad de Huelva)
Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y Automática (Universidad de Huelva)
Departamento de Tecnologías de la Información (Universidad de Huelva)
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos (Universidad de Huelva)
Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales (Universidad de Huelva)
Departamento de Ciencias Agroforestales (Universidad de Huelva)

Colaboradores de ScienCity 2024

Grupo de investigación TEP-192 de Control y Robótica
Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad (CITES)
Grupo de Investigación TIC-266 de Robótica y Electrónica Inteligentes
Grupo de Investigación TEP-952 de Sistemas de Visión, Predicción, Optimización y Control

Diseño de modelos de datos para entidades y modelos analíticos para un gemelo digital

Alfonso José Carballo Menayo, Antonio Sánchez-Herguedas y Adolfo Crespo Márquez

Escuela Técnica Superior de Ingeniera. Departamento Organización Industrial y Gestión de Empresas I. Universidad de Sevilla

Resumen: El mantenimiento es un área donde se espera que la transformación digital sea muy significativa. El desarrollo de gemelos digitales de activos, talleres y recursos de taller proporciona grandes avances para la gestión de actividades de mantenimiento. El objetivo de este artículo es definir los modelos de datos de las entidades (activos y recursos de mantenimiento) y los modelos matemáticos que intervienen en los procesos de mantenimiento. Para ello se determinarán las variables que intervienen en cada modelo, las relaciones entre ellas (ontologías) y las características y atributos de cada variable, de manera que el gemelo digital pueda seguir la evolución en el tiempo del activo físico mediante los atributos recogidos para cada variable y a partir de ahí poder establecer predicciones que puedan dar soporte a la toma de decisiones en mantenimiento.

Aplicación de la metodología PM² en la selección estratégica de proyectos en entornos complejos

José Antonio Hernández Torres, Ángel Isidro Mena Nieto y Domingo Carvajal Gómez

Departamento de Ingeniería Eléctrica y térmica, de diseño y proyectos. Universidad de Huelva

Resumen: La selección de proyectos es un proceso crítico en la gestión de proyectos, ya que influye directamente en el rendimiento organizacional y la consecución de objetivos estratégicos. Este estudio investiga la aplicabilidad de la metodología PM², caracterizada por su flexibilidad y enfoque robusto en la gestión de riesgos, para optimizar dicho proceso. Se busca asegurar que los proyectos seleccionados no solo maximicen la eficiencia en el uso de recursos, sino que también mitiguen riesgos de manera efectiva y mantengan una alineación clara con las metas estratégicas de la organización. La metodología PM² proporciona un marco estructurado que prioriza la selección de proyectos con alto valor estratégico, permitiendo una gestión integral de riesgos desde la fase inicial. Este enfoque facilita la asignación racional de recursos financieros, tecnológicos y humanos, minimizando la exposición a imprevistos. Adicionalmente, se incorpora el análisis de criterios de sostenibilidad, dada la creciente relevancia de los impactos ambientales y sociales en la toma de

decisiones organizacionales. PM² demuestra ser adaptable a estos requerimientos, integrando métricas de sostenibilidad que potencian la elección de proyectos económicamente viables y responsables con el medio ambiente. A través de un enfoque basado en estudios de caso y análisis comparativo, este trabajo propone una guía técnica que optimiza el proceso de selección en entornos complejos, promoviendo una gestión eficiente y alineada con la sostenibilidad a largo plazo.

Optimización de sistemas de distribución a través de nodos de potencia flexible y reconfiguración de la red

Jesus Clavijo-Camacho, Francisco J. Ruiz-Rodríguez, Reyes S. Herrera, Gabriel Gomez-Ruiz y Álvaro de la Cruz Álamo

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos. Universidad de Huelva

Resumen: La creciente integración de la generación distribuida y el aumento de microrredes presentan nuevos desafíos y oportunidades para la optimización de los sistemas de distribución. Este trabajo propone una metodología integral que combina la reconfiguración de la red con el uso de nodos de potencia flexible para mejorar los costes y la eficiencia de las redes de distribución. Los nodos flexibles, que representan recursos agregados de microrredes o recursos controlables, permiten ajustes dinámicos de potencia activa y reactiva dentro de límites predefinidos, proporcionando al operador del sistema capacidades de control adicionales. El algoritmo propuesto evalúa exhaustivamente todas las posibles configuraciones radiales para garantizar que se identifique la solución óptima global. El problema de optimización se formula para minimizar los costes, incluyendo las pérdidas de potencia y el uso de recursos de potencia flexible, mientras se satisfacen todas las restricciones del sistema. Un estudio de caso basado en el sistema de distribución de Kumamoto demuestra la efectividad del enfoque propuesto, logrando una reducción del 43.9% en las pérdidas de potencia y una correspondiente disminución en los costes de operación. Los resultados destacan el potencial de integrar nodos de potencia flexible en las redes de distribución modernas para mejorar el rendimiento del sistema.

Nuevos materiales bituminosos con capacidad de almacenamiento de energía para su uso en construcción sostenible

C. Delgado-Sánchez, A. Tenorio-Alfonso, A. A. Cuadri y F.J. Navarro

Chemical Product and Process Technology Research Center (Pro2TecS). University of Huelva

Resumen: El crecimiento actual y las proyecciones futuras de la demanda energética requieren un esfuerzo continuo para optimizar los procesos de producción y mejorar la capacidad de almacenamiento de energía, con el fin de alcanzar una eficiencia energética ideal. En este contexto, las tendencias actuales no solo se enfocan en la generación de energías renovables, sino que también subrayan la importancia del ahorro y la eficiencia energética como una vía para promover la sostenibilidad de los recursos. Este escenario impulsa a la comunidad científica a desarrollar nuevos materiales funcionales orientados hacia el ahorro energético y la mejora de la eficiencia, mediante la creación de edificios de consumo energético casi nulo [1].

Los materiales de cambio de fase (PCM) son una de las soluciones más eficientes y rentables para mejorar la eficiencia y la recuperación energética. Estos materiales aprovechan su calor latente para almacenar energía térmica durante la fusión y liberarla en el proceso de cristalización a una temperatura constante. Entre los PCM con mayor potencial de desarrollo se encuentran las parafinas derivadas del petróleo.

El propósito principal de este estudio es desarrollar nuevos materiales funcionales que contribuyan tanto al ahorro como a la eficiencia energética de los edificios. En esta línea, el uso de mezclas de betún asfáltico, que actuará como material de soporte, junto con cera de parafina como PCM, puede lograr dicho objetivo. Esta combinación híbrida proporcionaría en un solo material propiedades de impermeabilización, propias del betún, junto con almacenamiento térmico y capacidad de termorregulación, características del PCM, adecuadas para condiciones de servicio específicas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto TED2021-131284B-I00, fundado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y European Union «NextGenerationEU»/PRTR». Además, está cofinanciado por la Cátedra Fundación Cepsa.

REFERENCIAS

1. Berge, A., Johansson, P. Report in Building Physics. Chalmers University of Technology. 2012, Report 2012:2.

Application of artificial intelligent maintenance of hydrogen systems in a Smart City

Abiodun Abiola, Francisca Segura Manzano and José Manuel Andújar

Research Centre on Technology, Energy and Sustainability (CITES). University of Huelva

Abstract: Smart cities are technologically advanced urban areas that incorporate the internet of things (IoT) to improve the way we live in a sustainable manner. One of such use is in the management of clean energy use and storage. Hydrogen has been identified as a good solution for long term storage of energy and can be produced with the aid of electrolyzers which use electricity such as from solar or wind systems to split water into hydrogen and oxygen gas. To ensure electrolyzers work effectively there is a need to monitor their operation by taking various data using an IoT system and analyzing them to determine potential issues. This paper has developed a hybrid artificial intelligence concept comprising a deep reinforcement learning (DRL) and long short-term memory network (LSTM) for the intelligent maintenance of electrolyzers. The DRL algorithm searches for the best data among others in an electrolyser with the highest correlation to a critical one which in this study is the hydrogen temperature. The DRL identified the cooling water temperature as having the highest correlation coefficient of 0.99. This data is then fed into the LSTM to predict the hydrogen temperature with a root-mean-squared error of 0.1351. The predicted sensor values are then used to control or shut down the electrolyser in the event of failure of the actual sensor.

Aprovechamiento energético sostenible de los residuos sólidos

Jose Coca Prados

Profesor Emérito de Ingeniería Química. Universidad de Huelva

Resumen: En la presentación se hará un breve resumen del potencial de la valorización de los residuos sólidos (RS) como fuente energética en plantas de incineración, en el contexto de un desarrollo sostenible y de economía circular. Además de los métodos de pretratamiento de los RSU, se describirán brevemente las tecnologías de pirólisis, gasificación y plasma térmico y en mas detalle la incineración, como técnica más empleada en la práctica. Finalmente, se hará una breve alusión a técnicas de tratamiento de sólidos específicos y tecnologías en desarrollo, así como a la importancia de la energía para el desarrollo industrial en el siglo XXI.

Efecto de la morfología de nanocompuestos de acetato de celulosa/sílice en las propiedades de grasas lubricantes semisólidas

M. Toro-Gallego, C. Valencia, M.C. Sánchez, J.E. Martín-Alfonso y J.M. Franco

Chemical Product and Process Technology Research Center (Pro2TecS). University of Huelva

Resumen: En la actualidad, existe una creciente preocupación por sustituir los componentes derivados del petróleo por otros renovables y/o biodegradables. Concretamente, en la industria de los lubricantes, además del giro hacia la química verde, el reto consiste también en simplificar las formulaciones complejas, como las grasas lubricantes, reduciendo el número de componentes. Para ello es necesario desarrollar ingredientes multifuncionales respetuosos con el medio ambiente, capaces de conferir propiedades reológicas específicas, así como de proporcionar protección contra el desgaste y reducir la fricción. En este trabajo, se desarrollaron nanocompuestos de acetato de celulosa y sílice (CA/SIL) mediante la técnica de electrospinning a partir de disoluciones de CA/SIL y se utilizaron como ingredientes multifuncionales en formulaciones de lubricantes respetuosos con el medio ambiente. Las nanoestructuras de CA/SIL electrohiladas se dispersaron en aceite de ricino y los oleogeles resultantes se caracterizaron reológica y tribológicamente. El efecto de la concentración y la relación de peso CA:SIL en la solución de alimentación sobre la morfología de las nanoestructuras electrohiladas se ha estudiado mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Además, la distribución homogénea de sílice en los nanocompuestos se verificó mediante análisis EDX. Los nanocompuestos CA/SIL electrohilados fueron capaces de estructurar con éxito aceite de ricino y se ha establecido una correlación entre la morfología de la nanoestructura y la eficiencia de estructuración del aceite. Los oleogeles resultantes presentaron propiedades reológicas y tribológicas adecuadas para proponerlos como candidatos potenciales a sustituir a las grasas lubricantes convencionales. El proceso de electrospinning depende tanto de la concentración de la disolución CA/SIL como de la relación de peso CA/SIL. Se observó una transición de estructuras de nanofibras con partículas a nanofibras sin partículas al aumentar la relación de peso CA/SIL o disminuir la concentración de la disolución. Las funciones viscoelásticas lineales de los oleogeles aumentaron con la concentración de la disolución de alimentación CA/SIL y la relación de pesos CA:SIL, lo que favorece la consecución de morfologías más homogéneas dominadas por

nanofibras. Sin embargo, el aumento del contenido de SIL en las nanofibras redujo la fricción y el desgaste en el contacto tribológico. El desgaste y la fricción también se redujeron al aumentar la concentración de disolución de alimentación, lo que se relaciona con la consecución de nanofibras electrohiladas más homogéneas.

Agradecimientos: Este estudio se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación PID2021-125637OB-I00, financiado por CIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “FEDER Una manera de hacer Europa”.

A comparative review and recommendations for modeling thermostatically controlled loads in buildings

Gabriel Gómez-Ruiz, Reyes Sánchez-Herrera, Jesús Clavijo-Camacho y José M. Andújar

Research Centre on Technology, Energy and Sustainability (CITES). University of Huelva

Abstract: Thermostatically controlled loads (TCLs) are essential for enhancing building sustainability by optimizing energy consumption through smart control strategies. Model predictive control (MPC) stands out as one of the most effective methods for managing TCLs. It aims to minimize energy use, reduce costs, and maintain thermal comfort, all while adapting to dynamic external factors such as electricity prices and grid demand. Accurate modeling of TCL behavior is essential for achieving these objectives. The objectives of this work are organized into two primary phases. The first phase involves a detailed review of the three main modeling approaches—white-box, data-driven, and gray-box—applied to commonly used TCLs in buildings, including air conditioners, refrigerators, electric water heaters, and heat pumps. In the second phase, the most suitable modeling approach—whether white-box, data-driven, or gray-box—is determined and recommended for the TCLs under consideration. This recommendation is based on a comprehensive assessment of key factors, such as system complexity, data availability, required accuracy, computational resource demands, and scalability. The outcomes of this systematic comparison are intended to guide stakeholders—including building energy efficiency companies, energy service companies (ESCOs), utilities, and grid operators—in selecting the most appropriate model for specific applications, guided by detailed criteria.

IA Generativa: la IA de hoy

Raúl Castilla Bravo

Data Engineer, profesional independiente

Resumen: La Inteligencia Artificial Generativa está cambiando la forma en la que consumimos y generamos contenidos digitales, permitiendo crear piezas originales a través de modelos avanzados de Deep Learning. En esta charla, se discutirán en detalle los modelos de generación de texto, como ChatGPT, mostrando su potencial en tareas como asistentes virtuales de ventas. Asimismo, se examinan los agentes inteligentes en programación (Cosine, Vercel V0) y los avances en la generación de contenido visual a través de plataformas como DALL-E, Llama y Midjourney, que han transformado sectores como el diseño y el arte. También se analizan los modelos de generación de vídeo (Sora), de audio (Gemini) y de mundos virtuales (World Model), destacando sus aplicaciones en efectos visuales, animación y simulaciones. Finalmente, la ponencia aborda los desafíos y perspectivas de la IA General, planteando preguntas sobre el futuro de la IA y sus implicaciones tecnológicas y éticas, abriendo espacio para la reflexión y la interacción con los asistentes.

El ferrocarril de mercancías, palanca logística del Puerto de Huelva en el corredor Atlántico

Diego Martínez Camacho

Técnico de Logística y Prestación de Servicios. Renfe Mercancías S.A.

Resumen: El ferrocarril de mercancías es un eslabón fundamental en la cadena logística global, por economía de escala, rentabilidad y sobre todo por sostenibilidad. Es responsable de menos del 0,5% de las emisiones de Co2 asociadas al transporte.

Hablaremos de su papel como facilitador intermodal, para que la ciudad de Huelva, su puerto y su comunidad portuaria, aparezcan en el mapa internacional de la carga general contenerizada y especialmente en su integración en la Red Transeuropea de Transporte. Especial énfasis en la autopista ferroviaria Huelva<Madrid><Zaragoza, que visualizará sus ventajas competitivas en sincromodalidad.

Development of oil-in-oil phase change emulsions for cold energy storage applications

Adrián Tenorio-Alfonso (1), Antonio Guerrero (2) y Francisco Javier Navarro (1)

(1) Research Centre on Technology, Energy and Sustainability (CITES). University of Huelva

(2) Department of Chemical Engineering, Escuela Politécnica Superior, University of Sevilla

Abstrac: As previously reported in the literature [1] the stable dispersion of Phase Change Materials (PCMs) within heat transfer fluids by different emulsifiers, yielding the so-called Phase Change Emulsions (PCEs), has been proven to maintain the PCM energy storage capacity, while promoting their flow and heat performances [2]. Aiming at avoiding the temperature-limiting incorporation of water as the continuous, this study was intended to formulate oil-in-oil PCEs for cold energy storage applications. Therefore, an essential oil, more specifically D-limonene, polyethylene glycol 400, and surface-modified fumed silica nanoparticles were used as the continuous phase, disperse phase, and emulsifier, respectively. In this research, the addition degree of the emulsifier was optimised within a range from 0.1-4.8 % wt, while establishing a constant continuous phase: disperse phase ratio (9:1). The synthesised PCEs were subjected to a comprehensive characterisation, including thermal analysis (thermal conductivity, differential scanning calorimetry, thermogravimetric analysis), microstructural assessment (laser diffraction, optical microscopy) and rheological evaluation (flow test, temperature ramps). According to the results, oil-in-oil PCEs exhibited fairly stable thermal and microstructural stability. Additionally, the structuring effect of the solid emulsifier was evinced, giving rise to PCEs with promising flow and thermal responses for their application in the storage of cold energy.

Acknowledgements: This work is part of the projects PID2020-116905RB-I00 and TED2021-131284B-I00 funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 (Spanish Ministry of Science and Innovation) and European Union "NextGenerationEU". Adrián Tenorio also acknowledges financial support from Junta de Andalucía through the post-doctoral Grant POSTDOC_21_00644.

References

- [1] Liang, H., Liu, L., Zhong, Z., Gan, Y., Wu, J. Y., & Niu, J. (2022). Towards idealized thermal stratification in a novel phase change emulsion storage tank. *Applied Energy*, 310, 118526.
- [2] Wang, F., Zhang, C., Liu, J., Fang, X., & Zhang, Z. (2017). Highly stable graphite nanoparticle-dispersed

phase change emulsions with little supercooling and high thermal conductivity for cold energy storage. *Applied energy*, 188, 97-106.

Design of a high-current AEM electrolytic cell in absence of precious metals

Manuel Ángel González Rodríguez, Cirilo Delgado Asencio, Francisca Segura Manzano y José Manuel Andújar Márquez

Departamento de Ingeniería Electrónica de Sistemas y Automática. Universidad de Huelva

Resumen: En la actualidad, la sociedad se enfrenta a una grave crisis climática y energética, lo que ha impulsado el desarrollo de tecnologías más limpias y sostenibles. Entre todas las opciones disponibles en el mercado, el hidrógeno se ha consolidado como un vector energético de gran importancia, tanto por su uso directo como combustible como por ser respetuoso con el medioambiente, impulsando el desarrollo de sistemas de electrólisis cada vez más sofisticados para su producción. El proceso de electrólisis en un electrolizador AEM puede llevarse a cabo sin el uso de catalizadores costosos, a diferencia de los electrolizadores tipo PEM en los que se utilizan óxidos de iridio y rutenio, así como el platino. A pesar de ello, la mayor parte de la bibliografía sigue considerando algunos de estos catalizadores para el desarrollo de electrolizadores AEM porque mejoran significativamente la eficiencia del proceso. Por esta razón, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar un electrolizador AEM libre de catalizadores preciosos con el que se puedan alcanzar altas densidades de corriente y una alta eficiencia.

Huelva ODS un proyecto para la ciudad del futuro

Isabel Pérez Corralejo

Licenciada en Derecho. MBA INTERNACIONAL. Especialista en Comercio Exterior. Especialista en Ciudades Inteligentes y Derecho de la Unión Europea

Resumen: Ante los retos sociales, medioambientales y económicos se hace necesario recopilar todo el conocimiento sobre ciudades inteligentes y los Objetivos de Desarrollo Sostenible así como distintas formas de abordar las cuestiones relativas a los mismos y las propuestas para dar soluciones a los desafíos a nivel filosófico, jurídico, social, económico, medioambiental, perspectiva de género y derechos humanos.

Design and testing of different types of turbines for irrigation canals

Antonio García-Chica (1), Ángel M. Rodríguez-Pérez (2), Julio J. Caparros-Mancera (2) and César A. Rodríguez (2)

(1) Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería

(2) Departamento de Ingeniería, Universidad de Huelva

Resumen: Irrigation canals in agriculture can be used as sources of electrical energy to meet various electrical needs. These canal systems conduct water flows with characteristic pressures through various infrastructures that allow the incorporation of turbines for the generation of electricity. This article presents the design of different types of turbines with the aim of generating electricity, and details the experimentation carried out by installing the different types of turbines in an irrigation system. The study evaluates the electrical generation capacity of each of the turbines, analyzing their efficiency in the agricultural sector.

Design, implementation and testing of a hydrogen-powered remotely piloted ground vehicle (UGV)

Cirilo Delgado (1), Francisca Segura (1), José Manuel Andújar (1) and Juan Mora (2)

(1) Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad (CITES). Universidad de Huelva

(2) Departamento de Ingeniería Minera, Mecánica, Energética y de la Construcción, Universidad de Huelva

Abstract: Mobile robotics has experienced exponential growth in recent decades, driven by advances in electronics, artificial intelligence and component miniaturisation. However, the full electrification of these platforms poses significant challenges related to autonomy and battery energy density. Hydrogen, as an energy vector, offers a promising alternative to overcome these limitations. This work presents the design, construction and evaluation of an intermediate-sized ground robotic platform powered by a hybridisation of a PEMFC fuel cell and LiPo batteries. The main objective of this research is to demonstrate the technical feasibility of a hydrogen-based propulsion solution for agricultural applications, where platforms capable of operating over rough terrain and with high autonomy are required. Through a series of experimental tests, the performance of the platform was evaluated in terms of autonomy, speed and load capacity. The results obtained show that the proposed

platform could be able to overcome obstacles and perform agricultural tasks efficiently, opening up new possibilities for automation and hydrogen propulsion in the agricultural sector. This Master thesis has been developed in the Research Centre on Technology, Energy and Sustainability (CITES) of the University of Huelva.

Comparison between parallel and serial robots for agricultural applications

Antonio García Chica, José Luis Torres Moreno, Marta Gómez Galán and Antonio Giménez Fernández

Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería

Abstract: Musculoskeletal disorders represent a significant occupational health problem in agriculture due to the demanding physical and ergonomic conditions. In response to these problems, robots are being incorporated into this sector, improving the efficiency and sustainability of agricultural activities. Robots, equipped with artificial intelligence and sensors, can perform tasks such as sowing, harvesting and crop monitoring more accurately and quickly, optimizing the use of resources and reducing costs. Traditionally, robots have been used in series configuration, which present problems related to the concentration of stress on the joints. In this article, parallel robots are proposed, which, thanks to their four-bar design, distribute loads better, reducing stress and improving energy efficiency.

II Jornada. La era del dato-agro y su cadena de valor. Cambio y sostenibilidad

Resumen: Los resultados de la primera Jornada, recogidos en el informe publicado en Noviembre de 2023, pusieron de manifiesto los importantes retos a los que se enfrenta el Sector. Los desafíos que derivan de la urgencia de los objetivos de Sostenibilidad y de gestionar la velocidad de la Transformación Digital, combinados, son particularmente relevantes en la Agricultura, afectando también, en mayor o menor medida, a otros muchos Sectores.

En un contexto caracterizado por la velocidad de los cambios, la “Gestión del Cambio” tiene un papel protagonista en los Sistemas de Calidad por su influencia en el futuro de las organizaciones. La Agricultura Onubense, que siempre ha destacado por su liderazgo en Calidad y Sostenibilidad es un claro

candidato para contribuir a abordar dichos retos enmarcados en la Cadena de Valor.

Durante la Jornada de 2024, que tendrá lugar en la Universidad de Huelva enmarca en las VII Jornadas ScienCity 2024, se profundizará en alternativas para la “Gestión del Cambio”. Posteriormente, se presentarán esfuerzos en curso asociados a métricas de impacto del Cambio en el exterior agrupados bajo el término de “Huellas”. Las presentaciones introducirán una mesa de debate sobre la temática de la Jornada.

Productividad y Sostenibilidad - Los beneficios de la agricultura sostenible (permacultura) y como evaluarlos - el ejemplo de la Finca Jelanisol, Gibraleón

Alexandra Nauditt, Daniel Knopp, Juan Miguel Viquez, Lucas Bastos y Lars Ribbe

Universidad Técnica de Ciencias Aplicadas de Colonia (IT) Alemania

Resumen: Los sistemas agrícolas del Mediterráneo están expuestos a sequías prolongadas y al aumento de las temperaturas, al tiempo que muestran una resistencia cada vez menor al estrés hídrico. Las prácticas agrícolas intensivas, los monocultivos y el uso excesivo de agroquímicos durante las últimas décadas han provocado la degradación y salinización de los suelos, la sobreexplotación de las aguas subterráneas y la pérdida de biodiversidad.

Para hacer frente a estos retos, es fundamental aplicar prácticas agrícolas sostenibles y soluciones basadas en la naturaleza que puedan mejorar la retención de agua y fomentar microclimas resilientes en los sistemas agrícolas mediterráneos. En este contexto, la Unión Europea ha fijado unos objetivos ambiciosos: para 2030, el 30% de las tierras agrícolas deberían convertirse a la agricultura ecológica y el 75% de los suelos deberían restaurarse.

Las prácticas agrícolas sostenibles se abordan más estrictamente dentro del concepto «Permacultura», que incluye medidas como líneas clave (keylines), balsas, agrosilvicultura, acolchado, compostaje, cultivos de cobertura, gestión biológica de plagas y cercas vivas (living fences), entre muchas otras. La finca de permacultura Jelanisol-Montebello, en Gibraleón, fundada a principios de los 90 por Friedrich Lehmann, es una de las pocas fincas de permacultura que produce frutos en 50 ha. Por ello, puede considerarse un ejemplo único de buenas prácticas de agricultura sostenible en

un entorno mediterráneo. Al visitar la finca Jelanisol-Montebello se encontrará en un bello entorno que destaca por sí mismo.

Sin embargo, los argumentos convincentes para aplicar tales medidas sólo pueden basarse en pruebas cuantitativas sobre los beneficios de la permacultura en relación con la retención de la humedad del suelo, la mejora del microclima, la fertilidad del suelo y la biodiversidad, la calidad y el sabor de la fruta, y siguen siendo escasos.

Nuestro equipo, formado por expertos de la Universidad Técnica de Colonia, la Finca Jelanisol-Montebello, COITAND, la Universidad de Sevilla y UP42, pretende llenar este vacío realizando mediciones in situ de la humedad del suelo y variables climáticas junto con teledetección de alta resolución y modelos del balance climático.

Le tendemos la mano para discutir las opciones viables de prácticas agrícolas más sostenibles. Dentro de una red más amplia de agricultores y expertos de la UHU, obtendríamos una comprensión más completa de los retos y oportunidades para la agricultura en Huelva y más allá. Además, buscamos colaboraciones para realizar análisis comparativos y solicitar financiación en programas europeos.

Gestión ágil de la innovación en las organizaciones

Carmen Baena Sánchez y Antonio Sánchez Herguedas

Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla

Resumen: La competitividad de cualquier organización está condicionada en gran medida por su capacidad para innovar de manera eficaz (obteniendo resultados significativos), eficiente (optimizando los recursos) y sostenible en el tiempo. Es necesario tener en cuenta, además, que estas organizaciones desarrollan su actividad en entornos que cambian de forma cada vez más rápida, por lo que están obligadas a ser ágiles en la gestión y en la toma de decisiones. Como referencia, existen distintos modelos que establecen las claves para gestionar la innovación en las organizaciones de manera integral y sistemática, pero no están específicamente adaptadas a estos entornos. Esta comunicación pretende proporcionar las claves para que las organizaciones puedan llevar a cabo una gestión ágil de la innovación, que contemple todos los aspectos necesarios en términos de eficacia y eficiencia, pero que considere un

enfoque que les permita adaptarse a las circunstancias externas de forma flexible, ágil y rápida.

E-mentores. Curso de Memoria Digital +55

Yolanda Ceada Garrido (1), Rocío Illanes Segura (2), Francisco de Paula Rodríguez Miranda (1), Liliana Rodríguez Alarcón (1) y Ramón Tirado Morueta (1)

(1) Universidad de Huelva

(2) Universidad de Sevilla

Resumen: El uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación resulta imprescindible para desarrollar tareas de la vida cotidiana. Por sus dificultades para acceder a la tecnología, la población de adultos mayores es considerada vulnerable, que por criterios de edad aumenta la denominada brecha digital. El curso de Mentoría Digital del Aula de la Experiencia de la Universidad de Huelva, dirigido a mayores de 55 años, tiene por objetivo formar a mentores y mentoras que enseñen competencias digitales a sus iguales. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, por lo que este curso se empleará en futuras acciones educativas.

Funciones de distribución para precipitaciones extremas en ingeniería: EVD I, II y III

Raúl Montes Pajuelo, Ángel Mariano Rodríguez Pérez y César Antonio Rodríguez González

Universidad de Huelva

Resumen: Un tema de actualidad y de vigente interés en la sociedad son los eventos climáticos, debido al impacto que éstos provocan sobre los edificios, construcciones, y por tanto, sobre la población y la economía en general. En particular, el objeto de interés son las precipitaciones y, más específicamente, su modelado, el cual, se realiza mediante funciones de distribución de probabilidad. En el caso de precipitaciones extremas asociadas a un periodo de retorno, se emplean funciones de distribución específicas. El presente trabajo se refiere a tres funciones de distribución diferentes: las EVD (extreme value distribution por sus siglas en inglés). Comprende tres funciones de distribución diferentes, la Gumbel (EVD I), la Frechet (EVD II) y la Weibull (EVD III). El objetivo del trabajo consiste en comparar estas funciones de distribución y decidir cual es la que mejor se adecua a un caso de estudio específico en el ámbito de la ingeniería civil, todo ello a nivel de (1) caudales líquidos y (2) emisión de sedimentos.

Uso de técnicas satelitales para el seguimiento de la calidad del agua en embalses. Caso uso de Aguas de Huelva y en el embalse de Beas

Manuel Argamasilla Ruiz (1), Francisco Núñez Moreno (1), Natividad Moya Sánchez (2), Guadalupe Carrasco Mancha, (2), Lorena González Álvarez (2) y Marcelino Manzanares Gijón (3)

(1) Fundación Centro Andaluz de Investigaciones del Agua - Cetaqua Andalucía

(2) Aguas de Huelva - Producción de recursos hídricos e innovación tecnológica

(3) HIDRALIA S.A.

Resumen: La estimación de la calidad del agua del embalse de Beas (Huelva) se ha realizado mediante la utilización de técnicas de teledetección avanzada e inteligencia geoespacial. A partir de metodologías testeadas en proyectos de innovación nacionales (Innovaugas) y europeos (PRIMA MAGO), se ha desarrollado un modelo satelital para estimar diferentes parámetros de calidad del agua almacenada en el embalse. En este sentido, la combinación de bandas espectrales del satélite Sentinel-2 ha permitido la obtención de valores de clorofila-a, cianobacterias (ficocianina), turbidez, materia orgánica disuelta y sólidos en suspensión. Para el caso de la clorofila-a y el contenido en cianobacterias, se han aplicado dos metodologías satelitales diferentes, una para áreas costeras y otra para zonas continentales. Inicialmente, se llevó a cabo un análisis estadístico para analizar la correlación existente entre los distintos parámetros de calidad, con el objetivo de seleccionar aquellas variables que aportan información diferencial al estudio y validar el comportamiento derivado de las imágenes de satélite. Todas las variables aportaban información valiosa y formaron parte del análisis temporal de los indicadores seleccionados. Dicho análisis temporal permitió identificar un periodo crítico para Aguas de Huelva (abril-2024), cuando tuvo lugar un proceso de bloom algal, el cual condicionó la operación en la planta potabilizadora de aguas (ETAP). Este episodio provocó un cambio en el comportamiento de las series evaluadas, con picos en los valores de clorofila-a, cianobacterias y turbidez en abril de 2024, con tasas de variación de 250%, 300% y 200%, respectivamente. También se observó un aumento de la turbidez en el embalse durante el mes anterior al bloom algal, propiciado por eventos de lluvia intensos que incorporaron sedimentos y materia orgánica. Esto pudo provocar, junto a una temperatura anormalmente alta en primavera, el crecimiento algal descontrolado que se

observó en dicho mes. Por último, se llevó a cabo un análisis espacial (time-lapse) de la evolución de los diferentes parámetros de calidad considerados. Este análisis complementó al de las series temporales, confirmando la validez y utilidad del uso de imágenes de satélite para el seguimiento en tiempo real (4-5 días) de procesos de bloom algal. Como próximos trabajos, se plantea realizar una evaluación exhaustiva de las condiciones de contorno (temperatura, precipitación últimos meses, ...) que condicionan la aparición de estos episodios de empeoramiento en la calidad del agua.

Simbiopark: Identificación de ciclos de materiales, agua y energía en entornos industriales

Clara Plata Ríos y Daniel González-Bootello García

Smart City Cluster

Resumen: El proyecto Simbiopark tiene como objetivo desarrollar una metodología que permita aplicar eficazmente el concepto de la economía circular a entornos industriales (parque científico-tecnológicos y polígonos industriales), en lo que se conoce como Simbiosis Industrial. Para ello, se ha desarrollado un procedimiento que permite identificar entidades que puedan compartir recursos (materiales, agua y energía) así como las herramientas digitales necesarias para visualizar y gestionar los ciclos una vez creados. En este trabajo se presentan los primeros resultados sobre la metodología diseñada y testada en tres entornos industriales diferentes, que se emplearán en sucesivos proyectos para diseñar herramientas basadas en inteligencia artificial y gemelos digitales para optimizar los ciclos identificados y avanzar en el concepto de parques industriales inteligentes y sostenibles.

Integración de la energía de las corrientes mareales en entornos urbanos costeros: Caso de la desembocadura del río Tinto

Álvaro de la Cruz Álamo (1), María Reyes Sánchez Herrera (1), Juan Pérez Torreglosa, Juan Antonio Morales (2), Jesús Clavijo Camacho (1) y José Antonio Hernández Díaz (1)

(1) Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos. Universidad de Huelva

(2) Departamento de Geología, Universidad de Huelva

Resumen: Este artículo analiza las oportunidades de integración de la energía de las corrientes mareales en el mix energético de las poblaciones costeras y, en

concreto, su integración en las infraestructuras urbanas existentes para cubrir pequeñas demandas energéticas de forma sostenible. Para ello, se presenta el proyecto “Experiencia piloto de aprovechamiento de corrientes mareales en las costas de Huelva (TidUtil)” el cual consiste en la instalación de una turbina mareomotriz de baja potencia bajo el Puente del Tinto, en la desembocadura del río Tinto, Huelva. Se pretende utilizar la turbina Triton MK II, diseñada para operar en entornos de bajo flujo, con el fin de evaluar su viabilidad en la generación distribuida de energía, utilizando recursos naturales disponibles en áreas urbanas sin necesidad de nuevas grandes infraestructuras. Además, se abordan los retos vinculados a la sedimentación, la acidez del agua y la variabilidad de los flujos, junto con las estrategias de mejora en el diseño y mantenimiento para aumentar la eficiencia y extender la vida útil de las instalaciones.

Ligantes para impermeabilización a base de residuos agroindustriales y materiales reciclados. Cubiertas sostenibles

Rodrigo Álvarez-Barajas, Antonio A. Cuadri, Clara Delgado-Sánchez, Francisco Javier Navarro, Pedro Partal

Pro2TecS-Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos Químicos. Departamento de Ingeniería Química, Química – Física y Ciencias de los Materiales. Universidad de Huelva

Resumen: La construcción ecológica busca la aplicación de prácticas respetuosas con el medio ambiente y la minimización de los contaminantes, mediante la reducción del uso de materiales y el fomento de su reutilización y reciclado. Hechos que potencian la sostenibilidad del sector, a través de la preservación de los recursos y el ahorro energético. De acuerdo con estos principios, los ligantes no bituminosos obtenidos a partir de materiales biológicos y de desecho surgen como alternativa al betún derivado del petróleo, ya que ofrecen la posibilidad de crear materiales verdes para techado. En este trabajo, se han elaborado ligantes no bituminosos de origen biológico y residual como posibles materiales sostenibles de cubiertas. Para ello, se han combinado dos colofonias modificadas y tres fuentes de polímeros reciclados con aceite de cocina usado para obtener distintos productos. Se ha llevado a cabo una caracterización reológica, calorimétrica y tecnológica en profundidad de diversas mezclas para comprender la contribución de cada componente a las principales características de las

muestras. Además, se han realizado ensayos de conductividad térmica y ración solar sobre dos de los prototipos de ligantes no bituminosos desarrollados que han mostrado propiedades mecánicas adecuadas para materiales de cubierta, uno de tono claro y otro oscuro, y se han comparado con un betún modificado con polímeros utilizado como referencia. El ligante no bituminoso de tono claro, compuesto por un 61,0 % de resina de colofonia fenólica modificada, un 30,5 % de aceite usado de cocina y un 8,5 % de polietileno de baja densidad (LDPE) —porcentajes en peso—, ha mostrado una mayor eficiencia energética derivada de su color, entre amarillento claro y marrón. Esto se debe a que proporciona una reducción de alrededor del 14 % en la conducción de calor a través del material en comparación con una membrana de betún del mismo espesor en condiciones experimentales fijas de flujo radiante. Por lo tanto, estos materiales pueden actuar potencialmente como materiales de construcción reflectantes y contribuir a la disminución del efecto de isla de calor urbana. Además, sus propiedades generales se ajustan a la categoría Tipo IV de materiales de cobertura según la norma americana ASTM D312. Por otro lado, el ligante no bituminoso de color negro, formulado con un 40 % de resina de colofonia maleico-esterificada, un 32 % de aceite de cocina usado, un 20 % de goma de neumático fuera de uso (NFU) y un 8 % de una mezcla de polietileno de alta densidad con polipropileno reciclados (HDPE/PPr) —porcentajes en peso—, mostró una absorción de calor equivalente a la del betún modificado de referencia, pero exhibió una menor capacidad de almacenamiento de calor a temperatura ambiente. Este material cumple los requisitos tecnológicos de la norma española UNE 104232-2 para materiales de impermeabilización. Asimismo, la presencia combinada de termoplásticos reciclados y elastómeros de desecho confiere un carácter híbrido a esta formulación particular de ligante, lo que mejora tanto la flexibilidad como los puntos de reblandecimiento a bajas y altas temperaturas en servicio, respectivamente. Adicionalmente, en este último prototipo se ha utilizado la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para validar la configuración experimental de la radiación solar y modelizar el mecanismo de transmisión de calor en curso.

Retos de la electrificación del transporte terrestre en España

José Manuel Ledo Lobato (1), Antonio Matias Navarro Torres (2), Angel Mena Nieto (1)

(1) Universidad de Huelva

(2) Universidad de Sevilla

Resumen: La transición energética en el sector del transporte terrestre en España está siendo más lenta de lo que cabría esperar. Basándonos en datos históricos oficiales del mercado, se expondrán los problemas de la situación actual y la previsible evolución del mercado de vehículos eléctricos, tanto a nivel nacional como europeo, analizando los problemas, retos y los principales factores que influyen en su desarrollo e implantación.

La transición energética en los hospitales: De las calderas de carbón al hidrogeno verde

José Macías Macías

Profesor honorario del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos. Universidad de Huelva

Resumen: Esta presentación trata sobre la evolución de las fuentes de energía de los centros sanitarios a lo largo de los últimos 40 años, la situación actual y las perspectivas futuras, contando con la presencia cada vez mayor de instalaciones de energías renovables y el fomento de medidas de eficiencia energética, para intentar optimizar los recursos de todo tipo.

En los hospitales hace ya varios años que se usa la energía solar térmica para calentamiento de agua de uso sanitario según dispone el Código Técnico de la Edificación.

Existen centros sanitarios con paneles solares fotovoltaicos para verter la electricidad a la red pública o para consumo propio en alumbrado y/o instalaciones de recarga de vehículos eléctricos. El SAS tiene previsto poner en marcha un programa de instalación de placas fotovoltaicas en todos sus hospitales y centros de salud.

Se pueden encontrar en Cataluña nosocomios con instalaciones de aprovechamiento de energía geotérmica para calentamiento y enfriamiento de agua para usos varios.

En el Hospital Insular Materno Infantil de la isla de Gran Canaria hay un proyecto de eólica marina para producir hidrógeno verde y utilizarlo como combustible. El oxígeno que también aparece en la electrolisis del agua se puede emplear en el hospital dada su alta pureza.

En Andalucía existen 7 instalaciones de trigeneración en sendos hospitales del SAS para producir electricidad para exportar a la red pública y con los excedentes

térmicos del motor de combustión calentar y enfriar agua para usos varios.

Por último, comentar que está en estudio en el hospital Viamed Santa Elena de Madrid construir una planta de biogás, por la que, a través de los residuos orgánicos de la cocina, se puede producir "in situ" gas para su consumo en la propia cocina del hospital.

Tecnologías de gemelos digitales para la Digitalización de Servicios de Mantenimiento. Caso de taller y flota ferroviaria

Antonio Sánchez Herguedas

Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas I. Universidad de Sevilla

Resumen: La digitalización en la Gestión del Mantenimiento se ha convertido en un factor fundamental para incrementar la eficiencia operativa, disminuir los tiempos de inactividad y maximizar la vida útil de los activos. La implementación de esta tecnología facilita el desarrollo de gemelos digitales, los cuales representan virtualmente un objeto físico, sistema o proceso del mundo real, permitiendo su monitoreo, análisis y simulación en tiempo real.

El desarrollo de un gemelo digital exige la consideración de varios aspectos clave, como la adecuada recolección, análisis y utilización de los datos generados por los activos a lo largo de su ciclo de vida. Asimismo, es esencial diseñar un modelo de datos que represente de manera precisa tanto los activos como los procesos, y la creación de aplicaciones o microservicios dedicados al análisis y simulación. La información generada necesita ser almacenada eficientemente, la tendencia actual favorece el uso de plataformas en la nube ("cloud"), donde se gestionan diversos tipos de bases de datos.

El proceso se completa cuando los datos se visualizan de manera efectiva para apoyar la toma de decisiones mediante paneles de control ("dashboards"), informes o alertas en tiempo real. Sin embargo, el diseño de un gemelo digital enfrenta dos desafíos principales: primero, la creación de modelos de datos que sean heredables, escalables y compatibles con otros sistemas, lo que permitirá la integración y crecimiento del gemelo; y segundo, la elección de la plataforma adecuada para el almacenamiento y ejecución de programas, la cual debe ser capaz de manejar grandes volúmenes de datos, garantizar su integridad y accesibilidad, manteniendo a la vez un costo viable para el proyecto empresarial.

Este enfoque se ejemplifica para el caso de la digitalización de la gestión de mantenimiento en un taller y una flota de vehículos ferroviarios.

Análisis fluido-dinámico de celda electrolítica AEM para la optimización en la dispersión de los reactivos

Cirilo Delgado Asencio, Manuel Ángel González Rodríguez, Francisca Segura Manzano y José Manuel Andújar Márquez

Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad (CITES). Universidad de Huelva

Resumen: Las tecnologías de electrolisis para la producción de hidrógeno verde se encuentran en un momento crucial para su implantación en el mercado. Aun teniendo en cuenta la acuciante necesidad de almacenamiento de energías renovables y la descarbonización de la industria y el transporte, las tecnologías de electrolisis para la producción de hidrógeno deben mejorar su eficiencia y reducir sus costes si pretenden postularse como una opción viable para la transición energética. En esta línea de mejora y optimización de las tecnologías de electrolisis, se lleva a cabo un trabajo en el que se ilustra el proceso para la optimización de la dispersión de los reactivos en un electrolizador de tipo AEM, mediante el uso de elementos finitos y la aplicación de un análisis fluido-dinámico en el interior de una celda electrolítica. Este análisis computacional se complementa con una validación experimental, tras la cual, se exponen las mejoras de densidad de corriente y eficiencia obtenidas respecto al diseño inicial.

O Youtube como ferramenta de aprendizagem do conceito de probabilidade condicionada

Carla Santos (1) e Cristina Dias (2)

(1) Instituto Politécnico de Beja - Portugal, NOVAMATH: Centro de Matemática e Aplicações - FCT - Universidade Nova de Lisboa

(2) Instituto Politécnico de Portalegre - Portugal, NOVAMATH: Centro de Matemática e Aplicações - FCT - Universidade Nova de Lisboa

Resumo: O uso do vídeo como recurso pedagógico tem sido amplamente discutido por diversos autores ao longo dos anos. Muito antes dos benefícios que a evolução tecnológica do século XXI proporcionou ao formato vídeo, já o potencial educativo dos vídeos era sublinhado, pela sua capacidade de proporcionar um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e atrativo, e incentivada a sua integração nas práticas pedagógicas, como forma de enriquecer a experiência de aprendizagem dos alunos (Moran, 1995, Ferrés, 1992).

O advento da internet rápida e plataformas como o YouTube ampliou ainda mais o potencial do vídeo enquanto ferramenta pedagógica, expandido o alcance e possibilidade do uso do vídeo na sala de aula e fora dela.

Alguns dos benefícios do uso de vídeos para a aprendizagem, apontados na literatura, são o aumento do interesse dos alunos, e a promoção da compreensão dos conteúdos, mas também, noutra perspetiva, a flexibilidade proporcionada pela possibilidade de o aluno pausar, retroceder ou rever o material apresentado.

No que respeita à aprendizagem da Matemática, Rosa (2018) argumenta que a integração de vídeos na prática pedagógica deve torná-los elementos ativos nos processos cognitivos dos alunos, potencializando a produção de conhecimento,

As fragilidades na literacia e cultura estatística dos alunos é transversal a todos os níveis de ensino, estando identificadas internacionalmente (p.e. Del Mas et al., 2007, Fernandes et al., 2015). Independentemente do conteúdo estatístico estudado, fica evidente o contraste entre o sucesso dos alunos na aplicação de fórmulas e algoritmos, e as dificuldades, erros e equívocos que surgem na resolução de problemas de palavras. No caso específico do estudo das probabilidades, as dificuldades revelam-se acentuadamente quando os problemas envolvem o conceito de probabilidade condicionada. Pelas provas de que abordagem tradicional do estudo das probabilidades, focada na componente de cálculo, não prepara os alunos para a resolução e interpretação de problemas não rotineiros, nem permite alertar os alunos para o conflito entre a intuição e o raciocínio necessário à resolução de problemas de probabilidades (Konold, 1995, Días e De La Fuente, 2005), torna-se imperioso o tratamento específico dessas dificuldades, equívocos e intuições erradas, através de práticas e ambientes de aprendizagem que estimulem o raciocínio abstrato e a intuição probabilística dos alunos (Garfield e Ahlgren, 1988).

Dada a relevância da visualização das probabilidades, a componente visual dos vídeos pode contribuir positivamente para a melhoria da compreensão de conceitos de probabilidades, por permitirem ilustrar de forma dinâmica determinados aspetos importantes. Considerando as recomendações para a aprendizagem significativa do conceito de probabilidade condicionada, interessa-nos avaliar de que forma os vídeos podem

contribuir para corrigir as dificuldades, equívocos e intuições erradas associadas a esse conceito.

Neste trabalho analisamos vídeos do Youtube que abordam o cálculo de probabilidades condicionadas, focando-nos na avaliação do seu potencial para estimular o raciocínio abstrato e intuição probabilística.

Referências bibliográficas

Del Mas, R., Garfield, J., Ooms, A., Chance, B. (2007) Assessing Students' Conceptual Understanding after a First Course in Statistics, *Statistics Educ. Research Journal*, 6, 28–58.

Díaz, C., De La Fuente, I. (2005), Razonamiento sobre probabilidad condicional e implicaciones para la enseñanza de la estadística, *Epsilon*, 59, 245–260.

Fernandes, J., Batanero, C., Correia, P., Gea. M.M. (2015). Comparação de probabilidades de acontecimentos formulados de forma explícita e implícita. *Revemat* 10(2), 42–60.

Ferrés, J. (1992). *Vídeo y Educación*. Buenos Aires: Ediciones Paidós.

Garfield, J. e Ahlgren, A. (1988) Difficulties in Learning Basic Concepts in Probability and Statistics: Implications for Research, *Journal for Research in Mathematics Ed.*, 19(1), 44–63.

Konold, C. (1995). Issues in assessing conceptual understanding in probability and statistics. *Journal of Statistics Education*, 3 (1).

Moran, J. M. (1995). O Vídeo na Sala de Aula. *Comunicação e Educação*, 2, 27-35.

Rosa, M. (2018). Tessituras teórico-metodológicas em uma perspectiva investigativa na Educação Matemática: da construção da concepção da Cyberformação com professores de Matemática a futuros horizontes. In A. M. P Oliveira & M. I. Ortigão (orgs.), *Abordagens teóricas e metodológicas nas pesquisas em Educação Matemática* (pp. 255-281). Brasília: SBEM.

Competências Digitais de IA dos Professores de Matemática

Cristina Dias (1) e Carla Santos (2)

(1) Instituto Politécnico de Portalegre - Portugal, NOVAMATH: Centro de Matemática e Aplicações - FCT - Universidade Nova de Lisboa

(2) Instituto Politécnico de Beja - Portugal, NOVAMATH: Centro de Matemática e Aplicações - FCT - Universidade Nova de Lisboa

Resumo: A pandemia catalisou uma mudança significativa para o ensino e a aprendizagem. Os professores aplicaram as tecnologias emergentes para melhorar os resultados de aprendizagem dos seus alunos. A tecnologia de inteligência artificial (IA) ganhou popularidade nos ambientes de aprendizagem online durante a pandemia. No entanto, muitas destas ferramentas de IA eram novas para os professores. Muitos profesoress viram-se forçados a adquirir os conhecimentos técnicos suficientes para poderem utilizar aplicações educativas de IA de forma a facilitar o seu ensino. Desde então, e cada vez mais, há uma necessidade crescente de os professores se dotarem de competências digitais adequadas para poderem utilizar e ensinar com IA em ambiente escolar. São poucos os referenciais existentes, neste campo, que informam sobre quais devem ser as competências necessárias em IA dos profesoress. Este estudo explora as oportunidades e, os desafios da utilização de sistemas de IA nas aulas de matemática e a forma como os mesmos podem melhorar o ensino, a aprendizagem e a avaliação. São propostas recomendações para ajudar os professores e investigadores a promover o ensino da IA nas aulas de matemática.

Al otro lado. La educación aplicada a la planificación urbana. Diseño de áreas verdes

Angela Angulo Ruiz

Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva

Resumen: No surgen de la nada las denominadas Ciudades Inteligentes, si dedicásemos unos minutos a la lectura consciente y análisis de su definición percibiríamos como en un mundo sostenible es imprescindible la educación del capital humano disponible para una evolución acertada de las Smart City. Como punto de partida las instituciones universitarias podrían considerarse el lugar de encuentro previo a la salida profesional, en ellas han de darse

respuesta a las nuevas realidades. Con el objetivo de obedecer a la responsabilidad individual como docente y fomentar la capacidad autónoma del aprendizaje, ejercitar el pensamiento crítico y creativo del alumnado así como concienciar en la capacidad de actuar sobre su entorno de trabajo como futuras personas para ejercer la ingeniería, he desarrollado una metodología de enseñanza basada en actividades dinámicas en el aula y fuera de ellas en las que el alumnado es el actor principal en la elaboración, desarrollo y defensa de los proyectos planteados, cumpliendo con unas premisas y reglas previas.

Impacto del cambio climático en la salud de las personas

Macarena Romero-Martín (1), Lucas Rodríguez-Jiménez (2), José Miguel Robles-Romero (1) y Juan Gómez-Salgado (3)

(1) Departamento de Enfermería. Universidad de Huelva

(2) Central London Community Healthcare, NHS Trust. Reino Unido

(3) Departamento de Sociología, Trabajo Social y Salud Pública. Universidad de Huelva

Resumen: El cambio climático es considerado como la alteración de las temperaturas y los patrones climáticos secundario al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la actividad humana (IPCC, 2022). Los impactos del cambio climático en la salud humana ya son evidentes y es muy probable que causen más daños en los próximos años debido a su rápido desarrollo (Romanello et al., 2021). Julio de 2023 se registró como el mes más caluroso jamás registrado hasta la fecha, y la temperatura media mundial para el periodo comprendido entre enero y septiembre de 2023 es 0,52 °C superior a la media correspondiente de 1991-2020 (Copernicus Climate Change Service, 2023). El cambio climático puede afectar a la salud humana debido a mecanismos complejos e interrelacionados, como las temperaturas extremas, los fenómenos meteorológicos extremos, el aumento de la contaminación atmosférica, el aumento de las enfermedades infecciosas, la falta de alimentos y el riesgo de malnutrición, el aumento de las presentaciones de salud mental y la migración, entre otros (Watts et al., 2019). Las muertes relacionadas con el calor en ancianos han aumentado hasta un 54% en las últimas dos décadas, con 61672 muertes registradas sólo en 2022 en toda Europa (Ballester et al., 2023). Los

fenómenos meteorológicos extremos, como los incendios forestales entre otros, merman la disponibilidad de recursos y alimentos, lo que conduce a la desnutrición y el deterioro de la salud mental, como consecuencia del aumento de situaciones de impacto emocional significativas (Di Napoli et al., 2022). En Australia se registraron 450 muertes, 13.000 urgencias por asma, así como un elevado número de ingresos por causas respiratorias y cardiovasculares, el desplazamiento de miles de personas y el empeoramiento de la salud mental, tras los incendios forestales ocurridos en 2020-2021 (Biddle et al., 2021). En la última década se ha producido un aumento de la inseguridad alimentaria en todo el mundo, con 720-811 millones de personas que pasan hambre en 2020 (Botreau y Cohen, 2020).

La contaminación atmosférica se ha asociado a un aumento de enfermedades como los accidentes cerebrovasculares, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, los cánceres de tráquea, bronquios y pulmón, las exacerbaciones del asma y las infecciones de las vías respiratorias inferiores, entre otras (Murray et al., 2020). La contaminación atmosférica es responsable de 6,7 millones de muertes prematuras al año y los datos han demostrado que la contaminación atmosférica reduce 1,8 años la esperanza de vida en todo el mundo (Rezakhani et al., 2023). El aumento de las temperaturas también provoca está causando el adelanto de la época floral comparado con datos de hace 40 años y por tanto aumentando los alérgenos y las alergias, el cual afecta actualmente a un 40% de la población mundial (Van Daalen et al., 2022).

El cambio climático favorece también la proliferación y propagación de enfermedades infecciosas como por ejemplo el dengue, cuyas condiciones favorables para su propagación han aumentado un 30% en Europa en comparación con datos de la década de 1950 (Van Daalen et al., 2022). La incidencia de enfermedades infecciosas, como la malaria, ha aumentado hasta un 31,3% en zonas de América y un 13,8% en las zonas montañosas de África, mientras que la transmisión del dengue también ha aumentado alrededor de un 12% en las mismas zonas desde 1951-60 hasta 2012-21 (Brumfield et al., 2021). Además, el aumento de la incidencia de todos los impactos anteriormente mencionados tiene un impacto significativo en la salud mental y la migración humana (Norwegian Refugee Council, 2021). Solo en 2022, 7,6 millones de personas fueron desplazadas en Pakistán a causa de las inundaciones (ACNUR, 2022).

Por lo tanto, el cambio climático no es sólo una emergencia climática, sino también una emergencia sanitaria, a las que los servicios de salud y las instituciones deben darle respuesta sanitaria con urgencia.

Referencias:

- Agencia de la ONU para Refugiados (ACNUR). Humanitarian needs remain acute for displaced in flood-hit areas of Pakistan. (2022). <https://www.unhcr.org/uk/news/briefing/2022/9/63297e24/unhcr-humanitarian-needs-remain-acute-displaced-flood-hit-areas-pakistan.html>.
- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R. F., Pegenaute, F., Herrmann, F. R., Robine, J. M., Basagaña, X., Tonne, C., Antó, J. M., & Achebak, H. (2023). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, 29(7), 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>
- Biddle, N., Edwards, B., & Makka, T. (2021). Wellbeing and the Environment – the Impact of the Bushfires and the Pandemic. https://csmr.cass.anu.edu.au/sites/default/files/docs/2021/5/Wellbeing_and_the_environment_the_impact_of_the_bushfires_and_the_pandemic_-_Version.pdf
- Botreau, H., & Cohen, M. J. (2020). Gender inequality and food insecurity: A dozen years after the food price crisis, rural women still bear the brunt of poverty and hunger. *Advances in Food Security and Sustainability*, 53–117. <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2020.09.001>
- Brumfield, K. D., Usmani, M., Chen, K. M., Gangwar, M., Jutla, A. S., Huq, A., & Colwell, R. R. (2021). Environmental parameters associated with incidence and transmission of pathogenic vibrio spp. *Environmental Microbiology*, 23(12), 7314–7340. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15716>
- Copernicus. Climate Change Service. (September 2023). Surface air temperature for September 2023. <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-september-2023>
- Di Napoli, C., McGushin, A., Romanello, M., Ayeb-Karlsson, S., Cai, W., Chambers, J., Dasgupta, S., Escobar, L. E., Kelman, I., Kjellstrom, T., Kniveton, D., Liu, Y., Liu, Z., Lowe, R., Martinez-Urtaza, J., McMichael, C., Moradi-Lakeh, M., Murray, K. A., Rabbaniha, M., ... Robinson, E. J. (2022). Tracking the impacts of climate change on human health via indicators: Lessons from the lancet countdown. *BMC Public Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13055-6>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR15). <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Murray, C. J., Aravkin, A. Y., Zheng, P., Abbafati, C., Abbas, K. M., Abbasi-Kangevari, M., Abd-Allah, F., Abdelalim, A., Abdollahi, M., Abdollahpour, I., Abegaz, K. H., Abolhassani, H., Aboyans, V., Abreu, L. G., Abrigo, M. R., Abualhasan, A., Abu-Raddad, L. J., Abushouk, A. I., Adabi, M., ... Lim, S. S. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: A systematic analysis for the global burden of disease study 2019. *The Lancet*, 396(10258), 1223–1249. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30752-2)
- Norwegian Refugee Council. (2021). Internal Displacement Monitoring Centre. Global report on internal displacement 2020. https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/grid2021_idmc.pdf
- Rezakhani, L., Darbandi, M., Khorrami, Z., Rahmati, S., & Shadmani, F. K. (2023). Mortality and disability-adjusted life years for smoking-attributed cancers from 1990 to 2019 in the North Africa and Middle East countries: A systematic analysis for the global burden of disease study 2019. *BMC Cancer*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12885-023-10563-5>
- Romanello, M., Di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Arnel, N., Ayeb-Karlsson, S., Berrang Ford, L., Belesova, K., Bowen, K., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., R Van Daalen, K., Dalin, C., Dansandi, N., Dasgupta, S... Costello, A. (2022) 'The 2022 report of the Lancet countdown on Health and Climate Change: Health at the mercy of Fossil Fuels', *The Lancet*, 400(10363), pp. 1619–1654. doi:10.1016/s0140-6736(22)01540-9
- Van Daalen, K.R., Romanello, M., Rocklöv, J., Semenza, J.C., Tonne, C., Markandya, A., et al. (2022). The 2022 Europe Report of the Lancet countdown on health and climate change: towards a climate resilient future. *The Lancet* 7, (11), e942-e965.
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Capstick, S., Chambers, J., Dalin, C., Daly, M., Dasandi, N., Davies, M., Drummond, P., Dubrow, R., Ebi, K.L... Montgomery, H. (2019). The 2019 report of The Lancet Countdown

on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *The Lancet* 394 (10211), 1836–1878.

Beneficios del uso de las nuevas tecnologías

José Antonio González Duque

Departamento de Ciencias Agroforestales

Resumen: Las ciudades deben estar preparadas para hacer frente a las nuevas tendencias. De tal modo que se debe capacitar a los investigadores del medio urbano para crear conciencia del uso de dichas herramientas de manera eficiente y positiva. Las tecnologías de la información que están en la vanguardia deben ser usadas como recurso importante en todas las ciudades, ya que las poblaciones se pueden beneficiar netamente de éstas. Los planificadores pueden facilitar que el proceso de mejora de las ciudades y un uso progresivo con aprendizaje de mejora se logre con mayor rapidez y practicidad.

Estimación de las emisiones por el uso de un vehículo eléctrico

Juan Antonio Delgado-Fernandez, Angel Mena-Nieto y Alejandro Pérez Vallés

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, Diseño y Proyectos. Universidad de Huelva

Resumen: Se muestra un caso real de cálculo de las emisiones de dióxido de carbono asociadas al uso de un vehículo eléctrico puro (alimentado por baterías) a lo largo de un año de uso, utilizando puntos de recarga públicos. Además, se comparan los resultados obtenidos con las emisiones generadas para un uso equivalente de varios modelos convencionales. Así mismo, se realizará un breve análisis de la relación coste/beneficio operativo de dicho uso, frente a otras opciones más convencionales para señalar las ventajas y desventajas del uso de vehículos eléctricos puros frente a los propulsados por gasolina y diésel.

Estudio de la introducción de coches eléctricos a gran escala en el sistema insular canario

Gregorio Ortega Ruiz, Alejandro Pérez Vallés y Ángel Mena Nieto

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, Diseño y Proyectos. Universidad de Huelva

Resumen: Este trabajo pretende ponderar el resultado de la introducción de vehículos eléctricos en el mercado automovilístico canario, sustituyendo paulatinamente a los vehículos de combustión interna utilizados hasta ahora. Para alcanzar este objetivo, se ha comparado la reducción esperada de emisiones de los combustibles tradicionales como el diésel y la gasolina, con el incremento provocado por las emisiones de los combustibles utilizados para generar la nueva demanda eléctrica.

La situación aislada de Canarias, su densidad de población, la carencia de precipitaciones en alguna de sus islas y la fuerte demanda estacional debida al turismo, han propiciado una fuerte dependencia de los combustibles derivados del petróleo. Los esfuerzos llevados a cabo en los últimos años solo han reducido la participación de estas tecnologías desde el 93.76% en 2006 al 80.58% en 2023. Esta tendencia, unida a una política de eficiencia en el consumo, ha conseguido una reducción del 0.75 % de la demanda en 2023 con respecto a 2006, lo que ha propiciado una reducción estimada de las emisiones anuales de 66,782 toneladas de CO₂ en 2023. Como se verá en este trabajo, la tendencia mostrada hasta ahora puede verse seriamente perjudicada por la introducción a gran escala de vehículos eléctricos, dado que los nuevos consumos generados deberán necesariamente ser cubiertos por tecnologías que, en la práctica, resultarán menos eficientes que el empleo de vehículos con motores térmicos.

Transforming Waste: Black Liquor's Path to Green Lubricant Formulations

E. Cortés-Triviño(1), A. Tenorio-Alfonso (1), D. Cantero (2), M.J. Cocero (2) and J.M. Franco (1)

(1) Chemical Product and Process Technology Research Center (Pro2TecS). University of Huelva

(2) BioEcoUva Institute, PressTech Research Group, Department of Chemical Engineering and Environmental Technology. University of Valladolid

Abstract: The paper and pulp industry generates approximately 170 million tons of black liquor annually, contributing to the global lignin output of around 60 million tons each year. However, despite the numerous research focusing on lignin depolymerization and its applications, there is a limited number of studies examining the direct use of black liquor as raw material for the synthesis of new bio-based products for many applications [1,2]. In this context, in recent years, numerous studies have highlighted the potential advantages of using polyols derived from biomass for the synthesis of new materials as alternatives to petroleum-based products, thus promoting the production of environmentally friendly polymeric solutions from renewable resources [3]. A notable example is the formulation of novel bio-lubricant synthesized from natural polyols coming from biomass residues and vegetable oils, as well as their derivatives. However, enhancing the lubricating performance of semi-solid lubricant formulations often requires chemical modifications to the functional groups of vegetable oils to enable efficient chemical crosslinking with polyols [4]. This strategy presents new opportunities for the revalorization of black liquor in lubricant applications. In line with this approach, in this study, four different lignin fractions, derived from supercritical water hydrolysis of diluted black liquor, were dispersed into an epoxy-modified vegetable oil in order to produce sustainable lubricant formulations. The rheological properties of the resulting lubricating systems were subsequently characterized to evaluate the influence of the lignocellulosic fractions' composition.

[1] Lappalainen, J., Baudouin, D., Hornung, U., Schuler, J., Melin, K., Bjelić, S., ... & Joronen, T. (2020). Sub- and supercritical water liquefaction of kraft lignin and black liquor derived lignin. *Energies*, 13(13), 3309.

[2] Van den Bosch, S., Koelewijn, S. F., Renders, T., Van den Bossche, G., Vangeel, T., Schutyser, W., & Sels, B. F. (2020). Catalytic strategies towards lignin derived chemicals. *Lignin Chemistry*, 129-168.

[3] Borrero-López, A. M., Santiago-Medina, F. J., Valencia, C., Eugenio, M. E., Martín-Sampedro, R., & Franco, J. M. (2018). Valorization of kraft lignin as thickener in castor oil for lubricant applications. *Journal of Renewable Materials*, 6(4), 347-361.

[4] Cortes-Trivino, E., Valencia, C., & Franco, J. M. (2021). Thickening castor oil with a lignin-enriched fraction from sugarcane bagasse waste via epoxidation: a rheological and hydrodynamic approach. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(31), 10503-10512.

Nuevos modelos productivos de bellotas de encina de plantas injertadas y progenies seleccionadas

María Luisa Fernández García (1), Manuel Fernández Martínez (1), Javier Ginesta Colón (2) y Raúl Tapias Martín (1)

(1) Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva

(2) Sánchez Romero Carvajal Jabugo, S.L.U.

Resumen: El síndrome de “la seca” afecta gravemente a la dehesa mediterránea comprometiendo su rentabilidad y producción. La biotecnología con aplicación de nuevas técnicas puede ayudar a la persistencia de estos ecosistemas y contribuir a su rentabilidad como aprovechamiento ganadero. El objetivo de este trabajo se basa en evaluar nuevos sistemas de producción de bellota en dos parcelas experimentales con plantas injertadas y plantas de progenies seleccionadas con la intención de asegurar una producción uniforme de bellota para alimentación del cerdo ibérico. En dos parcelas experimentales en la provincia de Huelva, se han plantado encinas de progenies seleccionadas y encinas injertadas en distintos sistemas de cultivo intensivo con fertirrigación. Se ha realizado tomas de datos periódicas y se ha analizado el crecimiento y la producción de bellotas. Además, se analizan los distintos factores que pueden afectar a la viabilidad de las plantas injertadas: fecha de realización, patrón y edad de la planta. En los resultados se observan diferencias entre tipo de planta, progenie y genotipo en la producción de bellota y crecimiento de las plantas.

Valorización de residuos de cáscara de naranja para la producción de biocombustibles: Un enfoque de economía circular

Loaiza, Javier Mauricio, Camacho, José Manuel y García, Juan Carlos

Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos Químicos. Pro²TecS - Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales. Universidad de Huelva

Resumen:

En este estudio se expone la necesidad de una transición energética desde los recursos fósiles hasta recursos más concienciados con el medio ambiente, promoviendo así el aprovechamiento de los residuos generados a través de una economía circular. La biomasa elegida fue la cáscara de naranja, que se trata de un residuo abundante a nivel mundial. La cáscara de naranja contiene una gran variedad de compuestos químicos en su composición (aceites esenciales, flavonoides, pectina, fibra, compuestos antioxidantes, hemicelulosas, celulosa y lignina), que presentan un valor añadido para su uso industrial, químico, energético y farmacéutico. El objetivo principal de esta investigación es caracterizar energéticamente y químicamente la cáscara de naranja para obtener precursores químicos (con alto interés en la industria de los biocombustibles). Como primera etapa del proceso, se realiza una caracterización química. Dicha composición está formada principalmente por celulosa en rangos de 22-23,2%, de 23,6-25,2% de hemicelulosas, de 8,7-10,1% de lignina y de 34,2-38,8% de compuestos extraíbles. La siguiente etapa que se lleva a cabo es la extracción de aceites mediante el proceso de Extracción Soxhlet con diferentes disolventes (etanol, isopropanol y hexano). Una vez extraídos los aceites se les realiza un proceso de transesterificación utilizando hidróxido de potasio (KOH) como catalizador, durante 2 horas, a una temperatura de 60°C. Los principales compuestos obtenidos son el metil linoleico y metil palmítico, con unos porcentajes que rondan entre el 14% y el 28% de los compuestos extraídos con cada uno de los disolventes. Posteriormente, como segunda etapa del proceso, a la fase sólida se le realiza una Extracción Alcalina en Frío (EAF) con ultrasonido con las siguientes condiciones (100g/L de concentración de álcali; 40°C de temperatura y un tiempo de 90 minutos) con el fin de obtener una fase líquida rica en hemicelulosas de alto valor añadido y un sólido residual que se aprovecha para la obtención de energía mediante combustión. A las fases líquidas obtenidas después de la EAF con ultrasonido se le realiza un proceso de

hidrólisis ácida con el fin de obtener furfural en un reactor Parr de 2 litros de capacidad durante 1 hora con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 2% de concentración, a una temperatura de 170°C y con un hidromódulo (relación líquido/sólido) de 1/30. Los resultados obtenidos de furfural están comprendidos entre 762 y 826 mg/L, los cuales se estimaron mediante espectroscopía ultravioleta-visible (UV-vis) a una longitud de onda de 277nm. Los poderes caloríficos superiores en base seca de los sólidos finales después de las extracciones (Soxhlet y EAF con ultrasonido) están comprendidos entre 16323 y 17886 J/g, lo que se asemeja bastante a los 18109 J/g obtenidos para la cáscara de naranja sin tratar. Este estudio ha confirmado que con la cáscara de naranja se pueden obtener diferentes compuestos de alto interés para la fabricación de biocombustibles, aprovechando el uso integral de la cáscara de naranja mediante el esquema propuesto de economía circular.

Herramientas de ayuda al diseño inteligente de edificios de bajo impacto ambiental en España

Carmen Llatas (1), Bernardette Soust-Verdaguer (1), José Antonio Gutiérrez (1), Maria Dolores Fernandez-Gálvez (1), Luis Castro (2) y Daniel Cagigas (2)

(1) Dpto. de Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla

(2) Dpto. de Arquitectura y Tecnología de Computadores, Universidad de Sevilla

Resumen: La Comunidad Científica proporciona evidencias del relevante papel que juega el sector de la construcción en el cambio climático, generando cerca del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Ante esta situación, la sociedad demanda edificios de menor impacto. Por ello, en España la descarbonización del sector de la edificación es un objetivo prioritario para mitigar los efectos adversos del cambio climático y lograr la transición ecológica. Para 2030, los edificios deberían reducir drásticamente su carbono embebido en un 40%. El papel del diseñador es clave. Sin embargo, una principal limitación para lograr este objetivo es la falta de herramientas automatizadas e integradas en la fase de diseño que permitan informar de cuáles son los elementos constructivos de bajo impacto. Este estudio presenta dos herramientas llevadas a cabo en la Universidad de Sevilla por el equipo de investigación TEP-986 datUS-Lab (Digital Architecture for Sustainability), en el marco de dos proyectos de investigación estatales: un catálogo de elementos

constructivos de baja huella de carbono implementado en la metodología BIM (BIM-ZEN), y una herramienta de simulación del impacto de elementos constructivos en modelos de edificios (DECIDE). Ambas están basadas en la metodología de Análisis de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida y emplean técnicas de Machine Learning para la identificación y selección de procesos optimizados. Se presentan sus bases y fundamentos. Con todo ello, se pretende contribuir a la transición ecológica y digital.

Aplicación de métodos no paramétricos para evaluar la eficiencia relativa de políticas energéticas

Adrian Lopa Santana y Angel Mena Nieto

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, Diseño y Proyectos. Universidad de Huelva

Resumen: Se expone un caso de estudio de aplicación de algunos métodos no paramétricos, tales como el Análisis por Envoltura de Datos, para medir y evaluar la ecoeficiencia relativa de distintas unidades comparables (como, por ejemplo, países, regiones o ciudades), considerando múltiples inputs y outputs energéticos, ambientales y socioeconómicos. En este caso, se evaluará y comparará la ecoeficiencia de las políticas energéticas de varios países de la Unión Europea a lo largo de los últimos años. Como resultado, se obtendrá qué países han sido más eficientes desde un punto de vista energético, y se determinarán las áreas donde pueden mejorar su eficiencia, así como será posible establecer metas de mejora respecto al desempeño de la Unión Europea considerada globalmente.

Evaluación de la resiliencia de plántulas de encina y alcornoque ante estrés térmico y hídrico: un enfoque experimental

Carmen Romero Forte (1), Ana Quevedo Díaz (1), María Luisa Fernández García (1), Genilda Canuto Amaral (1), Manuel Fernández Martínez (1), Alejandro Solla Hach (2), Beatriz Cuenca (3), Felipe Pérez (4), Raúl Tapias Martín (1)

(1) Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva

(2) Universidad de Extremadura

(3) TRAGSA. Vivero de Maceda. Ourense, España

(4) Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), Madrid, España

Resumen: Con el aumento global de las temperaturas debido al cambio climático, especies como la encina (*Quercus ilex*) y el alcornoque (*Quercus suber*) se enfrentan a desafíos significativos, especialmente en relación con la escasez de agua. Estos árboles, que son particularmente vulnerables, podrían experimentar veranos más largos y calurosos, lo que podría afectar su fisiología. Esto incluye procesos vitales como la transpiración y la fotosíntesis, lo que, a su vez, podría llevar a una disminución en su crecimiento y capacidad de supervivencia en el futuro. Para abordar este problema se ha realizado un ensayo experimental con el objetivo de identificar individuos que muestren resistencia a la sequía y, de esta manera, atenuar los impactos negativos del cambio climático. Este estudio ha incluido nueve poblaciones de *Quercus ilex* y *Quercus suber*, originarias de distintas regiones de España, las cuales fueron expuestas a múltiples ciclos de estrés hídrico bajo diversas condiciones térmicas. A lo largo del estudio, se han monitoreado variables claves como el crecimiento, la mortalidad y otras medidas ecofisiológicas en las plantas. Esto incluye la evaluación de la fotosíntesis mediante Infra-red Gas Analyzer (IRGA), Transpiración cuticular, conductancia, Contenido Hídrico Relativo (CHR), curvas de presión volumen y peso seco de biomasa, entre otras. Con toda esta información, se puede evaluar cómo responden estas especies y poblaciones ante condiciones de estrés hídrico y térmico. Este análisis es crucial para el desarrollo de estrategias efectivas que favorezcan la conservación y el manejo sostenible de los ecosistemas, especialmente frente a los retos que plantea el cambio climático.

Biorrefinería de cultivos energéticos: fraccionamiento y EAF de "Paulownia fortunei"

M^a Trinidad García Domínguez (1), Juan Carlos García Domínguez (1), Javier Mauricio Loaiza (1), Suasana Lozano Calvo (1), Francisco López Baldovín (1), Rafael Silva Quintero (2)

(1) Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales. Universidad de Huelva

(2) Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva

Resumen: Actualmente, debido a los compromisos adquiridos en el marco de la agenda 2030 y la creciente concienciación sobre el cambio climático, se ha destinado una amplia gama de recursos al estudio de tecnologías "verdes". En este contexto La biorrefinería

desempeñaría un papel crucial en la transformación de residuos agroforestales e industriales utilizando procesos integrados en productos químicos útiles y de valor añadido, contribuyendo así a una economía más sostenible. Por ello, las biorrefinerías del futuro deberían tener la capacidad de procesar la biomasa de manera integrada para producir tanto combustibles como productos químicos básicos.

Improving Renewable Energy Storage: Characterization of a Water-Free Pickering Emulsion Based on Phase Change Materials

Sebastián Sanabria, Clara Delgado-Sanchez, Pedro Partal y Francisco Javier Navarro

Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos Químicos. Pro²TecS - Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales. Universidad de Huelva

Abstract: As the demand for renewable energy grows, finding reliable and efficient energy storage solutions becomes increasingly essential to address the intermittency of energy generation, such as in solar and wind energy. One promising approach involves the use of emulsions containing phase change materials (PCMs), systems that can store and release thermal energy. Despite their potential, PCM-based emulsions face significant challenges, including maintaining long-term stability and ensuring processability in practical applications. Our study introduces an innovative approach by developing and thoroughly characterizing water-free Pickering emulsions, in which paraffin (with a melting point of 58-60°C) acts as the PCM, dispersed as droplets, while polyethylene glycol (PEG) serves as the continuous phase. These emulsions are stabilized using solid silica nanoparticles. The nanoparticles play a crucial role in preventing coalescence and maintaining structural integrity, which are common challenges in PCM emulsions. Our study carried out a comprehensive characterization, exploring how variations in nanoparticle concentration influence not only the emulsion's morphology, rheological properties, and thermal behavior, but also its thermal cycling performance — a key factor for repeated energy storage and release cycles.

Ligantes no bituminosos para materiales impermeabilizantes

Rodrigo Álvarez-Barajas, Antonio A. Cuadri, Clara Delgado-Sánchez, Francisco Javier Navarro y Pedro Partal

Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos Químicos. Pro²TecS - Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales. Universidad de Huelva

Resumen: El creciente agotamiento de los recursos y la necesidad urgente de una vida más sostenible han acelerado la búsqueda de alternativas a los ligantes bituminosos tradicionales en cubiertas impermeabilizantes. Inicialmente, se descubrió que el uso de materiales poliméricos de desecho mejoraba tanto el rendimiento como la sostenibilidad del betún. Además de estos avances, los investigadores se han enfocado en desarrollar ligantes no bituminosos a partir de materias primas recicladas o biológicas. Esto no solo mejoraría el rendimiento del ligante, sino que también contribuiría a una transición hacia una economía circular, favoreciendo el ahorro energético y la protección del medio ambiente. A diferencia de otros estudios que incorporan materiales de desecho y bioaceites como modificadores del betún, este trabajo se centra en el desarrollo de ligantes no bituminosos de origen 100% residual y biobasado, con el objetivo de crear materiales alternativos de cubiertas más ecológicos y sostenibles. Se combinaron dos resinas de colofonia modificadas y tres polímeros reciclados de diversos orígenes con aceite de cocina usado para obtener diferentes formulaciones con propiedades adecuadas para su uso en cubiertas. Estos materiales fueron sometidos a una caracterización reológica, microestructural y tecnológica en profundidad para entender cómo cada componente contribuye a las propiedades clave de las muestras. Los resultados mostraron un buen comportamiento a baja temperatura, con un módulo complejo significativamente inferior a la región viscoelástica vítrea, que aumenta con la concentración de resina. Además, los valores de penetración y punto de reblandecimiento cumplen con la norma española UNE 104232-2 para este tipo de materiales. La combinación de termoplásticos reciclados y elastómeros de desecho confiere a la formulación un carácter híbrido, mejorando tanto la flexibilidad a bajas temperaturas como la resistencia al reblandecimiento a temperaturas más altas, lo que optimiza su rendimiento en servicio. En conclusión, los prototipos de ligantes basados en residuos y materiales biológicos han demostrado un excelente

comportamiento mecánico, lo que los posiciona como alternativas viables y sostenibles para su uso en cubiertas, alineándose con las demandas actuales de sostenibilidad.

Estudio de viabilidad de la tecnología Power-to-Gas a partir de la metanización directa de biogás

Uxía Mata Rivas, María José Martín Alfonso y Francisco José Martínez Boza

Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos Químicos. Pro²TecS - Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales. Universidad de Huelva

Resumen: La digestión anaerobia de los lodos generados en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) es una solución eficaz para gestionar estos residuos, mitigando su impacto ambiental y permitiendo su valorización. A través de este proceso, se obtiene un biosólido, útil como fertilizante, y biogás, una fuente de energía renovable compuesta principalmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). El biogás puede utilizarse para producir electricidad y/o calor, o ser purificado (upgrading) para obtener biometano, que puede inyectarse en la red gasista, contribuyendo a la descarbonización de sectores industriales y residenciales. Además, el biometano también tiene aplicación como combustible en vehículos o como precursor en la industria química, disminuyendo así la dependencia de los combustibles fósiles. Una alternativa prometedora a las tecnologías convencionales de upgrading, que implican la separación del CO₂ del CH₄ y, consecuentemente, la captura del CO₂ en etapas posteriores o su emisión a la atmósfera, es la tecnología Power-to-Gas, que convierte el excedente de energía renovable en gases renovables, como el hidrógeno verde. Al reaccionar hidrógeno (H₂) con el CO₂ del biogás, se genera más metano, revalorizando el CO₂ y reduciendo las emisiones de las EDAR. Para avanzar en el conocimiento de esta tecnología, se ha realizado un estudio de viabilidad técnica y económica de la metanización directa catalítica de una corriente de 340 Nm³/h de biogás, caudal representativo de una EDAR de mediano tamaño. El proceso fue diseñado y simulado en Aspen Plus, con el objetivo de inyectar el biometano generado a la red gasista. Los resultados indican que la viabilidad económica depende de los costes asociados a la electrólisis y a la reacción de metanización. También se identificó la necesidad de optimizar la desulfuración del biogás para evitar la desactivación del catalizador y

mejorar la gestión del calor, dado el carácter exotérmico de la reacción. Actualmente, se sigue trabajando en resolver los desafíos técnicos y económicos del proceso, con el objetivo de hacer competitiva esta tecnología tanto a pequeña como a gran escala.

Análisis del cumplimiento de las metas de descarbonización para la transición energética sostenible en Vietnam

Le Van Hau, José Enrique García Ramos y Ángel Mena Nieto

Universidad de Huelva

Resumen:

1. Problema

El enorme crecimiento económico y demográfico experimentado por Vietnam durante los últimos años impulsado principalmente por el sector industrial ha provocado un gran aumento en las emisiones de CO₂ del país, debido al mayor uso de combustibles fósiles para satisfacer su creciente demanda energética. Como resultado, sus emisiones de CO₂ per cápita casi doblan las de China. Sin embargo, los compromisos adquiridos por el país ante las Naciones Unidas derivados del Acuerdo de París en su última contribución determinada a nivel nacional del año 2022 son muy ambiciosos, hasta el punto de plantear el logro de la neutralidad del carbono en 2050. Por ello, resulta de interés analizar si este país con cerca de 100 millones de habitantes está en el camino correcto para el lograr sus metas climáticas, y caso de no estarlo, plantear en qué condiciones y con que políticas energéticas y ambientales sería posible hacerlo.

2. Objetivos

a. Analizar la evolución histórica de las emisiones de CO₂, el crecimiento económico y el consumo energético en Vietnam durante los últimos años basándose en datos estadísticos oficiales.

b. Emplear la metodología LMDI y la Identidad Kaya para obtener las fuerzas motrices de las emisiones de CO₂, de cara a proponer las medidas más eficaces y eficientes para progresar en la descarbonización de su economía.

3. Metodología para su realización

Se aplicará una metodología basada, por un lado, en una variación de la identidad Kaya que permite analizar las variaciones de las emisiones de CO₂ de un determinado

territorio a lo largo de un cierto periodo de tiempo, ya que descompone dichas emisiones en sus factores

determinantes; y por otro, en la técnica de descomposición de índices LMDI del profesor Ang que permite obtener la influencia de cada uno de dichos factores desde un punto de vista matemático, tanto desde el punto de vista aditivo como multiplicativo.

4. Resultados esperables

Se obtendrán las principales fuerzas motrices que determinan las emisiones de CO₂ en Vietnam y los posibles caminos de descarbonización de su economía, bajo diferentes escenarios. También se verificará si este país está o no en el camino correcto para alcanzar sus

objetivos climáticos para 2030, y caso de no estarlo, proponer medidas para lograrlo. Obviamente, los países emergentes del sudeste asiático necesitan aumentar su consumo energético para poder mejorar el nivel de vida de sus ciudadanos. Sin embargo, esto debe hacerse del modo más sostenible posible porque los efectos del calentamiento global los sufriremos todos.

Referencias

- A. Robalino-López, J.E. García-Ramos, A. Mena-Nieto, and A. Golpe. System dynamic modelling and the environmental Kuznets curve in Ecuador (1980-2025). *Energy Policy* 67, 923-931, 2014.
- A. Robalino-López, A. Mena-Nieto, and J. E. García-Ramos. System dynamics modeling for renewable energy and CO₂ emissions: A case study of Ecuador. *Energy for Sustainable Development* 20, 11-20, 2014.
- A. Robalino-López, A. Mena-Nieto, J.E. García-Ramos, and A. Golpe. Studying the relationship between economic growth, CO₂ emissions, and the environmental Kuznets curve in Venezuela (1980-2025). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 602-614, 2015.
- B.W. Ang and K.-H. Choi. Decomposition of Aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined division index method. *Energy* 18, 59-73, 1997.
- B.W. Ang. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*; 33:867-71. 2005.
- G. Ortega-Ruiz, A. Mena-Nieto, and J.E. García-Ramos. Is India on the right pathway to reduce CO₂ emissions? Decomposing an enlarged Kaya identity using the LMDI method for the period 1990-2016. *Science of The Total Environment*, 737:139638, 2020.
- G. Ortega-Ruiz, A. Mena-Nieto, A.A. Golpe, and J.E. García-Ramos. CO₂ emissions and causal relationships in the six largest world emitters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162:112435, 2022.
- P. Tapio. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, 12:137-151, 3 2005.
- Y. Kaya. Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios. Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris, (mimeo), 1990.
- Y. Kaya and K. Yokobori. *Environment, Energy and Economy; Strategies for Sustainability*. United Nations University Press, 1997.

Implementación experimental del control de una microrred eléctrica para la mejora del autoabastecimiento energético

Nicolás Magro Garrido, Jesús Rodríguez Vázquez y María Reyes Sánchez Herrera

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, Diseño y Proyectos. Universidad de Huelva

Resumen: La proliferación de fuentes de energía renovables distribuidas es en la actualidad una realidad. Una microrred es una buena solución para la autogestión de la generación y el consumo de energía de las cargas eléctricas locales, lo que es especialmente interesante en las smart-cities. En este sentido, las microrredes contribuyen a reducir las emisiones de GEI y ayudan a las ciudades a cumplir sus objetivos climáticos, reduciendo la vulnerabilidad de la red eléctrica frente a todo tipo de cortes de energía. También permiten mantener las tarifas bajo control gracias a su gestión más eficiente y rentable de la red, garantizan la fiabilidad energética de comunidades aisladas o difíciles de abastecer, y constituyen una forma ideal de integrar recursos renovables a nivel comunitario, permitiendo la participación de los clientes en la empresa eléctrica.

Las fuentes de energía locales (generalmente renovables) generan una tensión continua (DC), una batería eléctrica almacena la energía, y un inversor de potencia (o convertidor DC/AC) genera la tensión alterna que las cargas de la microrred necesitan para su funcionamiento. En este trabajo, se presenta y ensaya una microrred experimental construida en el laboratorio

del grupo de investigación TEP-964. Ésta puede trabajar en modo aislado o conectado a la red, según la disponibilidad de esta o el interés del usuario.

En el primer caso, es necesario un control de tensión del inversor de potencia. En el segundo caso, el sistema de potencia establecerá la tensión de las cargas de la microrred y un control de corriente del inversor de potencia suministrará la energía procedente de las fuentes renovables. Para realizar el control del inversor de la microrred se diseñó una etapa de medida con sensores de tensión e intensidad LEM y se implementó el programa de control en tiempo real mediante una tarjeta DSP de bajo coste de Texas Instruments, la TMS320F28335, cuya programación se realizó con la ayuda del código embebido de Matlab/Simulink. Los resultados de los experimentos desarrollados y mostrados en este trabajo permitieron verificar la efectividad del control propuesto.

Diseño de modelos de datos para entidades y modelos analíticos para un gemelo digital

Alfonso José Carballo Menayo¹, Antonio Sánchez-Herguedas¹, Adolfo Crespo Márquez¹

1. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI). Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla, Spain

Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Campus El Carmen, Avda. de las Fuerzas Armadas, Huelva
alfcarmen@alum.us.es, antoniosh@us.es, adolfo@us.es

Resumen- El mantenimiento es un área donde se espera que la transformación digital sea muy significativa. El desarrollo de gemelos digitales de activos, talleres y recursos de taller proporciona grandes avances para la gestión de actividades de mantenimiento. El objetivo de este artículo es definir los modelos de datos de las entidades (activos y recursos de mantenimiento) y los modelos matemáticos que intervienen en los procesos de mantenimiento. Para ello se determinarán las variables que intervienen en cada modelo, las relaciones entre ellas (ontologías) y las características y atributos de cada variable, de manera que el gemelo digital (GD) pueda representar la evolución en el tiempo del activo físico mediante los atributos recogidos para cada variable y a partir de ahí poder establecer simulaciones y predicciones para dar soporte a la toma de decisiones en mantenimiento.

Palabras Clave- Gemelo Digital; Proceso Semi-Markoviano; Intervalo óptimo preventivo; Modelo de datos; Modelos de optimización.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es sentar las bases para la transformación digital de la gestión del mantenimiento. El mantenimiento es una de las áreas de negocio donde se espera que la transformación sea más significativa [1]. El presente documento se centra en investigar el diseño, desarrollo y utilización de gemelos digitales (GDs) para servicios de mantenimiento.

Se pretende crear un GD de la flota de maquinaria y del taller de una organización dedicada a la reparación y conservación de infraestructura ferroviaria. En el documento se desarrollan los modelos de datos de las entidades, así como, modelos de optimización del mantenimiento que se implementaran en el GD como herramientas APM.

II. LITERATURA

La tecnología digital desempeña un papel puente entre el mundo real y el mundo de la información y sienta las bases de los datos para el seguimiento de la calidad de los productos, procesos y servicios, propiciando la mejora continua [2]. Los avances del hardware y software han permitido que el proceso de diseño de las máquinas sea más sofisticado, permitiendo modelos precisos, ahorrando costes y tiempo [3]. Además, la capacidad de utilizar una variedad de sensores para monitorizar parámetros, junto con los avances del Internet de las Cosas (IoT) y el Big Data han permitido el desarrollo de estas nuevas tecnologías. El GD aparece como un avance

natural y se espera que se convierta en un elemento necesario para la industria.

El diseño del GD requiere de la definición de la estructura técnica del equipo. A partir de ella se consideran los componentes a digitalizar que por agregación desembocarán en el GD de la máquina. Además, se necesitará agregarle aquellas intervenciones de mantenimiento y operación y las características de cada una de ellas. La mayoría de los trenes actuales en funcionamiento no fueron diseñados siguiendo una metodología de Industria 4.0, por lo que actualmente deben ser adaptados a ella. Bustos et al. [4] proponen una nueva metodología para adaptar un tren de alta velocidad a la Industria 4.0. Esta metodología se basa en cuatro etapas (sistema físico, GD, infraestructura de tecnologías de la información y la comunicación, y diagnóstico) comprendiendo los procesos necesarios para digitalizar un vehículo ferroviario y cómo se comparte información entre ellos.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

El proyecto de desarrollo del GD está compuesto por diferentes hitos que se han alcanzado con la participación de la Universidad de Sevilla junto con otras empresas del sector digital. Los diferentes aspectos que se han abordado son la estructuración de los datos y desarrollo de la plataforma digital, la conectividad e implementación de tecnología IoT, y desarrollo de tecnología POWERBIM para el desarrollo del GD. En este apartado se desarrollan los modelos de datos de las diferentes entidades y la aplicación de los modelos de optimización.

A. Análisis de los sistemas de las máquinas

La maquinaria encargada del mantenimiento de las vías ferroviarias está sometida a unas inspecciones periódicas, anuales (IS1), bianuales (IS2) y decenales (IM). Es necesario superar estas intervenciones para la obtención/renovación de la Certificación de Aptitud para el Servicio (CAS). El CAS es el documento que habilita al material ferroviario a circular por la red. Las bases para la digitalización del proceso de obtención del CAS se detallan para dos tipos de máquinas, la bateadora y perfiladora.

El CAS consiste en la verificación de diversos elementos correspondientes a 13 sistemas de cada máquina. Para la digitalización del proceso de verificación se debe definir la jerarquía de elementos de la máquina con objeto de relacionar

cada una de las tareas de verificación con el elemento que se verifica.

A continuación, se desarrollan los modelos de datos del taller-herramientas, RR HH e informes y las relaciones entre las variables que los componen (ontologías), de forma que para cada tarea del CAS se define la variable asociada y las relaciones con los diferentes modelos de datos.

El objetivo es transformar el procedimiento de obtención del CAS, partiendo de la situación actual donde se realiza cumplimentando papeles por parte de los operarios y la posterior supervisión de los gestores, hasta la automatización del proceso mediante el desarrollo del GD. Esto permitirá eliminar fuentes de errores del proceso y facilitará tanto el trabajo del operario como del gestor, ya que existe un control de las variables asociadas a cada tarea, como el tipo de medida que se debe tomar, las herramientas que se utilizan, que operarios pueden realizarla o en qué inspección se realiza. El GD actúa como supervisor del ecosistema (taller máquina-RRHH), velando por las buenas prácticas de operarios y gestores y proporcionando en cada momento los datos que definen el estado de cada una de las tareas y de la máquina, posibilitando la emisión de informes Figura 1.

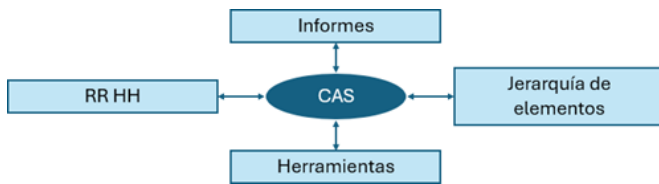


Fig. 1. Ontologías entre los modelos de datos de las entidades que intervienen en la obtención del CAS.

B. Modelo de optimización de tres estados

El mantenimiento predeterminado es un tipo de mantenimiento preventivo que se realiza de acuerdo con intervalos de tiempo establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento. Sánchez et al. [5] desarrollaron el cálculo para encontrar el intervalo óptimo preventivo utilizando un modelo de tres estados (operación, correctivo, preventivo) que evoluciona según un proceso semi-markoviano.

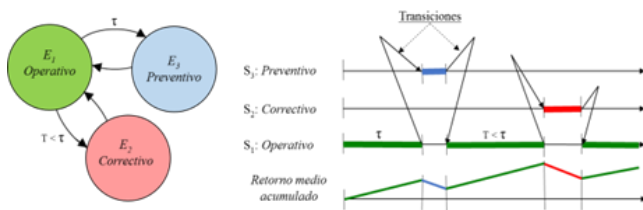


Fig. 2. Estados y transiciones del modelo de tres estados.

El activo transita entre los estados según una ley de probabilidades. El tiempo de permanencia en estado operativo antes de pasar al correctivo (reparación) se determina según una función de distribución de fallos de Weibull. Antes de fallar el equipo puede ser intervenido preventivamente. El intervalo de tiempo hasta realizar la intervención preventiva (τ) es el parámetro para optimizar. En la Figura 2 se expresa gráficamente esas transiciones.

El modelo de optimización de tres estados es utilizado para mejorar la gestión del mantenimiento, produciendo un aumento del rendimiento económico de la empresa. El objetivo es establecer el instante en el que se debe realizar el

mantenimiento preventivo para que el retorno medio acumulado generado por el activo sea máximo. El modelo es aplicado a modos de fallos y para obtener el valor de τ óptimo, las variables de entrada al modelo se deben describir correctamente para los modos de fallo por desgaste. La Figura 3 muestra el origen de las variables de entrada y la salida del modelo.

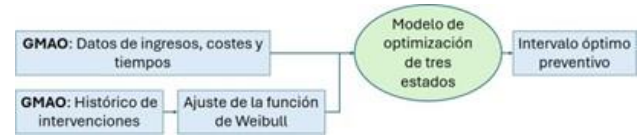


Fig. 3. Flujo de datos del modelo de tres estados.

Para cada modo de fallo se deben digitalizar los datos de entrada y salida al modelo. En primer lugar, los costes e ingresos por los tiempos de permanencia en los diferentes estados se obtienen de la información almacenada en los sistemas ERP (Enterprise Resources Planifications) y GMAO (Gestión del mantenimiento asistido por ordenador). También se deben obtener los parámetros que caracterizan la función de Weibull, a partir del histórico de fallos. Para la digitalización del histórico de fallos el operario introduce la fecha de la intervención, el tipo de intervención (reparación o preventivo) y mediante la tecnología IoT, como GPS solares, se guardan los datos de las horas de funcionamiento desde la última intervención o número de kilómetros que ha realizado. A continuación, se muestra un ejemplo con todas las variables del modelo, Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla I
DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE TRES ESTADOS.
EJEMPLO CON LA CODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y VALORES

Variables	Descripción	COD_MF	Valores
MF	Modo de fallo	MF.0101.06.041_0000	Rotura tensor de correas
Weibull (α)	Factor de forma	MF.0101.06.041_1001	1.91167
Weibull (β)	Factor de escala	MF.0101.06.041_1002	2647.09
Weibull (γ)	Parámetro inicial	MF.0101.06.041_1003	0
R1 (€/horas)	Ingresos de explotación	MF.0101.06.041_1004	3
R2 (€/horas)	Coste correctivo	MF.0101.06.041_1005	-105
R3 (€/horas)	Coste preventivo	MF.0101.06.041_1006	-82
R12 (€)	Coste transición al correctivo	MF.0101.06.041_1007	-4320
R13 (€)	Coste transición al preventivo	MF.0101.06.041_1008	-1
R21 (€)	Coste transición del correctivo al operativo	MF.0101.06.041_1009	-620
R31 (€)	Coste transición preventivo al operativo	MF.0101.06.041_1010	-620
B (horas)	Tiempo operaciones correctivo	MF.0101.06.041_1011	8
C (horas)	Tiempo operaciones preventivo	MF.0101.06.041_1012	7
m	Número de transiciones	MF.0101.06.041_1013	2
τ (optimum)	Intervalo preventivo óptimo	MF.0101.06.041_1014	2,375.49

Tabla II

HISTÓRICO DE INTERVENCIONES PARA EL AJUSTE DE LA FUNCIÓN DE WEIBULL DEL MODELO DE TRES ESTADOS

Variables	Descripción	COD_MF	Valores
MF	Modo de fallo	MF.0101.06.041_0000	Rotura tensor de correas
Weibull (α)	Factor de forma	MF.0101.06.041_1001	1.91167
Weibull (β)	Factor de escala	MF.0101.06.041_1002	2647.09
Weibull (γ)	Parámetro inicial	MF.0101.06.041_1003	0
R1 (€/horas)	Ingresos de explotación	MF.0101.06.041_1004	3
R2 (€/horas)	Coste correctivo	MF.0101.06.041_1005	-105
R3 (€/horas)	Coste preventivo	MF.0101.06.041_1006	-82
R12 (€)	Coste transición al correctivo	MF.0101.06.041_1007	-4320
R13 (€)	Coste transición al preventivo	MF.0101.06.041_1008	-1
R21 (€)	Coste transición del correctivo al operativo	MF.0101.06.041_1009	-620
R31 (€)	Coste transición preventivo al operativo	MF.0101.06.041_1010	-620
B (horas)	Tiempo operaciones correctivo	MF.0101.06.041_1011	8
C (horas)	Tiempo operaciones preventivo	MF.0101.06.041_1012	7
m	Número de transiciones	MF.0101.06.041_1013	2
τ (optimum)	Intervalo preventivo óptimo	MF.0101.06.041_1014	2,375.49

El GD implementa el modelo de forma que cuando se produce una nueva intervención o varía alguna de las variables del GMAO se recalcula la salida del modelo. De forma que el

intervalo óptimo preventivo evoluciona a lo largo de la vida del activo, ajustando el instante en el cual se debe realizar el mantenimiento predeterminado para que el activo genere el mayor rendimiento económico.

C. Modelo de optimización de cuatro estados

El mantenimiento basado en la condición (MBC) se realiza a activos a los cuales se les puede monitorizar su degradación y el procedimiento es económicamente rentable. Para la optimización del intervalo óptimo preventivo se utiliza un modelo de cuatro estados que evoluciona según un proceso semi-markoviano, el cálculo del intervalo óptimo fue desarrollado por Sánchez et al [6]. Para determinar el umbral de degradación máximo admisible se utiliza un proceso de Wiener.

El mantenimiento basado en la condición es un modelo más complicado de digitalizar e implementar en el GD, sin embargo, el activo estará funcionando en un punto más cercano a la rentabilidad económica óptima Figura 4.

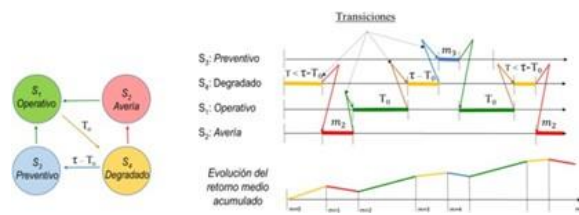


Fig. 4. Estados y transiciones del modelo de cuatro estados.

Aparece un nuevo estado respecto al modelo anterior, el estado degradado. Desde el estado operativo siempre se transita al estado degradado en el instante T_0 . En el estado operativo la probabilidad de fallo es prácticamente nula. Desde el estado degradado el modelo evoluciona al estado preventivo o de avería como en el caso anterior.

Para establecer una política de MBC se deben realizar dos tareas. Primero, determinar el intervalo preventivo óptimo y después, establecer la degradación máxima admisible ($Da = D(\tau_0 - T_1)$). Da es la degradación asociada al instante de preventivo óptimo, siendo la señal para lanzar la tarea preventiva. El control de la degradación del activo permite reducir la incertidumbre asociada al fallo y a la degradación. El intervalo óptimo se obtiene a partir de datos de activos funcionando bajo las mismas condiciones. El umbral de degradación Da será el mismo para todos los activos que trabajen en las mismas condiciones, sin embargo, el momento en el que se alcanza será diferente para cada uno de los activos. Esto se debe a la aleatoriedad del proceso de degradación. Con la monitorización de la degradación se puede determinar con mayor precisión el instante Da y lanzar la acción preventiva en un instante muy próximo al óptimo para el activo.

En el GD se ha desarrollado la primera fase del MBC, la cual consiste en encontrar el intervalo óptimo preventivo. Al igual que en el modelo de tres estados para desarrollar el modelo de cuatro estados se deben determinar las variables de entrada y salida del modelo. En la Tabla 3 y Tabla 4 se puede observar las variables de entrada al modelo, así como, el histórico de intervenciones que se utiliza para definir la función de Weibull.

Tabla III

DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CUATRO ESTADOS. EJEMPLO CON LA CODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y VALORES

Variables	Descripción	COD MF	Valores
Modos de fallo	Modo de fallo	MD.0101.01.071_0000	Rotura tensor de correas
Weibull (α)	Factor de forma	MD.0101.01.071_1001	2.195
Weibull (β)	Factor de escala	MD.0101.01.071_1002	10857.9362
T_0	Tiempo probabilidad de fallo nulo	MD.0101.01.071_1003	22018.036
R1(€/horas)	Ingresos de explotación operativo	MD.0101.01.071_1004	2
R2(€/horas)	Coste correctivo	MD.0101.01.071_1005	-250
R3(€/horas)	Coste preventivo	MD.0101.01.071_1006	-82
R4(€/horas)	Ingresos de explotación degradado	MD.0101.01.071_1007	1.95
R21(€)	Coste transición del correctivo al operativo	MD.0101.01.071_1009	-6000
R31(€)	Coste transición preventivo al operativo	MD.0101.01.071_1010	-620
R42(€)	Coste de transición del degradado al correctivo	MD.0101.01.071_1015	-4320
R43(€)	Coste de transición del degradado al preventivo	MD.0101.01.071_1016	-1
B (horas)	Tiempo operaciones correctivo	MD.0101.01.071_1011	30
C (horas)	Tiempo operaciones preventivo	MD.0101.01.071_1012	20
m	Número de transiciones	MD.0101.01.071_1013	3
to (optimum)	Intervalo preventivo óptimo	MD.0101.06.041_1014	29.334.44

Tabla IV

HISTÓRICO DE INTERVENCIONES PARA EL AJUSTE DE LA FUNCIÓN DE WEIBULL DEL MODELO DE CUATRO ESTADOS

COD FALLOS	Fecha	Tipo de intervención	Horas
MD.0101.06.071_2001	21/9/1990	R	35000
MD.0101.06.071_2002	21/3/1998	F	27900
MD.0101.06.071_2003	21/9/2000	R	7100
MD.0101.06.071_2004	16/3/2009	F	32000
MD.0101.06.071_2005	21/9/2010	R	3000
MD.0101.06.071_2006	21/9/2020	R	35000
MD.0101.06.071_2007	18/12/2028	F	29000
MD.0101.06.071_2008	21/9/2030	R	6000
MD.0101.06.071_2009	21/9/2040	R	35000
MD.0101.06.071_2010	21/11/2047	F	25000
MD.0101.06.071_2011	21/9/2050	R	10000
MD.0101.06.071_2012	21/4/2058	F	27500
MD.0101.06.071_2013	21/9/2060	R	7500
MD.0101.06.071_2014	17/11/2068	F	31000
MD.0101.06.071_2015	21/9/2070	R	4000

Una vez definido el umbral Da se debe monitorizar el activo, por ejemplo, en el caso de los rodamientos de un tren se pueden utilizar sensores de vibración. La monitorización de los rodamientos mostrará la degradación en tiempo real de cada elemento, de forma que a través de la tecnología PowerBIM cada rodamiento tendrá asociado su valor de degradación. Uno de los métodos para representar la degradación de los rodamientos son los procesos de Wiener, en este caso se ha utilizado un proceso lineal.

La finalidad de la implementación del MBC es aumentar el retorno medio acumulado del activo. De forma que el proceso iterativo de cálculo del umbral máximo admisible asegure que el activo se encuentra trabajando lo más próximo posible al intervalo óptimo preventivo, y, por tanto, que el activo genere el máximo retorno económico a lo largo de su vida útil.

D. Modelo de optimización de cuatro estados

La función de Weibull es una distribución de probabilidad continua que se utiliza para describir la distribución de tiempos de fallos. Se define por los parámetros de escala (β), forma (α) y vida garantizada (γ).

La función de densidad de fallos según la distribución de Weibull.

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha - 1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\beta} \right)^\alpha}, \quad \alpha, \beta, \gamma > 0 \quad (1)$$

La función de distribución de fallos acumulada.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\beta} \right)^\alpha}, \quad \alpha, \beta, \gamma > 0 \quad (2)$$

La función de Weibull determina la probabilidad de ocurrencia de fallo antes de realizar el mantenimiento preventivo, por ello, los parámetros de la función de Weibull

son entradas a los modelos de tres y cuatro estados. Para obtener la función de Weibull se debe realizar un ajuste de esta a partir de histórico de intervenciones. En el proyecto se ha digitalizado el proceso de obtención de los parámetros de la Weibull de forma que el GD recalcula los parámetros cada vez que se produce una nueva intervención. Para obtener esto el GD debe implementar el proceso de ajuste de la Weibull y la interacción con las variables de entrada y salida.

A continuación, se muestran el proceso de obtención de los parámetros para el modelo de tres estados. Para el mantenimiento predeterminado se ha supuesto que la vida garantizada es cero, esta aproximación hace que el ajuste de la Weibull sea menos preciso, sin embargo, el procedimiento de cálculo es más sencillo y el ajuste es más robusto frente a variaciones en los datos de entrada. Para el ajuste se utilizan dos métodos.

- El método de máxima verosimilitud (MLE) es el más usado. Admite correctamente datos censurado, pero presenta un procedimiento de cálculo más complejo.

- El método de mínimos cuadrados (LS) es un método más sencillo que se puede resolver gráficamente. Es necesario linealizar la función de probabilidad acumulativa de Weibull.

El GD implementa ambos métodos y después realiza una media ponderada utilizando como pesos de la ponderación la inversa de los errores estándares al cuadrado. Con esta solución se consigue que el ajuste de la Weibull se acerque más al método que tenga un menor error.

$$\alpha_{ponderado} = \frac{\alpha_{LS} \cdot \frac{1}{SE_{LS}^2} + \alpha_{MLE} \cdot \frac{1}{SE_{MLE}^2}}{\frac{1}{SE_{LS}^2} + \frac{1}{SE_{MLE}^2}} \quad (3)$$

$$\beta_{ponderado} = \frac{\beta_{LS} \cdot \frac{1}{SE_{LS}^2} + \beta_{MLE} \cdot \frac{1}{SE_{MLE}^2}}{\frac{1}{SE_{LS}^2} + \frac{1}{SE_{MLE}^2}} \quad (4)$$

E. Modelo de optimización de cuatro estados

Para albergar los datos y los modelos, se ha desarrollado una plataforma de gestión del dato basada en el concepto de Data Lakehouse. Esta plataforma admite datos estructurados, semiestructurados y no estructurados como en un Data Lake, obteniendo también la calidad, el rendimiento, la seguridad y la gobernanza del dato de una plataforma Data Warehouse.

En la plataforma se estructuran los datos en tres capas denominadas bronce, plata y oro, según la calidad de los datos que alberga. Desde el GMAO, sensores o bases de datos, los datos pasan a la capa bronce o plata. La capa bronce se compone de datos brutos. La capa plata son datos procesados y limpiados. En la capa oro están los datos enriquecidos. Los modelos de optimización extraen los datos de la capa de plata y ubica los resultados en la capa de oro. Los datos de estas dos capas se utilizan para ser presentados por las aplicaciones de visualización y apoyo a la decisión.

IV. CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado las bases para la digitalización de modelos de datos y de optimización y para su implementación en un GD. A continuación, se muestran algunas de las ventajas y soluciones de la implementación de GDs en el servicio de mantenimiento de equipos para infraestructura ferroviaria.

- En la primera parte se digitalizan las tareas relacionadas con la certificación de la actitud para el servicio. Estas tareas se realizaban de forma manual, con la digitalización se han obtenido una serie de mejoras.

- En primer lugar, se consigue un mayor control de los documentos e inspecciones recogiendo todos los archivos en el GD, de forma que se puede acceder a ellos de forma instantánea.

- La digitalización de las tareas del CAS reduce la probabilidad de fallo por parte del operario durante el desempeño de las tareas, ya que, la aplicación utilizada para el control de las actividades sirve guía para los operarios. Se indicará que actividades realizar, cómo realizarlas, las herramientas que se deben utilizar o qué operario puede ejecutar las tareas.

- Se han desarrollado los modelos utilizados para la optimización del intervalo preventivo óptimo de los mantenimientos predeterminados y basados en la condición. Es importante determinar correctamente a que activos aplicar cada una de las dos tipologías desarrolladas. Se escoge el modelo de cuatro estados para elementos a los que se le puede medir la degradación y la captura y análisis es económicamente rentable. Para elementos sujetos a degradación que no cumplan estas condiciones se aplica el modelo de tres estados. Hay que destacar la ventaja que supone la optimización del mantenimiento, ya que, esto genera un beneficio económico para la empresa.

- Por último, se han generado los modelos de datos para los modelos de optimización, el ajuste de la función de Weibull y el procedimiento de obtención del CAS, así como para las entidades que intervienen (taller, máquinas, herramientas, RRHH), desarrollando las variables de cada entidad, las relaciones entre variables, así como, la codificación de cada variable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo de la subvención PID2022-137748OB-C32 financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033

REFERENCIAS

- [1] A. Crespo Márquez, *La Gestión Digital del Mantenimiento*. Springer, 2022.
- [2] C. Hu, W. Gao, C. Xu, and K. Ben, "Study on the application of digital twin technology in complex electronic equipment," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020. doi: 10.1007/978-981-32-9441-7_14.
- [3] G. Mendes and A. Ferreira, "Extending the Multiphysics Modelling of Electric Machines in a Digital Twin Concept," in *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021*, 2021. doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660964.
- [4] A. Bustos, H. Rubio, E. Soriano-Heras, and C. Castejon, "Methodology for the integration of a high-speed train in Maintenance 4.0," *J Comput Des Eng*, vol. 8, no. 6, 2021, doi: 10.1093/jcde/qwab064.
- [5] A. Sánchez Herguedas, A. Crespo Márquez, and F. Rodrigo Muñoz, "Optimizing preventive maintenance over a finite planning horizon in a semi-Markov framework," *IMA Journal of Management Mathematics*, vol. 33, no. 1, 2022, doi: 10.1093/imaman/dpaa026.
- [6] A. Sánchez-Herguedas, A. Mena, A. Crespo-Márquez, and F. Rodrigo-Muñoz, "Finite Time Preventive Maintenance Optimization by Using a Semi-Markov Process with a Degraded State. A Case Study for Diesel Engines in Mining," *SSRN Electronic Journal*, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4308229.

Optimización de sistemas de distribución a través de nudos de potencia flexible y reconfiguración de la red

Jesús Clavijo-Camacho, Francisco J. Ruiz-Rodríguez, Reyes Sánchez-Herrera, Gabriel Gómez-Ruiz and Álvaro C. Álamo

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos
Universidad de Huelva

Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Campus El Carmen, Avda. de las Fuerzas Armadas, Huelva
jesus.clavijo@die.uhu.es, javier.ruiz@die.uhu.es, reyes.sanchez@die.uhu.es, gabriel.gomez@diesia.uhu.es, alvaro.delacruz@didp.uhu.es

Resumen- En este trabajo se propone una metodología que combina la reconfiguración de redes radiales con la integración de buses de potencia flexible para mejorar la eficiencia y reducir los costes de operación de las redes de distribución. Los buses flexibles agrupan microrredes y recursos distribuidos controlables aguas abajo de ese punto en la red. Este nudo actúa como un bus donde se centraliza el control y se consigue ajustar la potencia activa y reactiva dentro de los límites establecidos por la generación/demanda controlable disponible. La metodología, evaluada en el sistema de Kumamoto, reduce las pérdidas de potencia en un 43.9%, con ahorros significativos de los costes. Este resultado destaca los beneficios de incorporar buses de potencia flexibles en las redes radiales modernas, apoyándose así la integración de generación distribuida y microrredes controlables.

Palabras Clave- Reconfiguración en redes de distribución, Optimización, Bus de potencia flexible, Minimizar pérdidas de potencia.

I. INTRODUCCIÓN

La integración de generación distribuida (GD) en el sistema eléctrico está transformando la operación tradicional de los sistemas de distribución. Estas tecnologías introducen nuevos niveles de flexibilidad y control, lo que permite una mejor gestión de los flujos de potencia [1]. A medida que crece la penetración de fuentes de energía renovable, junto con los avances en almacenamiento de energía y la gestión de la demanda, el enfoque centralizado tradicional en la distribución de energía está evolucionando hacia un modelo más descentralizado y dinámico.

Las microrredes, que suelen incluir unidades de GD, almacenamiento de energía y cargas controlables, pueden operar de forma autónoma o en coordinación con la red principal. Cuando están conectadas a la red de distribución, la agregación de múltiples microrredes en puntos específicos permite que los operadores del sistema ajusten los flujos de potencia de manera dinámica, mejorando tanto la optimización local como la eficiencia y estabilidad general de la red [2].

Históricamente, el ajuste de potencia en los sistemas de distribución se ha utilizado principalmente para la gestión de contingencias, reaccionando ante eventos inesperados para mantener la estabilidad. Sin embargo, con el aumento en la complejidad y la variabilidad de los sistemas eléctricos modernos, surge la necesidad de estrategias proactivas que

aprovechen la flexibilidad de las microrredes y los recursos distribuidos para optimizar el rendimiento de la red en condiciones de operación normales. Este cambio de una gestión reactiva a una proactiva requiere de nuevas metodologías capaces de reconfigurar la red de manera dinámica y optimizar los flujos de potencia para reducir los costes de operación, minimizar las pérdidas y mantener la estabilidad en las tensiones a lo largo de la red.

II. BUS DE POTENCIA FLEXIBLE

Un bus de potencia flexible es un punto central en la red eléctrica que permite gestionar de manera centralizada un conjunto de instalaciones distribuidas, normalmente organizadas en microrredes. Al conectar varias microrredes a la red principal, se crea un nudo central conocido como Punto de Acoplamiento Común (PCC). Este PCC actúa como un bus flexible que permite ajustar de forma agregada la potencia activa y reactiva, facilitando al operador un control centralizado de los flujos de potencia de todas las instalaciones conectadas aguas abajo.

La flexibilidad del bus se logra integrando diversos recursos de energía distribuida (DER) y cargas controlables. Por ejemplo, las cargas termostáticas pueden ajustarse sin afectar al confort del usuario, permitiendo variaciones controladas en el consumo. Los paneles fotovoltaicos y las pequeñas turbinas eólicas pueden ser reguladas mediante ajustes en sus puntos de operación, como el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Además, los sistemas de almacenamiento, ya sean baterías estacionarias o vehículos eléctricos, pueden aportar flexibilidad al inyectar o absorber potencia según la demanda de la red. Las cargas diferibles y/o controlables, como lavadoras, pueden programarse en periodos de menor demanda o mayor generación renovable.

En el modelado de estos buses flexibles, estos se representan como buses PQ, pero con valores de potencia activa y reactiva que pueden variar dentro de límites predefinidos $\{P_{max}, P_{min}\}$ y $\{Q_{max}, Q_{min}\}$, según la capacidad de generación y demanda en el PCC.

En la práctica, para optimizar el sistema, el operador podría identificar los posibles buses flexibles evaluando los diferentes PCC, así como los márgenes específicos de ajuste de potencia disponibles en cada bus.

III. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para optimizar los sistemas de distribución se basa en la reconfiguración de la red y la incorporación de buses flexibles, con el objetivo de reducir los costes de operación de la red, que, para este estudio, estos costes se centran en los asociados a las pérdidas de potencia y al uso de potencia flexible. La metodología se divide en tres etapas principales: Flujo de cargas, algoritmo de reconfiguración y el problema de optimización.

A. Flujo de cargas

Los sistemas de distribución suelen operar en una configuración radial, que favorece la simplicidad, la reducción de costes y la fácil detección de fallos [3]. En este análisis, la red se modela con componentes clave como buses (donde se integra la carga y la generación) y líneas de transmisión. Los buses se clasifican en tres tipos: el Bus Raíz (establece la tensión de referencia), el Bus PQ (definido por potencias activa y reactiva) y el Bus PV (por potencia activa y tensión). Las líneas de transmisión se representan mediante un circuito equivalente π , lo que permite modelar la resistencia y reactancia de cada línea.

Para calcular los flujos de potencias, se aplican las leyes de Kirchhoff. En estos sistemas dados que son radiales, el algoritmo de cálculo usado es el llamado barrido hacia adelante/atrás (forward/backward sweep algorithm). Para mejorar la eficiencia del cálculo de este algoritmo de barrido se usa su forma matricial, llamado método de las matrices [4] BIBC (Bus Injection to Branch Current), BCBV (Branch Current to Bus Voltage) y DLF. La matriz DLF, producto de las matrices BIBC y BCBV, proporciona una forma simplificada de calcular caídas de tensión sin pasos intermedios, y permanece constante mientras no cambie la topología de la red.

B. Algoritmo de reconfiguración

La reconfiguración de redes radiales busca modificar la topología de la red abriendo o cerrando interruptores de las líneas, manteniendo la estructura radial. Esta reconfiguración ayuda a minimizar pérdidas, mejorar la eficiencia y mantener el suministro durante fallos o mantenimientos [5].

En este trabajo, mediante la teoría de grafos, la red se modela como un grafo donde los nodos representan los buses y las ramas las líneas de transmisión. Esto permite identificar y eliminar rutas redundantes (ciclos) y calcular configuraciones viables. El proceso de reconfiguración se divide en cinco pasos clave:

1. Representación del grafo: Construcción de un grafo usando funciones de MATLAB (*graph*) [6], con una matriz de adyacencia para describir la conectividad.
2. Identificación de los ciclos fundamentales: Uso de la función *cyclebasis* de MATLAB para identificar rutas redundantes que se eliminan para mantener la estructura radial.
3. Generación de configuraciones radiales: Eliminación de las ramas de los ciclos identificados para crear todas las configuraciones radiales posibles.
4. Verificación de radialidad: Descarte de configuraciones con ciclos usando *cyclebasis*.
5. Organización de los buses y reorientación de las Ramas: Para cada sistema reconfigurado, es necesario reorganizar los buses por capas para reflejar la estructura jerárquica de la red. También es necesario reorganizar el

vector From/To en los datos de las líneas para cada reconfiguración posible.

C. Formulación del problema de optimización

Una vez identificadas las reconfiguraciones radiales, se inicia el proceso de optimización para minimizar los costes de cada sistema. El problema de optimización ajustará los niveles de P y Q en cada bus flexible. Los principales elementos de la optimización son:

Variable de decisión

Las potencias activas (P) y reactivas (Q) de los buses flexibles, que permiten responder a la necesidad de minimizar la función objetivo.

$$\begin{aligned} P_{nudo\ flexible\ i} \\ Q_{nudo\ flexible\ i} \end{aligned} \quad (1)$$

Función Objetivo

Minimizar los costes totales, que incluyen los asociados a las pérdidas de potencia activa y al uso de potencia flexible en los buses flexibles.

$$\text{Minimize } C_{total} = C_{PP} \cdot P_{TS} + C_{PF} \cdot S_{FTU} \quad (1)$$

Donde:

- P_{TS} representa las pérdidas totales de potencia activa del sistema.
 - S_{FTU} representa la potencia flexible total usada para optimizar el sistema.
 - C_{PP} es el coste asociado a las pérdidas de potencia.
 - C_{PF} es el coste asociado al uso de potencia flexible.
- La potencia flexible S_{FTU} se define como:

$$S_{FTU} = \sqrt{(P_{FTU})^2 + (Q_{FTU})^2} \quad (3)$$

Los valores de P_{FTU} y Q_{FTU} se calcula de la siguiente forma:

$$P_{FTU} = |P_{base\ inicial} - P_{nudo\ flexible\ i}| \quad (4)$$

$$Q_{FTU} = |Q_{base\ inicial} - Q_{nudo\ flexible\ i}|$$

Restricciones

Ecuaciones de flujo de carga: Garantizan el balance de potencia en cada bus.

$$P_i = V_i \sum_{n=1}^N [V_n (G_{in} \cos \delta_{in} + B_{in} \sin \delta_{in})] \quad (5)$$

$$Q_i = V_i \sum_{n=1}^N [V_n (G_{in} \sin \delta_{in} - B_{in} \cos \delta_{in})]$$

Rango de potencia en los buses flexibles: Los valores de potencia están limitados por un rango máximo y mínimo.

$$P_{min} \leq P_{nudo\ flexible\ i} \leq P_{max} \quad (6)$$

$$Q_{min} \leq Q_{nudo\ flexible\ i} \leq Q_{max}$$

Tensión: Las tensiones en los sistemas optimizados deben mantenerse dentro de unos límites seguros.

$$V_{min} \leq V_{nudo\ i} \leq V_{max} \quad (7)$$

Tabla I
RANGO DE VALORES DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA PARA LOS BUSES FLEXIBLES, SISTEMA KUMAMOTO

Número del bus	Intervalo sobre el valor inicial (%)	Potencia activa (P) (p.u.)			Potencia Reactiva (Q) (p.u.)		
		Valor mínimo	Valor inicial (base)	Valor máximo	Valor mínimo	Valor inicial (base)	Valor máximo
4	50	0.0479	0.0958	0.1437	0.0049	0.0098	0.0147
5	50	0.0066	0.0132	0.0198	0.0007	0.0014	0.0021
10	50	0.01615	0.0323	0.04845	0.00165	0.0033	0.00495
11	50	0.00805	0.0161	0.02415	0.0008	0.0016	0.0024
15	50	0.1085	0.2170	0.3255	0.011	0.0220	0.033

Optimizador

La función *fmincon* de MATLAB resuelve el problema utilizando el algoritmo de punto interior, que garantiza una solución óptima cumpliendo las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker (KKT).

IV. PROCEDIMIENTO COMPLETO

El procedimiento inicia desde una configuración radial base del sistema y, que, en primer lugar, identifica los buses con flexibilidad en demanda y generación, así como las ramas adicionales disponibles para posibles reconfiguraciones. A partir de esta base, el algoritmo de reconfiguración genera sistemáticamente todas las configuraciones radiales viables mediante la inclusión de estas ramas adicionales, asegurando que cada nueva configuración mantenga la estructura radial. Se denomina "ramas adicionales" a aquellas líneas eléctricas que, aunque están desconectadas del sistema de distribución mediante interruptores, pueden integrarse en cualquier momento en la red cuando sea necesario.

Cada configuración radial generada pasa al problema de optimización, donde se ajustan los valores de potencia activa (P) y reactiva (Q) en los buses flexibles, cumpliendo con los límites de potencia y niveles de tensión establecidos. Este problema evalúa cada configuración en función de su coste total, buscando minimizar tanto las pérdidas de potencia como los costes de uso de la potencia flexible. La configuración con el valor de función objetivo más bajo se selecciona como la topología óptima.

V. CASO DE ESTUDIO: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE KUMAMOTO

El sistema de distribución llamado Kumamoto consta de 15 buses, con un bus raíz y 14 buses PQ, operando a 6.6 kV y una potencia base de 10 MVA. Todos los datos correspondiente al sistema original se encuentra en [7]. Para este estudio, se añadieron ramas adicionales al sistema, Tabla II, lo que permite la reconfiguración de la red. Además, se seleccionaron 5 buses como buses de potencia flexible, tomando como referencia (potencia base) la potencia PQ inicial del sistema de Kumamoto. En la Tabla I, se puede observar la potencia base, así como el margen de valores que puede optar la variable de decisión. En la figura 1 se tiene el sistema de Kumamoto con los buses de potencia flexible y ramas adicionales identificadas.

La optimización, tal y como se indicó, trata de minimizar los costes totales, que incluyen pérdidas de

Tabla II
DATOS DE LAS LÍNEAS ADICIONALES RED KUMAMOTO

Nudo inicio	Nudo final	R(p.u.)	X(p.u.)
6	14	0.0607	0.00754
15	8	0.00732	0.01694
3	13	0.0307	0.032346
2	10	0.0012	0.022

potencia activa y el uso de potencia flexible, con un coste de 0.4 EUR/kW para pérdidas y 0.04 EUR/kVA para el uso de potencia flexible.

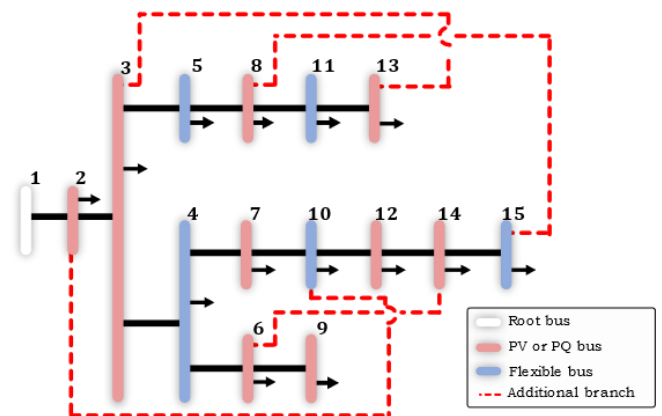


Fig.1. Topología del sistema de Kumamoto con ramas adicionales y buses de potencia flexible.

Durante el proceso, se identificaron 432 configuraciones viables y se optimizaron todas ellas; el sistema número 175 resultó ser el óptimo. En la figura 2 se muestra el sistema óptimo 175, con la desconexión de las líneas 4-7 y 8-11, y conexiones en las líneas 2-10 y 3-13 con respecto al sistema de kumamoto inicial de la figura 1. El sistema base (inicial) presenta unas pérdidas de potencia de 64.85 kW con un coste de 25.94 EUR. En cambio, el sistema óptimo reduce las pérdidas a 28.5 kW y el coste a 11.41 EUR, logrando una disminución de pérdidas del 43.9% respecto al sistema inicial, con un uso mínimo de potencia flexible. El optimizador no considera el uso de potencia flexible para minimizar los costes.

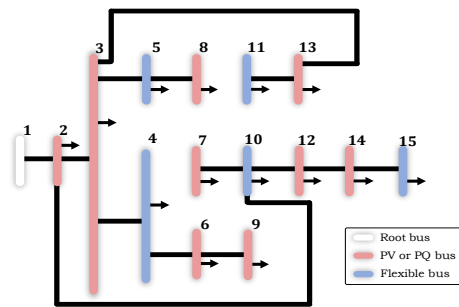


Fig.2. Sistema óptimo reconfigurado número 175.

La figura 3 muestra los costes totales asociados a cada configuración optimizada. Se puede observar en la figura 3 que el sistema número 175 es el que menores costes presenta, señalado con un punto rojo.

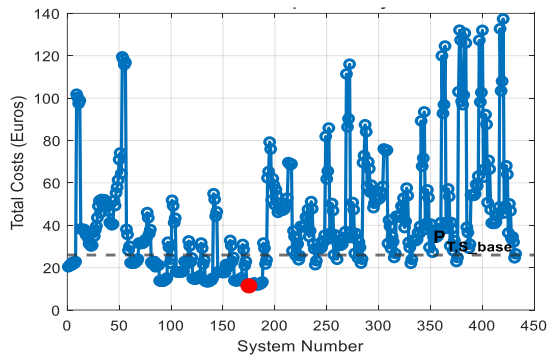


Fig.3. Valor de los costes totales en cada sistema reconfigurado y posteriormente optimizado.

En la figura 4 se compara el coste total de los sistemas optimizados, tanto con el uso de potencia flexible (en naranja) como sin el uso de potencia flexible (en azul).

En configuraciones con un coste superior a aproximadamente 80 EUR, el uso de potencia flexible permite una reducción significativa de los costes totales, lo cual confirma que el algoritmo usa potencia flexible de manera estratégica, sólo cuando resulta ser económicamente beneficioso.

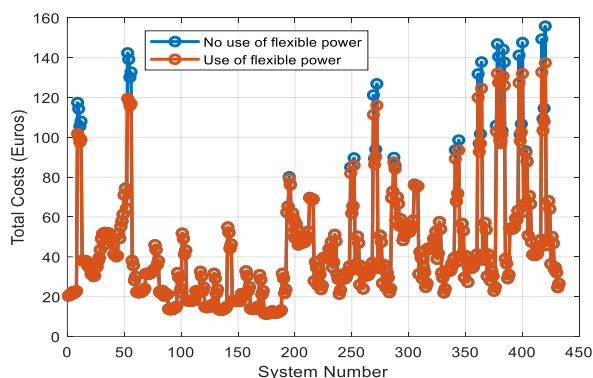


Fig.4. Costes totales de los sistemas reconfigurados: en azul sin potencia flexible y en naranja con optimización mediante potencia flexible.

CONCLUSIONES

En conclusión, este trabajo demuestra el valor de los buses de potencia flexibles y la reconfiguración de redes para optimizar los sistemas eléctricos de distribución. La metodología propuesta combina la flexibilidad de los buses

con algoritmos de reconfiguración de topología, permitiendo que el sistema de distribución se adapte eficazmente a las necesidades de ahorro energético. Al centralizar el control de microrredes y recursos distribuidos, los buses de potencia flexible facilitan una gestión más coordinada de la energía, optimizando tanto los perfiles de tensión como los flujos de potencia en la red.

El caso práctico aplicado al sistema de Kumamoto evidencia que, al analizar 432 configuraciones posibles, se logró identificar una topología óptima que redujo las pérdidas de potencia en un 43,9% respecto al sistema inicial, reflejando una notable disminución en los costes de operación del sistema.

Esta metodología es adaptable y útil para diferentes tipos de redes eléctricas y subraya la importancia de contar con sistemas de control que permitan anticiparse a cambios en la red. La incorporación de buses de potencia flexible centraliza el control de generación y consumo, facilitando el ajuste dinámico del sistema eléctrico actual conforme a las necesidades de demanda y generación.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo forma parte del proyecto "Sistema de control integral para optimizar la demanda energética de microrredes", número de subvención PID2020-117828RB-I00, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España. El autor Gabriel Gómez-Ruiz disfruta de una beca FPU, número FPU21/00468, financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. El autor Jesús Clavijo-Camacho disfruta de una beca de investigación INVESTIGO financiada por la Unión Europea-NextGenerationEU.

REFERENCIAS

- [1] W. Shi, X. Xie, C.-C. Chu, y R. Gadh, «Distributed Optimal Energy Management in Microgrids», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, n.º 3, pp. 1137-1146, may 2015, doi: 10.1109/TSG.2014.2373150.
- [2] P. Hu, H. Chen, C. Chen, y X. Liu, «Optimal integration of microgrid for distribution network», en *2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, nov. 2015, pp. 1-5. doi: 10.1109/APPEEC.2015.7381011.
- [3] S. Chandramohan, R. P. Kumudini Devi, y D. B. Venkatesh, «Reliable Reconfiguration of Radial Systems - an Analysis», en *2005 Annual IEEE India Conference - Indicon*, dic. 2005, pp. 148-151. doi: 10.1109/INDCON.2005.1590143.
- [4] Jen-Hao Teng, «A direct approach for distribution system load flow solutions», *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 18, n.º 3, pp. 882-887, jul. 2003, doi: 10.1109/TPWRD.2003.813818.
- [5] R. M. Kumar y K. Thanushkodi, «Network reconfiguration and restoration in distribution systems through opposition based differential evolution algorithm and PGSA», en *2013 International Conference on Current Trends in Engineering and Technology (ICCTET)*, jul. 2013, pp. 284-290. doi: 10.1109/ICCTET.2013.6675967.
- [6] «graph - Graph with undirected edges - MATLAB - MathWorks España». Accedido: 25 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/graph.html>
- [7] N. K. Roy, H. R. Pota, y A. Anwar, «A new approach for wind and solar type DG placement in power distribution networks to enhance systems stability», en *2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference*, Melaka, Malaysia: IEEE, jun. 2012, pp. 296-301. doi: 10.1109/PEOCO.2012.6230878.

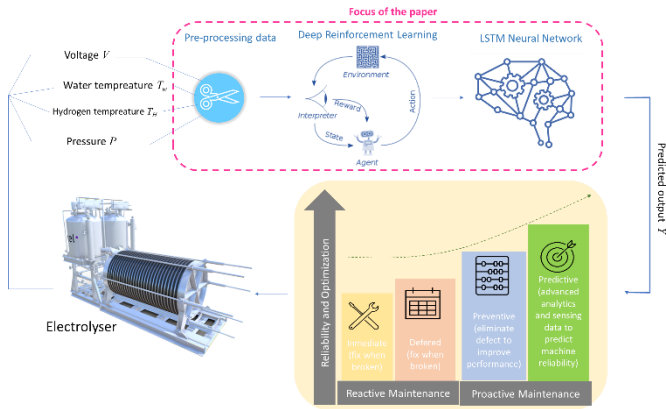


Fig 2 Graphical Layout of the concept of this study.

The plant consists of a proton exchange membrane (PEM) electrolyser. The design, implementation, and control of the balance of plant (BoP) has been developed in a previous work of authors [4]. Figure 3 shows a detail of the BoP with various sensor measurement. The sensor data used in this current study are highlighted and are the hydrogen pressure transmitter (PT112), hydrogen temperature transmitter (TT121), stack voltage (V), and cooling water temperature transmitter (TT105).

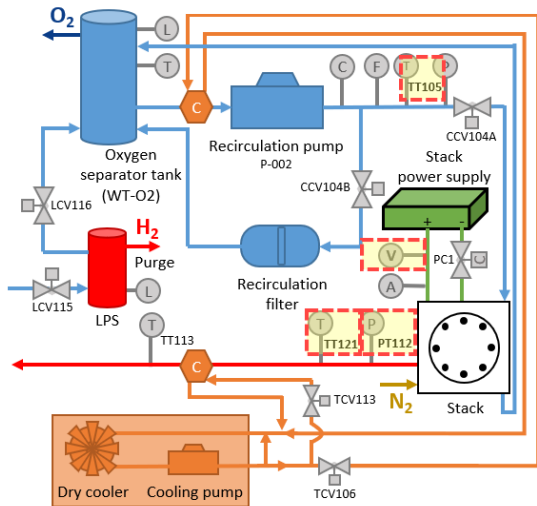


Fig 3. BoP of the PEM electrolyser showing sensors used in this study

Considering the importance of temperature in the degradation of electrolyzers [5], the authors have selected the hydrogen temperature sensor TT121 data to be predicted in the event of failure, to be used for predictive maintenance. The methodology of this paper is divided into four phases which are:

- Phase 1: Pre-processing of selected sensor data.
- Phase 2: Defining the problem of feature selection.
- Phase 3: Develop a DRL algorithm for feature selection.
- Phase 4: Develop a LSTM neural network for prediction of hydrogen temperature TT121.

A. Phase 1: Pre-Processing input data

The measured electrolyser process data are shown in Figure 4 and are often referred to as *features*. Before using these data in the artificial intelligent model to be developed,

there is a need pre-process them to ensure that one feature will not have greater impact on the other during prediction.

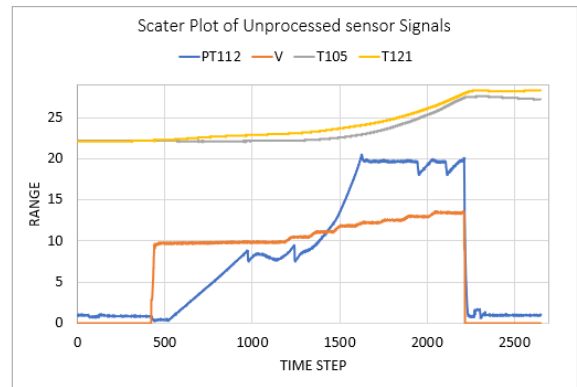


Fig 4. Experimental data recorded from the PEM electrolyser

Pre-processing of sensor data is basically a process of standardizing them, to ensure accuracy of prediction. This is done as in Eq (1).

$$\text{Standardization} = \frac{\text{Sensor Data}(\text{feature}) - \text{Mean}}{\text{Standard deviation}} \quad (1)$$

After pre-processing, the data is standardized as shown in Figure 5.

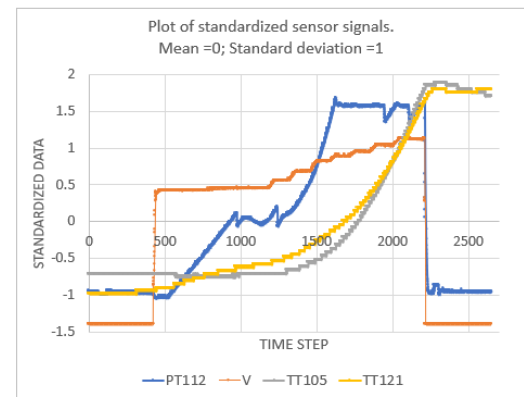


Fig 5. Standardized process data of the PEM electrolyser

B. Phase 2: Defining the problem of Feature Selection

Since hydrogen temperature TT121 is the desired sensor data to be predicted, its relationship with other sensor data (features) is to be determined such that we are able to select the feature with the highest correlation to the hydrogen temperature sensor TT121. The entire feature set for this case study are $\{[PT112], [TT105], [V], [PT112 TT105], [PT112 V], [TT105 V], [PT112 TT105 V]\}$. We are interested in determining which of these feature combinations will give the greatest prediction accuracy when fed into the intelligent predictive maintenance model that will be developed.

A tedious and time-consuming process would be to take each subset of the features, feeding it into the predictive model and check the root-mean-square error (RMSE). This manual approach can become even more complicated with features running into tens, hundreds or more from the dataset of electrolyzers. AI will be used to solve this problem in phase 3.

C. Phase 3: DRL for feature selection

The DRL is a subcategory of reinforcement learning within the parent body of AI [6]. In a DRL, an intelligent agent selects the

best actions to achieve an intended objective which is defined within the memory of the agent. The agent takes various actions in an environment and makes observations. The feedback of observations is used by the reinforcement learning policy within the agent to adjust the action and obtain the desired objective. The structure of the DRL algorithm is shown in Figure 6.

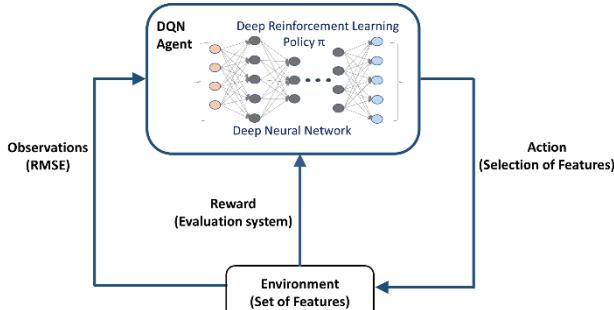


Fig 6. The basic concept of a DRL

For feature selection, the task of the agent will be to select the best subset of features that has the highest correlation to the hydrogen temperature variable (TT121) and will consequently give the most accurate prediction. The whole set of features is the environment within which the agent operates while an algorithm within the agent evaluates the benefit of the feature selected. Before the agent begins to search through the features, it needs to be trained on how to recognise the actions that provide the maximum reward and others that take away the reward (penalise) when bad action is taken. The algorithm for executing the concept of DRL is shown and it is implemented in MATLAB programming software.

- Step 1:** Input data consisting of features: pressure [PT112], cooling water temperature [TT105], stack voltage [V], and hydrogen temperature [TT121].
- Step 2:** Normalise each feature
- Step 3:** Create and train an initial deep neural network (LSTM) with [TT121], as both input and output.
- Step 4:** Obtain the matrix consisting of the subset of features. Subset 1 = [PT112]; Subset 2 = [TT105], Subset 3 = [V]; Subset 4 = [PT112, TT105], Subset 5 = [PT112, V]; Subset 6 = [TT105, V]; Subset 7 = [PT112, V, TT105].
- Step 5:** For feature subsets having two or more sensor data, obtain a single representation using mean function.
- Step 6:** Create the DRL environment consisting of features
- Step 7:** Create a DRL agent and define discrete actions for the agent as scalar vector
- Step 9:** Define the reward system for the agent based on minimizing root mean squared errors (RMSE):
If action results in minimum RMSE difference
Then reward = 2
Else
Reward = -1
End if
- Step 10:** Train the RL agent
- Step 11:** For: each stochastic action taken by the agent,
receive observations from the environment model: error (RMSE)
Calculate the reward of the selected action.
If reward > 0, then
Store feature selected by the agent
Else
Take another action to select another feature from the subset

Endif
End

D. Phase 4: LSTM

Development of the AI concept for maintenance is further implemented with the aid of a robust LSTM neural network [6] shown in Figure 7. This LSTM neural network will be used to predict the hydrogen temperature TT121 in the event of sensor failure.

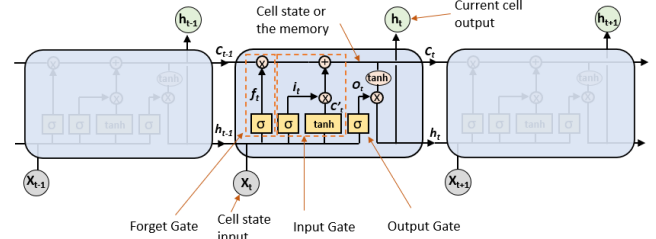


Fig 7. The basic concept of an LSTM

LSTM neural networks belong to the category of supervised learning under machine learning and are configured from three gates to store both present and historical information after it has been trained with input data. The relevant equation for each gate is as follows:

$$\begin{aligned}
 \text{Forget Gate: } f_t &= \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) & (2) \\
 \text{Input Gate: } i_t &= \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) & (3) \\
 \text{Output Gate: } O_t &= \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) & (4) \\
 \text{Candidate value } C'_t &= \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) & (5) \\
 \text{Cell State: } C_t &= f_t * C_{t-1} + i_t * C'_t & (6) \\
 \text{Hidden State: } h_t &= \sigma_t * \tanh(C_t) & (7)
 \end{aligned}$$

Where t is the time step, b , is a bias added for each gate, W_f , W_i , and W_o are the weight of each gate, h_t and h_{t-1} , are the output for the hidden layers in time steps t and $t-1$, respectively. x_t , is the input at time t and σ is the sigmoid activation function.

MATLAB code is used to design the LSTM and then to train it. The first training result is evaluated by checking the root mean-squared error (RMSE).

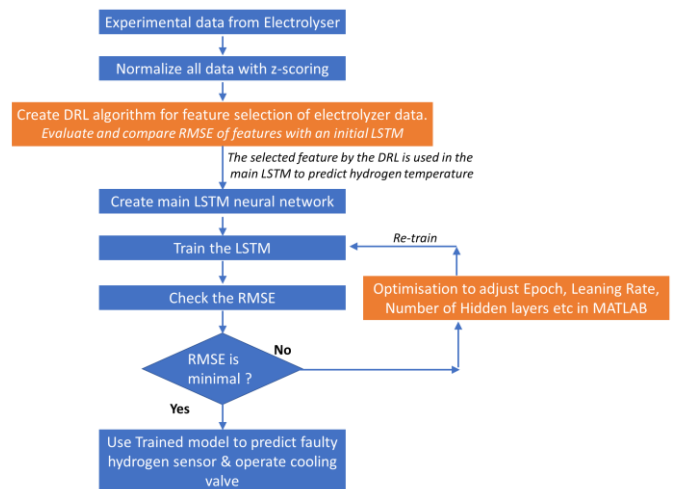


Fig 8. Flowchart for implementing the AI-based algorithm

If RMSE of the correlation between the selected feature and the target variable is minimal, then the LSTM is ready for using

the selected feature to predict the critical variable (hydrogen temperature TT121). If not, the training parameters are adjusted again to obtain an optimum value of RMSE. The entire process is shown in Figure 8. The overall layout showing the interaction between the DRL algorithm hybridised with LSTM neural network for use in the electrolyser control system is shown in Figure 9.

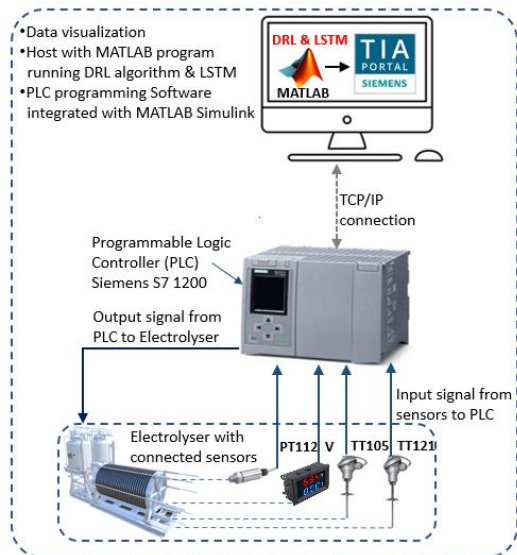


Fig 9. Overview of the implementation of AI-based system for maintenance in PEM electrolyser plant

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The DRL model developed was able to select the cooling water temperature [TT105] as the one with the highest correlation coefficient of 0.99 to the hydrogen temperature sensor TT121. The TT105 data was divided into 90% for training and 10% for testing and used as input in the LSTM neural network developed to predict hydrogen temperature. During training, parameters shown in Figure 10 are adjusted to obtain the lowest training RMSE value of 0.09.

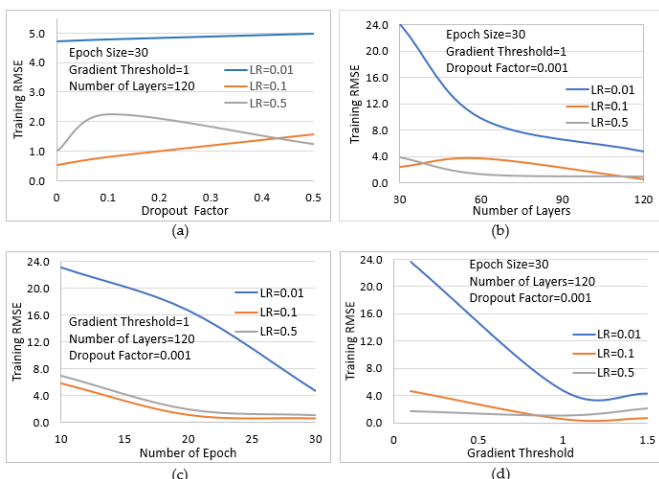


Fig 10. Optimisation of parameters of the LSTM during training

After training, the optimum parameters are selected and used with the test data to predict TT121 sensor data. The result of the test prediction has an accuracy of 0.1351 which closely matches the actual sensor as shown in Figure 11.

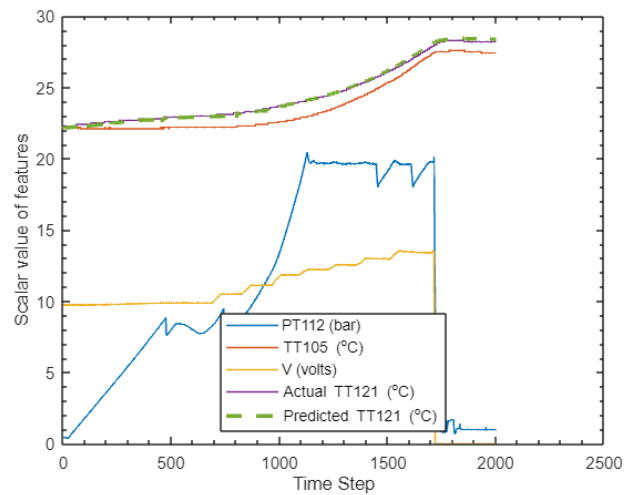


Fig 11. Comparison between the actual sensor data (target variable hydrogen sensor TT121) and the output signal predicted by the developed AI system

V. CONCLUSIONS

In this work, a novel DRL algorithm has been hybridized with LSTM neural network to apply artificial intelligence-based maintenance in electrolysers. The DRL algorithm was able to select the feature that can best predict the hydrogen temperature sensor data. The selected feature is then used in an LSTM neural network to predict the target variable (hydrogen temperature sensor TT121). The AI-based system data can be used in predictive maintenance models for accurate prediction of target variables even if the actual sensor fails.

ACKNOWLEDGEMENT

This work has been carried out thanks to the support of (1) Grant Ref. PID2023-148456OB-C41 and (2) Grant Ref. RED2022-134588-T found by MICIU/AEI /10.13039/501100011033.

REFERENCES

- [1] R. Salama, C. Altrjman, F. Al-Turjman, S. P. Yadav, and S. Vats, "Overview of Energy Harvesting and Sustainability in Smart Cities," in *2023 3rd International Conference on Advancement in Electronics and Communication Engineering, AECE 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 390–392. doi: 10.1109/AECE59614.2023.10428140.
- [2] J. Rey, F. Segura, J. M. Andújar, and A. M. Ferrario, "The Economic Impact and Carbon Footprint Dependence of Energy Management Strategies in Hydrogen-Based Microgrids," *Electronics*, vol. 12, no. 17, Sep. 2023, doi: 10.3390/electronics12173703.
- [3] P. Nunes, J. Santos, and E. Rocha, "Challenges in predictive maintenance – A review," Feb. 01, 2023, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.cirpj.2022.11.004.
- [4] J. J. Caparrós, F. J. Vivas, F. Segura, and J. M. Andújar, "Optimized Balance of Plant for a Medium-size PEM Electrolyzer.," *SNE Simulation Notes Europe*, vol. 31, no. 3, pp. 133–141, 2021, doi: 10.11128/sne.31.tn.10574.
- [5] M. Chandesris, V. Médeau, N. Guillet, S. Chelghoum, D. Thoby, and F. Fouda-Onana, "Membrane degradation in PEM water electrolyser," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 3, pp. 1353–1366, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.ijhydene.2014.11.111.
- [6] A. Abiola, F. S. Manzano, and J. M. Andújar, "A Novel Deep Reinforcement Learning (DRL) Algorithm to Apply Artificial Intelligence-Based Maintenance in Electrolysers," *Algorithms*, vol. 16, no. 12, Dec. 2023, doi: 10.3390/a16120541.

Design of a high-current AEM electrolytic cell in absence of precious metals

Promoting Scientific, Technological and Innovation Culture in Smart Cities

Manuel Ángel González Rodríguez, Cirilo Delgado Asencio, Abiodun Abiola, Francisca Segura Manzano and José Manuel Andújar Márquez
Department of Electronic Systems Engineering and Automatics
University of Huelva (CITES)

Carr. Huelva-Palos de la Frontera, s/n 21810 Palos de la Frontera, Huelva
manuelangel.gonzalez@diesia.uhu.es, cirilo.delgado@pi.uhu.es, abiodun.abiola@alu.uhu.es,
francisca.segura@diesia.uhu.es, andujar@diesia.uhu.es

Abstract- Society is currently facing a severe climate and energy crisis, which has driven the advancement of cleaner and more sustainable technologies. Among the various options available, hydrogen has emerged as a highly important energy carrier, valued both for its direct use as a fuel and its environmental benefits. This has led to the development of increasingly sophisticated electrolysis systems for hydrogen production. The primary goal of this paper is to design an AEM electrolyser that operates without precious catalysts, capable of achieving high current densities and, consequently, high efficiency. To address this challenge, both a fluid dynamics and engineering study of the process will be conducted, along with the development of the electrolyser itself. This approach will enhance understanding of electrolyte behavior within the system and outline the steps needed to scale the electrolyser from laboratory to industrial applications.

Palabras Clave- Hydrogen technology, AEM electrolytic cell, free precious catalyser, high density current, experimental testing

I. INTRODUCTION

The main electrolysis technologies in use today include alkaline electrolysis (AE), proton exchange membrane (PEM) and anion exchange membrane (AEM) systems. AE is the most widely recognized and utilized method globally, relying on highly concentrated alkaline electrolytes, typically around 20-30% KOH. In contrast, PEM technology uses acidic membranes instead of a liquid electrolyte, which facilitates the transport of H^+ ions generated during the process from the anode to the cathode. While AE and PEM are both established, AEM technology presents promising opportunities due to its many advantages [1,2].

AEM electrolysers function in alkaline environments, similar to AE, but feature a membrane that allows hydroxyl ions generated in the cathode compartment to move toward the anode. This setup enhances the reaction in the anode region. Essentially, AEM technology combines elements of both AE and PEM systems, using alkaline environments and exchange membranes. However, AEM electrolysers work with lower alkaline concentrations (0.1-1% KOH) than AE electrolysers, do not require water of as high a purity as PEM electrolysers and operating conditions can be optimised to avoid the use of precious catalysts [3,4]. A schematic of an AEM electrolyser is shown in Fig. 1.

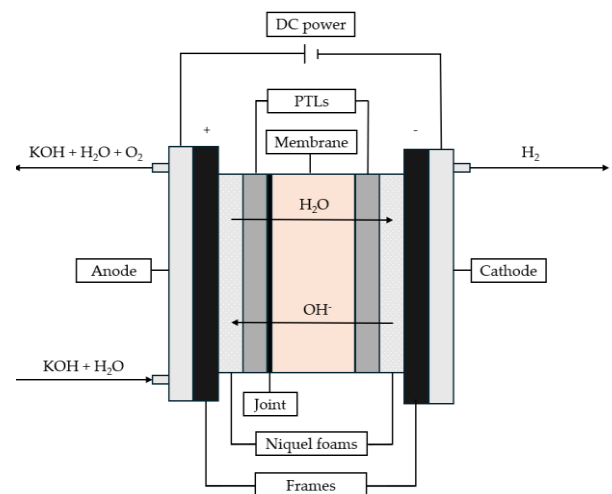


Fig. 1. Scheme of a AEM electrolytic cell.

II. OBJECTIVES

The main objective of this research is to develop an AEM electrolysis stack that operates without precious catalysts and achieves high current densities (around 500 mA/cm^2) at a low voltage requirements (around 2.3-2.4V). To achieve this goal, several secondary objectives have been established:

1. Design an AEM electrolysis stack using new materials and an alternative internal geometry to enhance the electrochemical reaction.
2. Perform appropriate pretreatment and conditioning of the MEAs to improve activation and operation, thereby reducing activation losses that may occur during the process.
3. Conduct a complementary fluid dynamics study to analyze the behavior of the electrolyte within the system and identify potential strategies to ensure uniform fluid distribution in future applications.

III. MATERIALS AND SOFTWARE

The materials and software used in this study were the following:

- 400 ml and 1000 ml beakers, Kenzium.
- 1000 ml volumetric flask, Simax.
- Magnetic stirrer, Anzeser® ($\omega = 0-3500$ rpm).
- Analytical laboratory balance, WELLiSH (max = 2000 g, d = 0.01 g).
- Potassium hydroxide, KOH, Alquera, p.a = 90%.
- Milli-Q water, HYDROLAB ($\rho = 18.2 \mu\Omega \cdot \text{cm}$).
- Anion Exchange Membranes (NDA).
- Carbon clothes (NDA).
- Porous transport layers (NDA).
- Niquel foams (NDA).
- PETG frames (NDA).
- Electrolyze components and Balance of Plant system (NDA).
- Software Ansys 2024 R1 Student Version.

A general schematic of the workbench used and some of its main components is shown in Fig. 2 below. The workbench has been designed by our research centre (CITES) and is one of the few models available nationally for testing AEM electrolysis stacks.

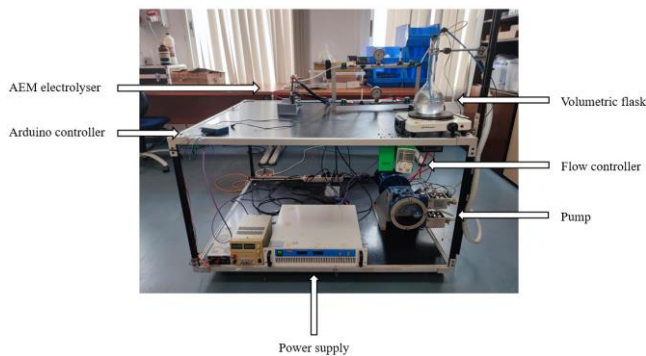


Fig.2. Workbench designed by CITES.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained from the improved design of the AEM electrolysis stack are shown below, considering that the exact value of the experimental data and some information will not be given due to confidentiality agreements (NDA). Our objective is to reach 500 mA/cm^2 per cell, for which a new frame model was designed (new geometry and material, PETG) and a new element was added to the initial design of the AEM electrolysis stack, carbon clothes. In Fig. 3, it can be seen how the attempts made on authors electrolysis stack model were far from the current density values of the commercial model.

Carbon clothes are flexible and have a high mechanical resistance, which reduces the expansions and contractions that occur during the operation of the electrolysis stack, especially when there are changes in temperature and pressure [5]. However, the results obtained were not as expected. Analyzing other scientific studies, authors observed that low current density is primarily due to two main issues: inadequate activation of the MEA (activation problem) or losses from electrical resistance (ohmic problem) [6,7]. In order to reduce the losses in the activation part and the ohmic part, two fundamental improvements of the system were carried out. Firstly, authors tried to repeat the previous test by replacing all the internal components of the

electrolyser with new ones, in addition to carrying out a pre-treatment of the MEAs for several days under basic conditions (KOH 0.1M at 25°C). When internal components of the electrolyser are new, especially the PTLs and membrane, there is no wear or contamination that could clog the flow channels or impair ionic conduction. This ensures that electrons and ions can move more easily between the electrodes, resulting in higher system efficiency. The cleanliness and uniformity of the new materials help to minimise energy losses due to internal resistance [8].

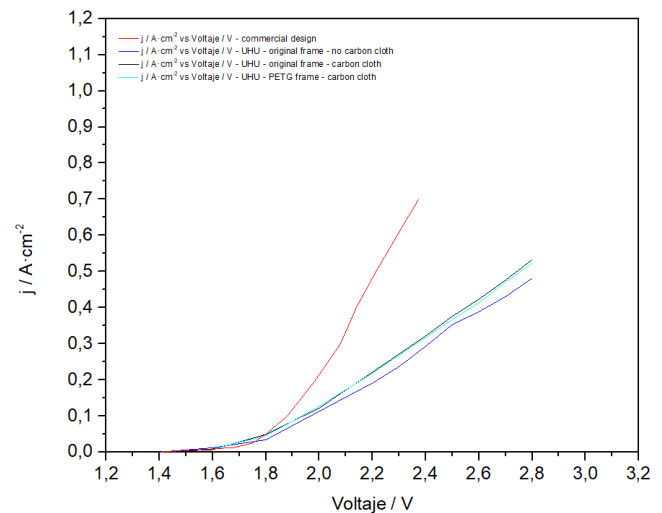


Fig.3. Current density (mA/cm^2) vs voltage (V).

On the other hand, an increase in current density is expected by increasing the area of the collector contact section due to the improved current distribution and flow through the electrodes. The current collectors are responsible for collecting and transferring electrons from the electrode to the external circuit, so their contact area has a significant impact on the performance of the system. By increasing the contact area between the current collectors and the electrodes, the efficiency of electron transport is improved [9,10].

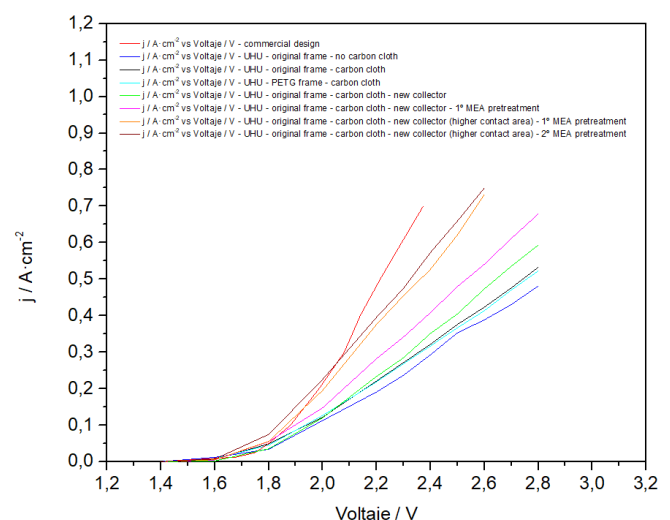


Fig 4. Current density (mA/cm^2) vs voltage (V).

This occurs because a larger contact area reduces the electrical resistance at the interface between the current collectors and the electrodes. In a smaller area, the current is concentrated at specific points, which can lead to electrical

bottlenecks and higher resistive heating losses. In contrast, when the contact area is larger, the current is more evenly distributed and flows through more contact points, which reduces the local current density at each point and minimises contact resistance [9,10]. Fig. 4 shows the improvement in current density values when implementing the above changes.

Once a current density of 500 mA/cm² at 2.4V was achieved, a fluid dynamics analysis was conducted using Ansys 2024 R1 Student Version to examine the behavior of the KOH solution within the system. First, it was necessary to define the system's geometry, including the inlet and outlet channels, the frame, the collector, and the internal electrolyte circulation system (Fig. 5).

Once the geometry of the electrolyser is defined, the next

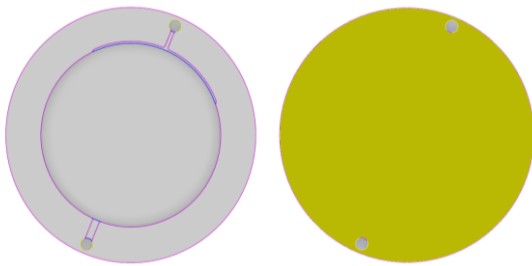


Fig 5. Design of the frame interior (left) and design of the external collector (right) made in Ansys 2024 R1 Student Version software.

step is to mesh the resulting structure. The software's fluid behavior predictions rely on matrices and Jacobians, so to determine the fluid dynamics of the solution within the structure, it is divided into small sections that allow for straightforward calculations, ultimately revealing the overall fluid behavior within the system [11].

The mesh quality of a structure is measured by the number of nodes, which are the connection points between the segments into which the system is divided. Therefore, the more complex the system, the greater the number of nodes required for accurate calculations [12]. In this case, due to the simplicity of the geometry, a high number of nodes is unnecessary. A total of 32,000 nodes suffices for precise calculations that align well with real-world behavior (Fig. 6).

After completing the meshing, an inflation layer was

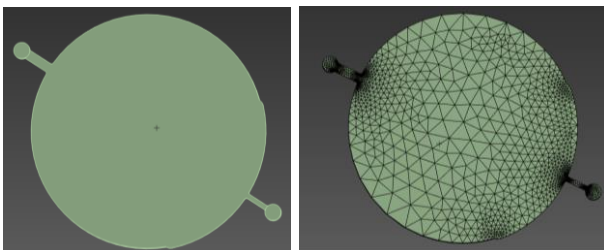


Fig 6. Unmeshed (left) and meshed (right) structure made in Ansys 2024 R1 Student software Version.

added to the inner part of the system where the fluid flows, in order to simulate the resistance posed by the nickel foam to the fluid's passage. Once the inflation was defined, the next step was to adjust the parameters for conducting the fluid dynamics study in the *fluent module*. This involves defining all the system conditions, such as the flow regime, the effect of gravity, the physicochemical properties of the fluid, the

flow areas, and the boundary conditions, so that the system can perform the calculation (NDA).

The flow pattern finally obtained is very uniform in the central part of the system, resulting in a fairly homogeneous distribution. However, in the areas close to the outlet, two vortices are formed where the fluid remains trapped and does not leave the system, which implies the existence of dead zones inside the system that do not favour the transit of the fluid. To improve the model in future research, the geometry of the inlet and outlet channels of the fluid is being considered in order to favour its transit and thus avoid the presence of dead zones inside the system. For this reason, a model is being developed with wider inlet and outlet channels and with additional parts that guarantee a homogeneous distribution of the fluid inside the electrolyser. Fig. 7 shows the results of the fluid dynamic study in Ansys software.

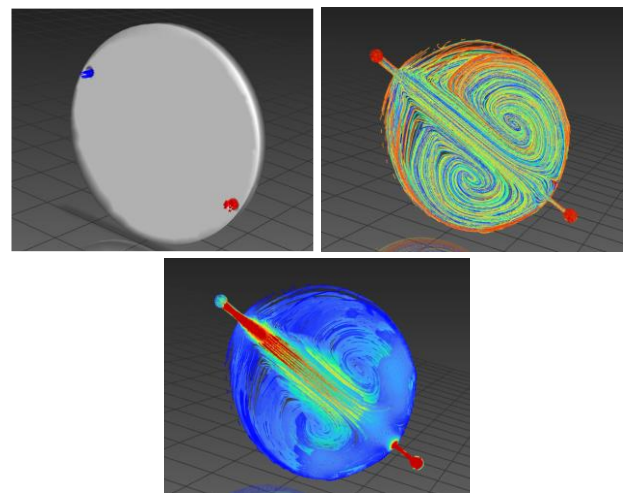


Fig 7. Fluid dynamic analysis of the electrolyte in the AEM system made in Ansys 2024 R1 Student software Version. a) Simulation of the electrolyser; b) Flow profile; c) Velocity profile.

V. CONCLUSIONS

The study of the different components and operating conditions in the electrolysis stack has been fundamental in achieving a current density of 500 mA/cm² at 2.4V, an achievement that marks a crucial advance in the design and optimisation of these devices for the production of hydrogen. Achieving a current density of 500 mA/cm² at a low voltage not only implies a higher hydrogen production capacity but is also indicative of a significant optimisation in the internal processes of the stack.

This breakthrough has been made possible by detailed analysis of each component of the system. It has been shown that the use of new materials and the pretreatment of the MEAs in suitable solutions significantly improves ionic conductivity, allowing for a more efficient transport of ions across the membrane. In addition, the use of current collectors with a larger contact area has allowed a better distribution of electrons, reduced resistive losses and improved the overall efficiency of the system. This set of improvements, both in the materials and in the design of the electrodes and membranes, together with the complementary fluid dynamic study, has reduced and will allow further reduction of the internal resistances of the electrolysis stack,

allowing it to operate at higher current densities without a proportional increase in energy losses or degradation of the components.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been supported by Grant RED2022-134588-T founded by MICIU/AEI/10.13039/501100011033.

REFERENCES

- [1] H. A. Miller, K. Bouzek, J. Hnat, S. Loos, C. I. Bernäcker, T. Weissgärber, L. Röntzsch, and J. Meier-Haack, "Green hydrogen from anion exchange membrane water electrolysis: A review of recent developments in critical materials and operating conditions," *Sustainable Energy and Fuels*, vol. 4, no. 5, pp. 2114–2133, 2020. DOI: 10.1039/c9se01240k.
- [2] J. R. Varcoe, P. Atanassov, D. R. Dekel, A. M. Herring, M. A. Hickner, P. A. Kohl, A. R. Kucernak, W. E. Mustain, K. Nijmeijer, K. Scott, T. Xu, and L. Zhuang, "Anion-exchange membranes in electrochemical energy systems," *Energy and Environmental Science*, vol. 7, no. 10, pp. 3135–3191, 2014. DOI: 10.1039/c4ee01303d.
- [3] M. F. Ahmad Kamaroddin, N. Sabli, T. A. Tuan Abdullah, S. I. Sijam, L. C. Abdullah, A. Abdul Jalil, and A. Ahmad, "Membrane-based electrolysis for hydrogen production: A review," *Membranes*, vol. 11, no. 11, pp. 1–27, 2021. DOI: 10.3390/membranes11110810.
- [4] N. Ramaswamy and S. Mukerjee, "Alkaline Anion-Exchange Membrane Fuel Cells: Challenges in Electrocatalysis and Interfacial Charge Transfer," *Chemical Reviews*, vol. 119, no. 23, pp. 11945–11979, 2019. DOI: 10.1021/acs.chemrev.9b00157.
- [5] S. R. Dhanushkodi, F. Capitanio, T. Biggs, and W. Mérida, "Understanding flexural, mechanical and physico-chemical properties of gas diffusion layers for polymer membrane fuel cell and electrolyzer systems," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 46, pp. 16846–16859, 2015. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.07.033.
- [6] J. Kai, R. Saito, K. Terabaru, H. Li, H. Nakajima, and K. Ito, "Effect of Temperature on the Performance of Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolysis: Numerical Analysis of Electrolysis Voltage Considering Gas/Liquid Two-Phase Flow," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 166, no. 4, pp. F246–F254, 2019. DOI: 10.1149/2.0521904jes.
- [7] E. Wallnöfer-Ogris, I. Grimmer, M. Ranz, M. Höglinger, S. Kartusch, J. Rauh, M. G. Macherhammer, B. Grabner, and A. Trattner, "A review on understanding and identifying degradation mechanisms in PEM water electrolysis cells: Insights for stack application, development, and research," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 65, no. March, pp. 381–397, 2024. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.04.017.
- [8] O. J. Kiangani, M. Chowdhury, and R. Mohamed, "Benchmarking Protocols for Proton Exchange Membrane Water Electrolyser," 2022.
- [9] P. M. Robertson, "The variation of current density and electrode potential with electrode resistance and its role in cell design," *Electrochimica Acta*, vol. 22, no. 4, pp. 411–419, 1977. DOI: 10.1016/0013-4686(77)85095-0.
- [10] A. Loh, X. Li, S. Sluijter, P. Shirvanian, Q. Lai, and Y. Liang, "Design and Scale-Up of Zero-Gap AEM Water Electrolysers for Hydrogen Production," *Hydrogen (Switzerland)*, vol. 4, no. 2, pp. 257–271, 2023. DOI: 10.3390/hydrogen4020018.
- [11] G. R. Bhashyam, "ANSYS mechanical—a powerful nonlinear simulation tool," *Ansys, Inc.*, vol. 1, no. 1, pp. 39, 2002.
- [12] K. Jalammanavar, N. Pujar, and R. Vishnu Raj, "Finite Element Study on Mesh Discretization Error Estimation for Ansys Workbench," *Proceedings of the International Conference on Computational Techniques, Electronics and Mechanical Systems, CTEMS 2018*, pp. 344–350, 2018. DOI: 10.1109/CTEMS.2018.8769258.

Design, implementation and testing of a hydrogen powered remotely piloted ground vehicle (UGV)

C. Delgado^{*1}, F. Segura¹, J.M. Andújar¹, J. Mora-Macías²

¹Research centre on Technology, Energy and Sustainability (CITES), University of Huelva, Spain

²Department of Engineering on Mining, Mechanics, Energetics and Building University of Huelva, Spain

(*) Corresponding author:

Abstract- Mobile robotics has experienced exponential growth in recent decades, driven by advances in electronics, artificial intelligence and component miniaturisation. However, the full electrification of these platforms lays out significant challenges related to autonomy and battery energy density. Hydrogen, as energy carrier, offers a promising alternative to overcome these limitations. This work presents the design, construction and evaluation of an intermediate-sized ground robotic platform powered by a hybridisation of a proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) and LiPo batteries. The main objective of this research is to demonstrate the technical feasibility of a hydrogen-based propulsion solution for agricultural applications, where platforms capable of operating over rough terrain and with high autonomy are required. Through a series of experimental tests, the performance of the platform has been evaluated in terms of autonomy, speed and load capacity. The results obtained show that the proposed platform could be able to overcome obstacles and perform agricultural tasks efficiently, opening up new possibilities for automation and hydrogen propulsion in the agricultural sector.

Keywords- Hydrogen technology, ground robotic, agriculture.

I. INTRODUCTION

Mobile robotics has evolved significantly in recent decades, due to the miniaturisation of electronic components, the development of more precise sensors and the emergence of artificial intelligence algorithms. One of the fields of application in this sector is precision agriculture, due to the need to increase the efficiency of crops, the collection of data from plantations or to reduce the environmental impact caused by the massive application of pesticides or indiscriminate irrigation [1].

However, battery electrification of such robotic platforms presents significant challenges in off-road applications. Their limited energy density restricts the range of these vehicles and their weight directly impacts their manoeuvrability and payload capacity [2].

It is therefore vital to conduct an analysis of the energy storage options currently available and determine which one(s) is/are the most suitable for this particular application. Table I sets out the characteristics of the three options with the greatest transfer to the sector (LiPo batteries, supercapacitors and proton exchange membrane fuel cell (PEMF)).

According to the data shown in **Table I**, it is concluded that a hybrid system based on fuel cell and batteries can be an ideal option for the case studied, allowing for increased autonomy and fast recharging.

Table I

CHARACTERISTICS OF DIFFERENT ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES			
	LiPo Batteries	Supercapacitors	PEMFC
Energy density	Medium	Very low	High
Specific power	High	Very High	High
Life Span	2-3 years	10-20 years	5-10 years
Recharging time	Minutes-hours	Seconds-Minutes	Continuous
Cost	Medium	High	High
Operation temperature	Wide range	Wide range	Wide range
Security	High	Very high	High

II. OBJETIVES

The main objective of the proposed work is the design and manufacture of a technology demonstrator to show the technical feasibility of integrating a hydrogen-battery hybrid power system in a mobile ground robotic platform.

In addition, throughout the work, an optimisation of energy management will be carried out, maximising autonomy and minimising losses, and performance tests will be carried out on the platform in different operating conditions to check the main characteristics achieved.

III. METHODOLOGY

For the development of a mobile robotic platform powered by a hybrid fuel cell/battery system, a series of mechanical and electronic tasks have been carried out. These tasks are listed in chronological order and are detailed in the following subsections:

A. Design of ground robotic platform

For the design of the ground robotic platform, SolidWorks (a computer-aided design (CAD) software widely used in the world of engineering and industrial design) has been used. In turn, the design of the platform is inspired by the construction of the 'Rover Perseverance' of the Mars 2020 expedition launched by NASA on 30 July 2020.

Therefore, bearing in mind the purpose for which the robotic platform in question is designed (precision agriculture),

the design proposes the use of 6 independently operating wheels, which (thanks to the design based on the 'Perseverance') have maximum contact with the ground at all times, providing greater traction to the platform for use in rough and difficult terrain. **Fig. 1** shows the 3D model designed.

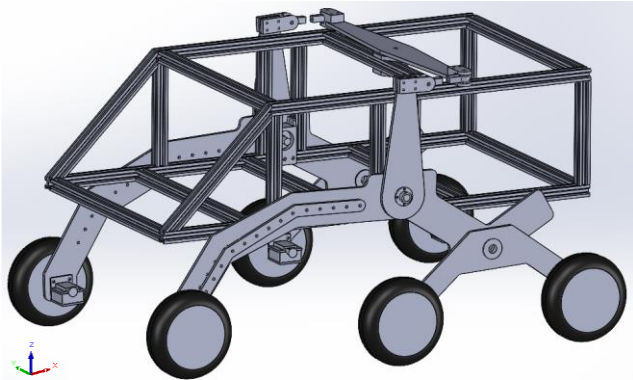


Fig. 1. Ground robotic platform 3D model.

B. Manufacture of ground robotic platform:

The central part of the platform, which houses the propulsion and control systems, was constructed from modular aluminium profiles, with a section as shown in **Fig. 2. a)**. These profiles are supplied with a unit length of 1000mm, so it was necessary to make cuts with a circular saw to adapt them to the designed measurements.

The method of assembly was through threaded components (screw and T-nut) and 90° and 45° brackets, resulting in the image shown in **Fig. 2. b)**.



Fig. 2. a) Section of modular aluminium profile. **b)** Manufacture of the central chassis of the terrestrial robotic platform.

The moving parts were machined on a CNC machining centre, using a 6mm thick 5754 H111 aluminium sheet as the raw material. The CNC centre used was the "Lagun 1000" model, a 3-axis machine equipped with a Fagor 8050 processor.

Machining these parts with this equipment presented an additional challenge due to their thin thickness and the difficulty in securing them to prevent vibrations and resonance. It was also challenging to ensure that the entire upper surface remained at the same level without flexing during the clamping process. Some descriptive images of the contouring process of one of the platform's moving parts are shown in **Fig. 3**.

Finally, the parts designed to house bearings and bushings, due to their complexity, were manufactured using 3D printing with resin and filament (specifically PLA).



Fig. 3. Machining Process on CNC Centre of Moving Part for Robotic Platform

C. Reconditioning and Evaluation of PEMFC

The PEMFC used in this work is the FCS-H2000 (from Horizon. This fuel cell was used in a previous research project and, after its completion, was stored for 3 years. This period of storage without operation caused significant deterioration in the fuel cell, some of which was irreversible. To repair the damage sustained by the fuel cell, a rejuvenation procedure was carried out by applying a membrane humidification protocol, as excessive dehydration of the membranes leads to a drastic decrease in their conductivity and, therefore, in the power they can deliver. To achieve this, milli-pore water was passed through the anode channels until they were completely saturated. At that point, the fluid was removed, and the fuel cell was left to dry for 24 hours. After this period, the power systems were reconnected, and the fuel cell was operated cyclically in 1-minute intervals at a voltage of 30V. In this way, after completing 20 ON-OFF cycles, a noticeable improvement in the power supplied by the fuel cell was observed.

In **Fig. 4**, the voltage, current, and power data provided by the manufacturer, as well as the data collected at the beginning of the equipment's useful life and the values obtained after its rejuvenation, are presented.

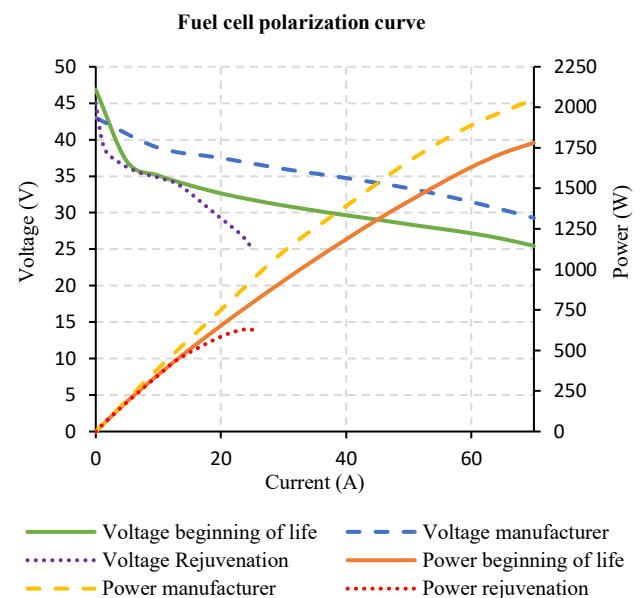


Fig. 4. PEMFC Horizon FCS-H2000 performance characterisation.

D. Integration, Control, and Testing of BLDC Wheels

For the control of the wheels and their AC power supply from the DC bus, a controllable converter was used, capable of turning the wheels on and off, regulating their rotational speed, and controlling their direction. The electrical connection of the wheels is shown in **Fig. 5**.

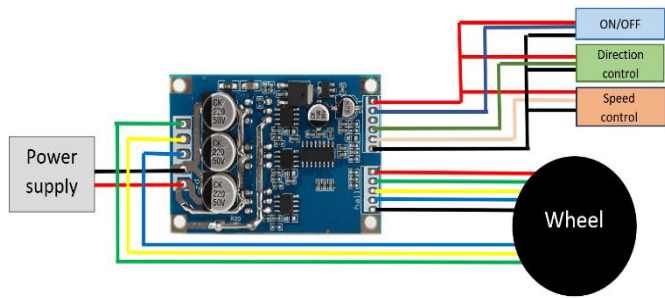


Fig. 5. Wheels electrical connection to power bus.

E. Design of Hybrid Electrical System

To combine the fuel cell with the batteries available for the project (three LiPo battery packs in a 10S1P configuration with a cell voltage of 3.6V and a capacity of 2Ah).

In the proposed configuration, the batteries are arranged in parallel, forming a battery pack with a nominal voltage of 36V and a capacity of 6Ah. In order to place the batteries in parallel, it was necessary to develop a Battery Management System (BMS). This battery pack acts as the control element for the fuel cell, setting the operating point to 36V (passive control of the fuel cell). This option allows for the avoidance of using a DC/DC converter at the output of the fuel cell.

Since the generation part is not controllable with the chosen configuration, a rheostatic braking system is also included, consisting of a MOSFET transistor along with a power resistor. The resistor conducts when the battery voltage exceeds a maximum value, indicating that the charge level is high. This is managed through the microcontroller, which receives voltage readings from the sensor and controls the transistor.

Finally, the system includes a small-power DC/DC "Buck" (step-down) converter to power the balance of plant (BoP) for the fuel cell at 12V and the microcontroller using the VIN pin.

F. Sizing of Hydrogen Storage System

In this case, a commercially available Type IV hydrogen storage tank model was used as the basis and its suitability for the project requirements was validated. The tank had a storage volume of 20 L, a maximum pressure of 300 bar, and a weight of 11.8 kg.

Taking into account an hydrogen density (ρ) value of 30 kg/m³ at a pressure of 300 bar and a temperature of 25°C [3] and a lower heating value (LHV) of 121 MJ/kg [4], the total energy stored in the tank (E_{H_2}) was calculated using equations (1) and (2)

$$\rho_e = \rho \cdot LHV = 30 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 121 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{10^6 \text{J}}{1 \text{MJ}} \cdot \frac{1 \text{kg}}{10^3 \text{g}} = 363 \cdot 10^4 \frac{\text{J}}{\text{L}} \quad (1)$$

$$E_{H_2} = V \cdot \rho_e = 20 \text{ L} \cdot 363 \cdot \frac{10^4 \text{J}}{\text{L}} = 726 \cdot 10^5 \text{ J} \quad (2)$$

Where:

ρ_e is the volumetric energy density of hydrogen (J/L)

ρ is the hydrogen density (30 g/L)

LHV is the hydrogen lower heating value (121 MJ/kg)

E_{H_2} is the energy stored in form of hydrogen (J)

V is the hydrogen volume (L)

And using the fuel cell efficiency provided by the manufacturer (40%) the energy available at the fuel cell output (E_{FC}) was calculated as (3):

$$E_{FC} = 726 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot 0.4 = 290.4 \cdot 10^5 \text{ J} \quad (3)$$

Where:

E_{FC} is the energy available from the PEMFC (J)

Finally, assuming an average consumption of 1A per wheel at 36 V and continuous operation, a plant balance consumption of 2 A at 36 V, and an average consumption of 15 W for the rheostatic brake, the resulting autonomy of the fuel cell tank (T_{auto}) was:

$$T_{auto} = \frac{E_{FC}}{P_{consumption}} = \frac{E_{FC}}{P_{wheels} + P_{BoP} + P_{Brake}} = \frac{290.4 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ W} \cdot \text{s}}{1 \text{ J}}}{36 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 6 \text{ wheels} + 36 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} + 15 \text{ W}} = 26.62 \text{ h} \quad (4)$$

Where:

T_{auto} is the autonomy of the hydrogen powered UGV (h)

$P_{consumption}$ is the power consumed by loads (W)

P_{wheels} is the power consumed by 6 wheels (36 W/wheels)

P_{BoP} is the power consumed by the Balance of Plant (72 W)

P_{Brake} is the power consumed by rheostatic brake (15 W)

G. Design of a Rheostatic Braking System

Since the power generation systems used in the work are not controllable (due to the lack of DC/DC converters at their output), it was decided to use a rheostatic braking system to dissipate energy during moments of surplus. For this system, following the schematic presented in Fig. 7, power resistors, a MOSFET transistor, and a microcontroller were employed. The sizing of the systems was based on the bus voltage (36 V) and the power to be dissipated (60 W).

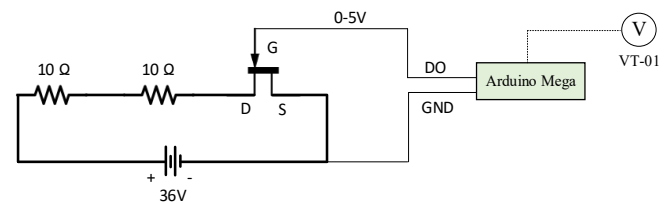


Fig. 6. Rheostatic brake system schematic.

IV. RESULTS

After carrying out the tasks detailed in the previous section, the hydrogen powered ground robotic platform shown in Fig. 7 was tested to assess its performance.

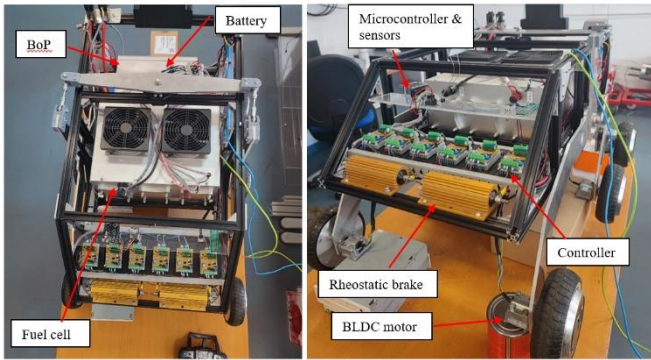


Fig. 7. Final ground robotic platform assembly.

A. Measurement of the platform's autonomy

For the estimation of autonomy, a "VA521" flowmeter from CS Instruments was used, calibrated for the measurement of hydrogen mass flow. This flowmeter recorded the hydrogen consumption during laboratory tests in which the consumption of the wheels was simulated with a programmable load. A variable power consumption, similar to what the platform might experience in its working environment, was applied over a period of 120 seconds, as shown in Fig. 8 and Fig. 9.

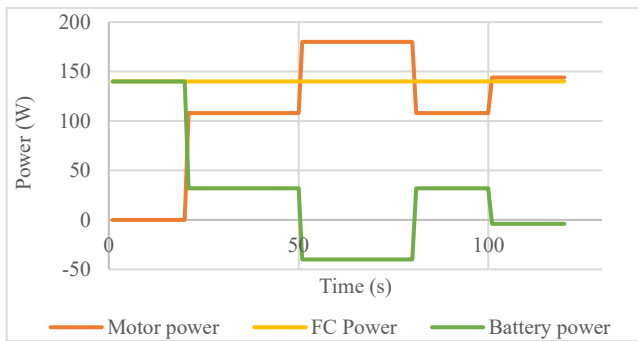


Fig. 8. Balance of power during autonomy test.

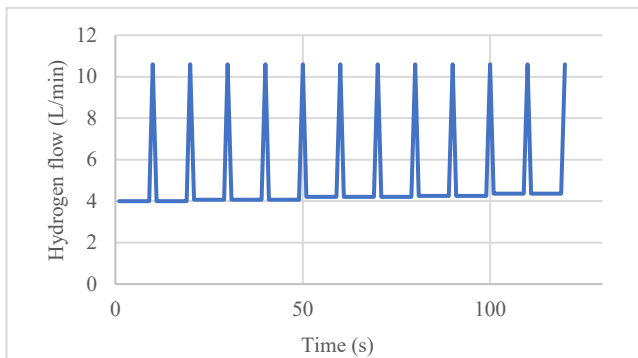


Fig. 9. Hydrogen flow registered by VA521 sensor during autonomy test.

Based on the data reported in the test, it was estimated that the average consumption of the hydrogen powered ground robotic platform was 4.66 L/min. Therefore, the autonomy of the platform with the selected tank, fully charged to 300 Bar, was 17.8 hours.

B. Measurement of the platform's speed and torque

For the measurement of the platform's speed, an infrared sensor was used to measure the wheel revolutions of the platform when a 5 V input was applied to the speed controller. This test

reported a top speed of 12 km/h (unladen).

On the other hand, the maximum torque exerted by each wheel was measured, yielding a result of 2.47 Nm.

C. Safety Tests

To check the platform's safety, an overload test was conducted on the batteries by allowing the system to run without motor consumption until the batteries were recharged and exceeded the nominal 36V voltage. It was observed that the rheostatic braking system functioned satisfactorily, activating the power resistors and dissipating the excess energy in the form of heat. Additionally, the platform was tested to ensure that a hydrogen supply failure would not result in a system failure. The gas supply was cut off while the wheel consumption remained active, forcing the fuel cell plant's balance to shut down upon detecting that the pressure at the gas inlet was lower than expected. The batteries took over the power consumption for the wheels, and the system continued operating without the presence of the PEM fuel cell.

Acronyms list

BMS Battery Management System

PEMFC Proton exchange membrane fuel cell

Symbols list

E_{H_2} Energy stored in form of hydrogen (J)

E_{FC} Energy available from the PEMFC (J)

LHV Hydrogen lower heating value (121 MJ/kg)

P_{BoP} Power consumed by the Balance of Plant (72 W)

$P_{consumption}$ Power consumed by loads (W)

P_{wheels} Power consumed by wheels (36 W/wheels)

P_{Brake} Power consumed by rheostatic brake (15 W)

T_{auto} Autonomy of the hydrogen powered UGV (h)

V Hydrogen volume (l)

ρ Hydrogen density ($30 \frac{g}{l}$)

ρ_e Volumetric energy density of hydrogen (J/l)

ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been supported by Grant RED2022-134588-T funded by MICIU/AEI/10.13039/501100011033

V. REFERENCES

- [1] D. Tiozzo Fasiolo, L. Scalera, E. Maset, and A. Gasparetto, "Towards autonomous mapping in agriculture: A review of supportive technologies for ground robotics," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 169, p. 104514, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104514>.
- [2] Y. Wang *et al.*, "A comprehensive review of battery modeling and state estimation approaches for advanced battery management systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 131, p. 110015, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110015>.
- [3] M. Aziz, "Liquid Hydrogen: A Review on Liquefaction, Storage, Transportation, and Safety," *Energies*, vol. 14, no. 18, 2021, doi: 10.3390/en14185917.
- [4] B. Zohuri, *Hydrogen Energy: Challenges and Solutions for a Cleaner Future*. Springer International Publishing, 2018.

Comparison Between Parallel and Serial Robots for Agricultura Applications

Antonio García-Chica, José L. Torres-Moreno, Antonio Giménez-Fernández, Marta Gómez-Galán

Departamento de Ingeniería

Universidad de Almería

Dirección Carretera Sacramento, s/n CP:04120

agc989@ual.es, jltmoreno@ual.es, agimfer@ual.es, martagomez@ual.es

Musculoskeletal disorders represent a significant occupational health problem in agriculture due to the demanding physical and ergonomic conditions. In response to these problems, robots are being incorporated into this sector, improving the efficiency and sustainability of agricultural activities. Robots, equipped with artificial intelligence and sensors, can perform tasks such as sowing, harvesting and crop monitoring more accurately and quickly, optimizing the use of resources and reducing costs. Traditionally, robots have been used in series configuration, which present problems related to the concentration of stress on the joints. In this article, parallel robots are proposed, which, thanks to their four-bar design, distribute loads better, reducing stress and improving energy efficiency.

Keywords- Serial Robot, Parallel Robot, Agriculture.

I. INTRODUCTION

Musculoskeletal disorders are a significant occupational health problem in the agricultural sector due to the physical and ergonomic working conditions [1]. Farmers are exposed to repetitive tasks [2], heavy lifting [3], awkward and prolonged postures, and vibrations from machinery affecting muscles, bones, joints, tendons and nerves, causing chronic pain, decreased physical capacity, and even long-term work disability.

This awareness of ergonomics at work is leading to the incorporation of robots in agriculture [4]. This technological development in the sector is offering innovative solutions to improve the efficiency, productivity and sustainability of agricultural activities. These technological advances make it possible to address key challenges such as labour shortages, increased food demand and the need for more sustainable production.

Agricultural robots can perform repetitive and physically demanding tasks, such as planting, harvesting, weeding and pest control, more accurately and faster than traditional human labour. Equipped with artificial intelligence systems, sensors and cameras, robots can monitor crop health in real time, identify problems such as diseases or nutritional deficiencies, and optimize the use of inputs such as water and fertilizers. This not only reduces environmental impact, but also lowers operating costs [5].

Currently, many robots have been designed for greenhouse crops with the intention of automating agricultural tasks. Most of these robots are arranged in series. This type of robot has a structure composed of several links or segments connected in sequence by joints [6]. Each joint allows a degree of freedom of movement, which provides

great flexibility and reach capacity. This configuration has an interchangeable tool placed on the last joint to perform different agricultural tasks. In addition, these structures are usually installed on light mobile platforms [7] that allow them to be transported around the cultivation area.



Fig. 1. Serial Robot.

The present study aims to make a comparison between serial and parallel robots in different load and energy efficiency tests, simulating the agricultural tasks they have to perform, and to be able to obtain a conclusion about the most efficient robot layout for the agricultural sector.

II. MATERIAL AND METHODS

To carry out this study, which aims to compare serial robots with parallel robots, two analyses will be carried out. A first static analysis carried out in Solidworks, where robots of each type with similar dimensions and the same actuators are subjected to supporting a load of 10 kg. And a second energy efficiency study carried out in Simulink, where the electrical consumption of both robots will be compared in the transport of a load from position A to position B [8].

III. RESULTS

The results obtained from the static analysis for the support of a 10 kg load by both robots (Figure 2) present several significant differences between the parallel robot and the serial robots in terms of the distribution of stresses and loads of the self-weight. In a serial structure, the actuators located at the joints must support not only the weight of the tool and the subsequent links, but also that of the actuators located further down the chain, which generates a greater concentration of stresses in each of the joints. This causes a constant torque in the motor of the intermediate joint due to the weight of the tool and the last link. In contrast, in a parallel robot, the loads are better distributed by the four-bar mechanism, which significantly reduces the stresses in each individual joint, improving the load capacity of the system. This configuration also allows the two actuators to be supported by a base with bearings which avoid suffering torque on the motor shafts.

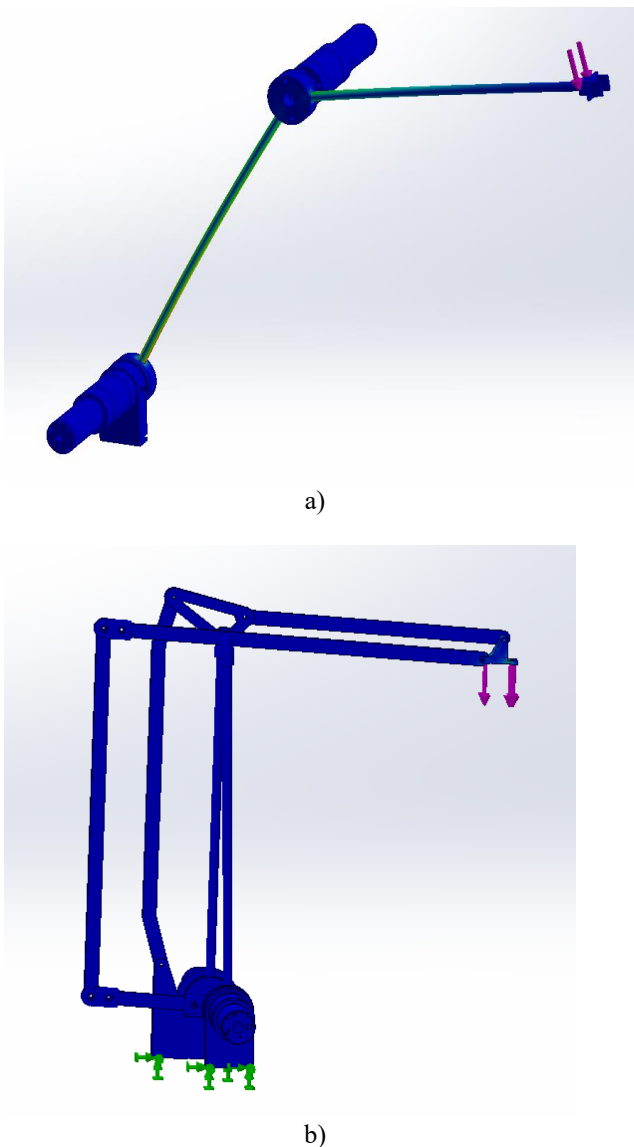


Fig. 2. Static analysis of robots. a) Serial robot b) Parallel robot

The results of the energy efficiency study performed in Simulink (Figure 3) show electrical consumption for both

robots in transporting a load from position A to position B. The results show a significant difference in consumption: while the serial robot requires 10 amps to perform the movement, the parallel robot consumes only 0.6 amps. This significant reduction in the energy consumption of the parallel robot can be attributed to its structural configuration, which distributes the loads better between the actuators, reducing the individual effort on each of them. This not only improves the operational efficiency of the system, but also suggests less wear on the components.

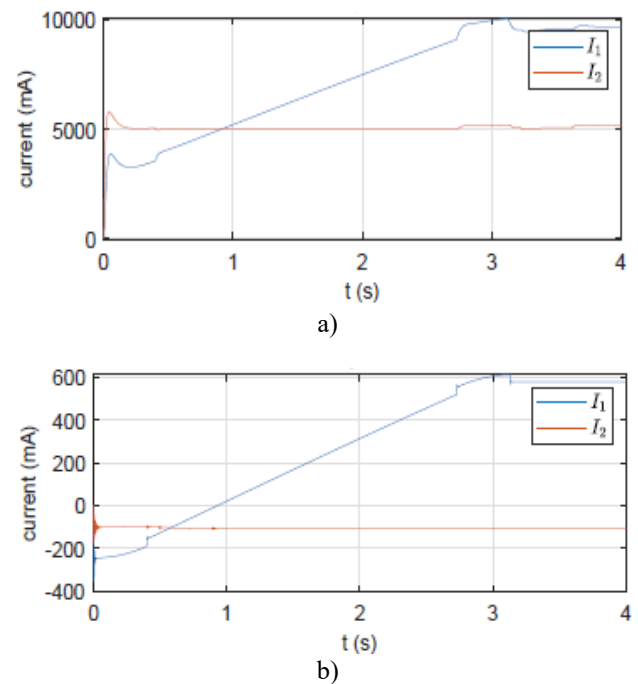


Fig. 3. Electrical consumption of robots. a) Serial robot b) Parallel robot

IV. CONCLUSIONS

In conclusion, the static analysis and the energy efficiency study clearly demonstrate the advantages of the parallel robot over the serial robot, both in terms of stress distribution and energy consumption. In a serial structure, the actuators bear a higher concentration of stress due to the weight of the tool, the subsequent links and the actuators located further down the chain, which generates significant stresses on the joints. In contrast, the parallel robot, thanks to its four-bar configuration, distributes the loads better, reducing torque and stresses on the joints. In addition, the results of the energy efficiency study confirm that the parallel robot is considerably more efficient, consuming only 0.6 amps compared to 10 amps for the serial robot to carry out the same load displacement. These factors make the parallel robot an optimal choice, both in terms of performance and energy sustainability.

REFERENCES

- [1] Fathallah, F. A. (2010). "Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture". *Applied Ergonomics*, 41(6), 738-743. doi: 10.1016/j.apergo.2010.03.003

- [2] Bairwa, R. C., Meena, M. L., Dangayach, G. S., & Jain, R. (2022). "Prevalence of Musculoskeletal Disorders Among the Agricultural Workers: A Review". In: Chakrabarti, D., Karmakar, S., Salve, U.R. (eds) Ergonomics for Design and Innovation. HWWE 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 391. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-94277-9_38
- [3] Gómez-Galán, M., Callejón-Ferre, Á. J., Pérez-Alonso, J., Díaz-Pérez, M., & Golasi, I. (2019). "Repetitive movements in melon cultivation workers under greenhouses". Agriculture, 9(11), 236. doi: 10.3390/agriculture9110236
- [4] Fountas, S., Mylonas, N., Malounas, I., Rodias, E., Santos, C. H., & Pekkeriet, E. (2020). "Agricultural robotics for field operations". Sensors, 20(9), 2672. doi: 10.3390/s20092672
- [5] Zhao, Y., Gong, L., Liu, C., & Huang, Y. (2016). "Dual-arm Robot Design and Testing for Harvesting Tomato in Greenhouse". IFAC-PapersOnLine, 49(16), 161-165. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.10.030
- [6] Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2009). "Robotics: Modelling, Planning and Control". Springer London.
- [7] Grimstad, L., Zakaria, R., Dung Le, T., & From, P. J. (2018). "A Novel Autonomous Robot for Greenhouse Applications". IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid, Spain, 2018, pp. 1-9. doi: 10.1109/IROS.2018.8594233.
- [8] Torres-Moreno, J.L., Blanco-Claraco, J.L., & Gimenez-Fernandez, A. (2023). "General-purpose software tools in teaching MMS". In: García Prada, J.C., Castejon, C., Pedrero Moya, J.I. (eds) Trends in Educational Activity in the Field of Mechanism and Machine Theory (2018–2022). ISEMMS 2022. Mechanisms and Machine Science, vol 128. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-031-25730-8_19

Gestión ágil de la innovación en las organizaciones

Carmen Baena-Sánchez¹, Antonio Sánchez-Herguedas¹, Ángel Mena Nieto²

1. Escuela Técnica Superior de Ingeniera (ETSI). Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla, Spain
2. Escuela Técnica Superior de Ingenieros (ETSI). Universidad de Huelva. Campus El Carmen, 21819 Huelva, Spain

cbsanchez@us.es, antoniosh@us.es, mena@uhu.es

Resumen- La competitividad de cualquier organización está condicionada en gran medida por su capacidad para innovar de manera eficaz (obteniendo resultados significativos), eficiente (optimizando los recursos) y sostenible en el tiempo. Es necesario tener en cuenta, además, que estas organizaciones desarrollan su actividad en entornos que cambian de forma cada vez más rápida, por lo que están obligadas a ser ágiles en la gestión y en la toma de decisiones. Como referencia, existen distintos modelos que establecen las claves para gestionar la innovación en las organizaciones de manera integral y sistemática, pero no están específicamente adaptadas a estos entornos. Esta comunicación pretende proporcionar las claves para que las organizaciones puedan llevar a cabo una gestión ágil de la innovación, que contemple todos los aspectos necesarios en términos de eficacia y eficiencia, pero que considere un enfoque que les permita adaptarse a las circunstancias externas de forma flexible, ágil y rápida.

Palabras Clave: Competitividad, Innovación empresarial, Gestión ágil, Gestión de la innovación, Eficiencia

I. INTRODUCCIÓN

Existen diversas definiciones de innovación siendo una de las más aceptadas la de la Fundación COTEC que define este término como todo cambio (no solo tecnológico) basado en conocimiento (no solo científico) que genera valor (no solo económico). En el ámbito empresarial, la innovación resulta crucial para el crecimiento y desarrollo de las empresas (Bach et al., 2019), suponiendo un elemento clave para su competitividad en el mercado (Bigliardi et al., 2020). Pero esta actividad conlleva riesgos por existir cierta incertidumbre con respecto a los resultados y además requiere la aplicación de recursos, por lo que resulta esencial gestionarla de forma adecuada.

De acuerdo con la Norma ISO 56000:2020 “Gestión de la innovación. Fundamentos y vocabulario” se define la Gestión de la Innovación como el conjunto de actividades que deben ser coordinadas para dirigir y controlar la innovación en una organización. La gestión de estas actividades requiere desarrollar los elementos clave de la gestión como son: el establecimiento de la visión de innovación, la estrategia y la política de innovación, los objetivos, así como las estructuras y los procesos para llevar a cabo la innovación.

Existen distintos modelos de gestión de la innovación, siendo el más completo el propuesto en la norma internacional UNE-EN ISO56002:2019 “Gestión de la innovación. Sistema de gestión de la innovación. Orientación”, que permite gestionar, sistematizar y replicar el proceso de innovación

mejorando la innovación empresarial (Silva, 2021). Esta norma potencia el desarrollo de sistemas de gestión de la innovación, proporcionando la orientación para establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente estos sistemas. Estos sistemas mejoran la capacidad de innovación de las empresas y contribuyen positivamente a la mejora del rendimiento de la innovación en la organización. Otras Normas como la UNE 166002: 2021 “Gestión de la I+D+I. Requisitos del Sistema de Gestión de la I+D+I” y la EN ISO56001: 2024 “Innovation management system. Requirements” van un poco más allá, aportando los requisitos para el desarrollo de estos sistemas. Los sistemas de gestión propuestos establecen procesos confiables que permiten a las organizaciones innovar de manera continua y efectiva. Estas normas facilitan la certificación de su sistema de gestión dando fe de su adecuado desarrollo y fomentan las auditorías como herramienta para detectar y eliminar debilidades en su diseño o aplicación. Sin embargo, estos sistemas de gestión de la innovación aún presentan deficiencias críticas, la adopción implícita de un modelo lineal y la falta de herramientas específicas para apoyar la práctica o cualquier variación significativa en la aplicación por sector o contexto (Tidd, 2021).

La norma EN ISO56001: 2024 “Innovation management system. Requirements”, que también es certificable, indica que las organizaciones deben determinar, proporcionar y mantener las herramientas y los métodos necesarios para la implementar eficazmente el sistema de gestión de la innovación, considerando aquellos que respalden los diferentes tipos de innovaciones y actividades de innovación y los que fomenten conciencia de innovación y formación para su adaptación. Esta norma propone algunas herramientas y métodos tales como retrosección, investigación etnográfica, planificación de escenarios, previsión, lluvia de ideas, inteligencia estratégica, design thinking, TRIZ, mapeo de ruta, encuestas a clientes y/o plantillas de modelos de negocios.

Por otra parte, los cambios que se dan en los entornos de las organizaciones afectan de manera decisiva en la gestión de las mismas (Bach et al., 2019) y, específicamente en la gestión de la innovación (Millar et al., 2018). En un contexto que cambia de manera muy rápido, la innovación requiere de agilidad en el cambio, pero los sistemas de gestión propuestos no están diseñados para implantarse de forma ágil, siendo además escasas las referencias a herramientas ágiles (sólo design thinking)

Teniendo en cuenta todo lo anterior, la norma EN ISO56001: 2024 puede considerarse como referencia para el diseño de un modelo de gestión ágil de la innovación, pero adolece de un enfoque ágil global y de la consideración de herramientas específicas ágiles.

II. ANTECEDENTES

La agilidad en la gestión se ha convertido en uno de los principales aliados de las organizaciones junto a la resiliencia. Ambos factores modelan la forma de actuar de las organizaciones y surgen como consecuencia de la necesidad de adaptación a las variaciones en los entornos donde éstas realizan sus actividades. Los difíciles entornos VUCA (Volatilidad, Incertidumbre, complejidad y ambigüedad) están siendo sustituidos tras la pandemia por entornos BAMI (frágil, ansioso, no lineal y ambiguo), no menos complicados. Estos entornos afectan a la gestión de las organizaciones (Woltés and Fernández-Mesa, 2009), y la gestión de la innovación en particular (Millar et al., 2018).

Estos escenarios donde conviven las organizaciones necesitan de métodos y prácticas ágiles. Los fundamentos de la mentalidad ágil aparecen en los años 80s, en los sistemas de mejora de la calidad y el Sistema de Producción Toyota. Sin embargo, no es hasta 2001 cuando aparece el Manifiesto ágil. Este documento de intenciones incluye una serie de valores y principios que respaldan un enfoque iterativo para el diseño y desarrollo de software. Su objetivo inicial es el de resolver problemas comunes, asociados a la dificultad de entregar a los clientes los desarrollos en plazo, teniendo en cuenta los continuos cambios de las necesidades y especificaciones de los usuarios. A partir de ahí se ha aplicado a todo tipo de procesos de negocio, resultando ser una forma de enfocar el cambio de manera beneficiosa para las organizaciones.

Este manifiesto presenta cuatro valores que lo hacen indispensable. Coloca al individuo por encima de los procesos y la herramientas y entrega valor a sus interacciones. Potencia el funcionamiento de las cosas (software) ante que las excesivas justificaciones mediante una documentación exhaustiva. Prefiere la colaboración con el cliente para llegar a acuerdos antes que la negociación contractual y sobre todo prefiere la respuesta ante el cambio por encima de seguir un plan formal.

Este documento incluye además los doce principios de la gestión ágil:

- Satisfacer al cliente mediante la entrega temprana y continua.
- Aprovechar el cambio como ventaja competitiva.
- Entregar valor frecuentemente.
- Cooperación negocio-desarrolladores durante todo el proyecto.
- Construir proyectos en torno a individuos motivados.
- Utilizar la comunicación cara a cara.
- Software funcionando como medida de progreso.
- Promover y mantener un desarrollo sostenible.
- La excelencia técnica mejora la agilidad.
- La simplicidad es fundamental.
- Equipos auto-organizados para generar más valor.
- Reflexión y ajustes frecuentes del trabajo de los equipos.

Estos principios son de aplicación a los procesos de negocio de todo tipo de organizaciones, que necesitan adaptarlos a las circunstancias externas de forma flexible, ágil

y rápida. La implantación de prácticas y metodologías ágiles, así como la consideración de los valores y principios del Manifiesto Ágil, pueden contribuir a este objetivo (Schmitt and Hörner, 2020), siendo beneficioso para estas organizaciones.

El concepto de agilidad tiene como objetivo lograr los atributos de flexibilidad, velocidad, aprendizaje y capacidad de respuesta a través de la capacidad de abordar de manera proactiva, reactiva o inherente el cambio de una manera rápida (Zielske and Held, 2022). Para aplicar este concepto y dar respuesta a las desviaciones que se producen en las organizaciones, se ha desarrollado varios métodos ágiles, siendo los más utilizados: Kanban, Scrum, XP (eXtrem Programming, Crystal, Lean Developmentt, Feature Driven Development (FDD), Design Thinking o Lean Startup (Letelier and Penadés, 2017). Todos estos métodos ágiles, junto con las prácticas ágiles están revolucionado la forma en que las organizaciones gestionan aspectos relacionados con la innovación al aportar flexibilidad, rapidez y un enfoque centrado en el cliente, ofreciendo una base robusta para la gestión ágil de la innovación.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se puede afirmar que la implantación de modelos para la gestión de la innovación no resulta sencilla, requiere conocimientos y recursos especializados, y no siempre resulta lo suficientemente ágil. Los requisitos propuestos en las normas ISO 56002:2019/ISO 56001:2024 son adecuados para gestionar la innovación en las organizaciones de manera integral y sistemática, pero presenta deficiencias como la adopción implícita de un modelo lineal y falta de herramientas específicas para sectores o contextos concretos, y en particular, herramientas ágiles para entornos VUCA/BANI que evolucionan de manera muy rápida.

Existen métodos ágiles que pueden ser aplicadas en algunos de los elementos del sistema de gestión de la innovación (ej. para la gestión de proyectos, la definición de estrategias), sin embargo, no se han encontrado referencias de aplicación de métodos ágiles en otros elementos clave para la gestión de la innovación como la gestión del conocimiento o la vigilancia e inteligencia estratégica. Hasta dónde llega nuestro conocimiento, no se han encontrado referencias de la aplicación de un enfoque ágil integral a la gestión de la innovación en las organizaciones.

III. IMPLANTACIÓN ÁGIL DEL MODELO DE SISTEMA DE GESTIÓN

De acuerdo con la norma ISO 56002:2019/ISO 56001:2024, un sistema de gestión de la innovación es un conjunto de elementos interrelacionados e interactuantes con el propósito de obtener valor, tanto financiero como no financiero. El valor se obtiene mediante procesos de innovación sistemáticos e iterativos para identificar oportunidades, crear y validar conceptos, y desarrollar e implementar soluciones para usuarios, clientes y otras partes interesadas. Las oportunidades pueden, por ejemplo, basarse en necesidades actuales o futuras, enunciadas o no. El sistema se puede aplicar para explorar y explotar oportunidades nuevas y existentes.

Los principales elementos del sistema de gestión son: contexto de la organización, liderazgo, planificación, soporte, operación, evaluación del desempeño y mejora. Para garantizar la gestión ágil de la innovación en una organización se propone, por un lado, la consideración de los principios y

métodos ágiles en cada uno de los elementos del sistema, y por otro, la implantación ágil del sistema mediante un proceso iterativo que contemple la entrega de valor constante y el resto de los principios ágiles (ver fig. 1)

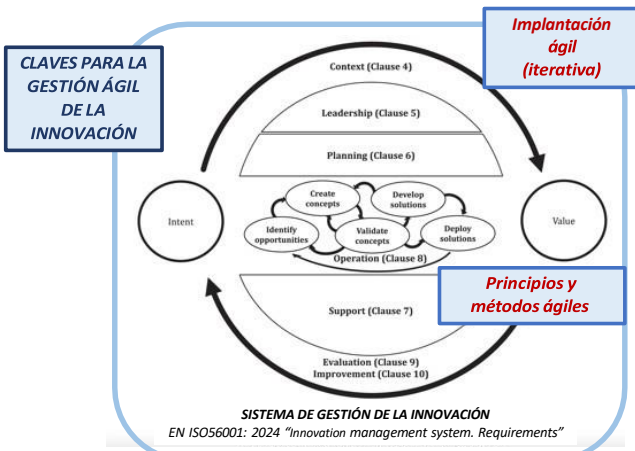


Fig. 1. Claves para la gestión ágil de la innovación considerando los principales elementos del sistema de gestión de la innovación según EN ISO 56001:2024

Por otra parte, la norma ISO 56002:2019/ISO 56001:2024 considera que un sistema de gestión de la innovación opera en los niveles estratégico, táctico y operativo, siendo las relaciones entre los diferentes niveles la siguiente:

— La intención de innovación en el nivel estratégico ayuda a determinar el alcance del sistema de gestión de la innovación y forma la base para establecer la estrategia de innovación.

— El alcance establece los límites y la aplicabilidad del sistema de gestión de la innovación.

— La política de innovación proporciona un marco para establecer la estrategia y los objetivos de innovación. La política de innovación puede complementar otras políticas del sistema de gestión de la organización.

— La estrategia de innovación, incluidos los objetivos estratégicos de innovación, se basa en la intención de innovación, está alineada con la política de innovación y proporciona un marco para establecer objetivos tácticos de innovación y establecer carteras de innovación.

— Los objetivos de innovación en el nivel táctico son coherentes con la política y la estrategia de innovación.

— Las carteras de innovación están alineadas con la estrategia y los objetivos de innovación y consisten en un conjunto de iniciativas de innovación.

— Las iniciativas de innovación se establecen a nivel operativo.

— Los procesos de innovación también se establecen a nivel operativo para perseguir iniciativas de innovación. Son flexibles y adaptables a cada iniciativa individual.

Para garantizar una gestión ágil de la innovación, será necesario definir y operar en cada uno de estos niveles considerando los principios ágiles y aplicando los métodos ágiles adecuados.

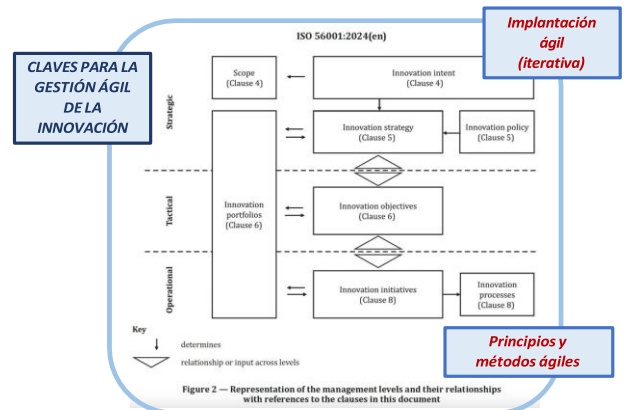


Fig. 2. Claves para la gestión ágil de la innovación considerando los niveles de gestión de la innovación según EN ISO 56001:2024

IV. CONCLUSIONES

En un entorno empresarial marcado por la constante transformación y la creciente competitividad, la innovación se ha consolidado como un factor clave para el éxito de las organizaciones. La capacidad de adaptarse y anticiparse a los cambios es esencial para mantener la relevancia en el mercado y asegurar el crecimiento sostenible. En este sentido, gestionar la innovación no solo requiere creatividad y desarrollo de nuevas ideas, sino también la implementación de estrategias que permitan una gestión integral y ágil, adaptada a las demandas actuales. La norma EN ISO 56001:2024 ofrece una guía valiosa para estructurar y fortalecer la innovación organizacional. A continuación, se presentan las conclusiones sobre cómo abordar la gestión de la innovación de manera ágil y efectiva, optimizando los recursos y garantizando su sostenibilidad en el tiempo.

- La competitividad de cualquier organización está condicionada en gran medida por su capacidad para innovar de manera eficaz (obteniendo resultados significativos), eficiente (optimizando los recursos) y sostenible en el tiempo.
- Las organizaciones desarrollan su actividad en entornos que cambian de forma cada vez más rápida, por lo que están obligadas a ser ágiles en la gestión y en la toma de decisiones.
- Es necesario gestionar la innovación en las organizaciones de manera integral y sistemática y la norma EN ISO 56001:2024 es una buena referencia, pero tiene deficiencias en cuanto a agilidad.
- Las claves para la gestión ágil de la innovación que se proponen son:
 - Aplicar los requisitos establecidos en la EN ISO 56001:2024
 - Incorporar métodos ágiles aplicables en cada uno de los aspectos considerados.
 - Implantar el sistema con un enfoque ágil, considerando los valores y principios ágiles.

REFERENCIAS

- Bach, T.M., Dalazen, L.L., da Silva, W.V., Ferraresi, A.A., da Veiga, C.P., 2019. Relationship Between Innovation and Performance in Private Companies: Systematic Literature Review. *Sage Open* 9. <https://doi.org/10.1177/2158244019855847>
- Bigliardi, B., Ferraro, G., Filippelli, S., Galati, F., 2020. The influence of open innovation on firm performance. *International Journal of Engineering Business Management*. <https://doi.org/10.1177/1847979020969545>
- Letelier, P., Penadés, M.C., 2017. AgileRoadmap: An Approach to Implement Agile Practices in Teams.
- Millar, C.C.J.M., Groth, O., Mahon, J.F., 2018. Management innovation in a VUCA world: Challenges and recommendations. *Calif Manage Rev* 61, 5–14. <https://doi.org/10.1177/0008125618805111>
- Schmitt, A., Hörner, S., 2020. Systematic literature review – improving business processes by implementing agile. *Business Process Management Journal*. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-10-2019-0422>
- Silva, S.B. da, 2021. Improving the firm innovation capacity through the adoption of standardized innovation management systems: a comparative analysis of the ISO 56002:2019 with the literature on firm innovation capacity. *International Journal of Innovation* 9, 389–413. <https://doi.org/10.5585/iji.v9i2.19273>
- Tidd, J., 2021. A REVIEW and CRITICAL ASSESSMENT of the ISO56002 INNOVATION MANAGEMENT SYSTEMS STANDARD: EVIDENCE and LIMITATIONS. *International Journal of Innovation Management* 25. <https://doi.org/10.1142/S1363919621500493>
- Woltés, V., Fernández-Mesa, A., 2009. Entornos VUCA antes de la recesión por la pandemia de Covid-19: una revisión sistemática de la literatura VUCA environments before the recession caused by Covid-19: a systematic literature review * Corresponding Author. *TEC Empresarial* 17, 2023. <https://doi.org/10.18845/te.v17i1.6539>
- Zielske, M., Held, T., 2022. Agile methods used by traditional logistics companies and logistics start-ups: a systematic literature review. *Journal of Systems and Software* 190. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.111328>

E-mentores

Curso de Mentoría Digital +55

Yolanda Ceada Garrido, Rocío Illanes Segura¹, Francisco de Paula Rodríguez Miranda², Liliana Rodríguez Alarcón, Ramón Tirado Morueta²

¹ Didáctica y Organización Educativa. Universidad de Sevilla. C/ Pirotecnia, s/n. 41013 – Sevilla.

² Departamento de Pedagogía. Universidad de Huelva. Avda. Tres de marzo, s/n. 21071 – Huelva.

yolanda.ceada@sc.uhu.es, rillanes@us.es, paula@dedu.uhu.es, liliana.rodriguez@pi.uhu.es, rtirado@uhu.es

Resumen- El uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación resulta imprescindible para desarrollar tareas de la vida cotidiana. Por sus dificultades para acceder a la tecnología, la población de adultos mayores es considerada vulnerable, ya que por criterios de edad aumenta la denominada brecha digital. Para paliarla se implementan cursos de alfabetización digital por parte de las diferentes administraciones y entidades sociales, dirigiendo sus esfuerzos a la población vulnerable. Esta comunicación describe el proceso de diseño, desarrollo y evaluación de un curso sobre Mentoría Digital del Aula de la Experiencia de la Universidad de Huelva, dirigido a mayores de 55 años. El objetivo principal del curso es la formación de futuros mentores y mentoras que aprendan a enseñar competencias digitales a sus iguales. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y el curso diseñado será empleado en futuras acciones educativas.

Palabras Clave- Adultos Mayores, Brecha digital, Mentoría digital

I. INTRODUCCIÓN

Según el INE a 1 de enero de 2023 la población española la componían 48.085.361 personas, de las cuales el 37,5% lo representa la población mayor de 55 años.

La sociedad actual, cada vez más tecnologizada [1], hace necesaria la adquisición de competencias digitales para realizar trámites a través de internet relacionados con la administración, la banca y el comercio [2]. Además, existen evidencias científicas acerca de los beneficios físicos y psicológicos que suponen la inclusión digital y social [3].

No obstante, existen limitaciones en cuanto al acceso de las personas mayores a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Entre ellas destacan el no disponer de dispositivos y/o de los conocimientos necesarios, el miedo al uso y la no adaptación de los contenidos digitales a las características vinculadas a este grupo de edad. Estas limitaciones hacen que este grupo de la población sea particularmente vulnerable [2], un ejemplo lo supuso lo sucedido durante la pandemia del Covid-19 [4]. Por todo ello, la inclusión digital de los adultos mayores es considerada una obligación ética de las Administraciones.

El término “Mentor” tiene su origen en la obra “Odisea” de Homero. Durante la década de los 70 en EE.UU. se extendió la idea de “Mentoría” con el objetivo de desarrollar carreras profesionales en el ámbito de la gestión, economía y ciencias humanas. La Mentoría es un proceso en el que una persona con más experiencia (mentor/a) guía a alguien que tiene menos experiencia (mentorizado/a), con el propósito de ayudarle a desarrollar habilidades y resolver desafíos [5]. Por

lo que el Mentor o Mentora es aquella persona que aconseja o guía en el aprendizaje [6]. En España la Mentoría es entendida como el apoyo entre iguales [7], pero en el ámbito de la Mentoría Digital los adultos más jóvenes guían a los mayores, proporcionándoles sus conocimientos y apoyo en el uso de las TIC[8]; ya que existen evidencias de que las personas mayores aprenden utilizando las tecnologías digitales más lentamente que las más jóvenes [9], por ejemplo, el uso de los teléfonos inteligentes [10].

II. CURSO MENTORÍA DIGITAL +55

El Curso Mentoría Digital +55 (CMD +55) de la Universidad de Huelva (UHU) surge como una iniciativa dentro de un proyecto interuniversitario, en colaboración con Cruz Roja, enfocado en el envejecimiento activo (EA).

Dirigido a personas mayores de 55 años que participan en las aulas de la experiencia universitarias, tiene por objetivo crear una comunidad de personas mayores, amantes de las TIC, dispuestas a compartir sus conocimientos y experiencias con aquellas que lo necesiten, ayudándoles a superar sus miedos y desafíos.

A. Diseño y planificación

El diseño y la planificación del CMD +55 fue llevado a cabo por un grupo de especialistas de diferentes áreas relacionadas con la enseñanza, pertenecientes a varias universidades españolas.

Se establecieron 5 unidades didácticas, partiendo de un diseño básico de programación, determinándose la duración de cada unidad, así como sus objetivos de aprendizaje (Tabla I). También se determinaron los contenidos, la metodología, los recursos y la evaluación.

Tabla I
UNIDADES DIDÁCTICAS DEL CMD +55

Unidad	Duración	Objetivos
<i>U1. La mentoría digital</i>	3 horas	Conocer: plataforma, objetivos del curso, barreras/desafíos de Internet, el rol e-mentor. Aprender a motivar.
<i>U2. Conexión y primeros pasos</i>	3 horas	Conocer: necesidades de personas mayores, contexto local y actividades.
<i>U3. Apoyo a medida e individualizado</i>	3 horas	Ajustar hardware y software a las necesidades de los mayores. Aprendizaje individualizado. Plan personalizado de alfabetización digital.
<i>U4. Taller de alfabetización digital</i>	6 horas	Planificar un taller de alfabetización digital. Conocer: principios y metodologías, herramientas y recursos.

U5. Sentido de comunidad, red de mentoría digital	3 horas	Conocer movimientos sociales y uso de redes. Redes de voluntariado y mentoría digital.
---	---------	--

Cada sesión fue diseñada a través de una plantilla de planificación (Tabla II) y cada plantilla detalló los contenidos, la metodología, las actividades a realizar, los recursos y la evaluación. Además, se incluyeron dos apartados para que, una vez finalizada la sesión, el equipo docente anotase posibles recomendaciones y anécdotas.

Tabla II
PLANTILLA DE PLANIFICACIÓN DEL CMD +55

Elementos	Descripción
Identificación Curricular	Programa: Formación de mentores digitales +55 Título de la unidad: Duración: 1,5 horas Sesión: una plantilla para cada sesión
Competencias	Conceptos/Procedimientos/Habilidades/Protocolos/Actitudes y Valores
Contenidos	Específicos para cada unidad Ud 1: aprendizaje dominio y estudios de caso Ud 2: aprendizaje dialógico
Metodología	Ud 3: aprendizaje dominio y basado en proyectos Ud 4: aprendizaje basado en proyectos Ud 5: aprendizaje para el dominio
Modalidad	B-learning A distancia (Autoaprendizaje)
Actividades	Tareas que se van a realizar.
Recursos físicos	Teléfonos móviles, internet, ordenadores, tabletas, láminas, micrófonos...
Recursos materiales	Infografías, texto, animaciones, videos, video presentaciones, realidad aumentada, realidad virtual, foros de discusión...
Evaluación	Herramientas: pruebas, cuestionarios, casos prácticos y proyectos, rúbricas, participación y aportaciones en los foros de discusión...
Recomendaciones para la práctica	Alguna situación de aprendizaje que nos podemos encontrar al poner en práctica la sesión.
Observaciones	Breve síntesis de lo ocurrido en la presentación, en el desarrollo y en el cierre de la tarea
Anécdotas	

B. Impartición

El CMD +55 fue impartido por primera vez durante el curso académico 2023-24, ofertado como una asignatura del Aula de la Experiencia de la UHU titulada: “Afrontando los retos de una sociedad digitalizada; experiencia y apoyo entre iguales”. Se matricularon 13 estudiantes, 11 hombres y 2 mujeres, con edades comprendidas entre los 55 y 70 años. Comenzó a principios de abril y finalizó a mediados de mayo. Participaron 7 docentes, asistiendo de forma general 2 a cada sesión (Figura 1).

Fig. 1. Imágenes de una sesión.



Las clases tuvieron lugar en un aula de informática, garantizando que cada estudiante tuviera acceso a un ordenador con conexión a internet. La duración de cada

sesión fue de 1,5 horas, repartidas en 2 días a la semana, durante 7 semanas.

Los contenidos de cada unidad, las presentaciones, actividades y evaluación se pusieron a disposición del alumnado a través de la plataforma Moodle (Figura 2).



Fig. 2. CMD +55 en plataforma Moodle.

Cada unidad didáctica estuvo compuesta por una descripción general de la unidad, un pretest (para conocer el nivel inicial de conocimientos del alumnado), una guía didáctica, una presentación de los contenidos de la unidad (incluyendo elementos interactivos) y finalmente un cuestionario de autoevaluación. Además, algunos módulos ofrecieron videos tutoriales sobre el manejo de aplicaciones y foros de discusión.

C. Evaluación

Para evaluar el logro de los objetivos propuestos se realizó un seguimiento de los siguientes indicadores: asistencia a clase, participación en las actividades del aula y de la plataforma, y superación de las autoevaluaciones de cada unidad. Se obtuvo el registro de actividad del Moodle, dónde se observan el número de visualizaciones de cada contenido del curso (Tabla III).

Tabla III
REGISTRO DE ACTIVIDAD CMD +55 EN MOODLE

Contenido	Visualizaciones				
	UD1	UD2	UD3	UD4	UD5
Guía didáctica	273	84	69	84	38
Presentación de la unidad	288	180	163	59	79
Autoevaluación	115	79	89	60	49

Además, fueron desarrolladas varias entrevistas en profundidad en las que los y las estudiantes expresaron un alto grado de satisfacción y compromiso con el curso, evidenciando como principales ventajas la obtención de conocimientos técnicos y pedagógicos, el aprendizaje y aplicación de herramientas digitales, y la riqueza de la experiencia en el intercambio con docentes y compañeros de clase. De forma global, tras las observaciones e interacciones en el aula, se determinaron una serie de características que definieron el grupo clase, estas son: actitud positiva hacia el aprendizaje, espíritu crítico, alto nivel de participación en debates y demanda de actividades prácticas.

Cabe destacar que el 92% del estudiantado completaron el curso con éxito, por lo que se les expidió un certificado de reconocimiento y agradecimiento por la labor realizada.

Acorde a las ventajas y limitaciones detectadas se propusieron mejoras centradas en la divulgación y visibilidad

del programa, el ajuste y perfeccionamiento de los materiales diseñados a las características propias de este grupo de edad, el desarrollo de un trabajo de formación más articulado y colaborativo entre el estudiantado, así como el fomento a la participación activa del alumnado en plataformas virtuales de aprendizaje.

III. CONCLUSIONES

Inmersos en la era de la digital, utilizar computadoras, tabletas, teléfonos inteligentes y navegar por Internet son habilidades esenciales que permiten acceder a la información y la comunicación. Poder realizar compras en línea, operar en la banca online y participar en las redes sociales son ejemplos de cómo estas habilidades se aplican a la vida cotidiana.

La desigualdad en el acceso a las TIC en base a criterios económicos, de género o de edad (entre otros) da origen a la denominada brecha digital. Debido a las dificultades en el acceso a la tecnología, el grupo poblacional de adultos mayores ha sido incluido dentro de los colectivos vulnerables. Administraciones y entidades sociales tienen el deber de reducir esta brecha digital, ya que contribuye al aislamiento, reduce la autonomía y afecta negativamente tanto a la salud, como a la calidad de vida de las personas mayores.

Los programas de EA y de alfabetización digital, enfocados y adaptados a las necesidades de los adultos mayores son una buena herramienta para reducir la brecha digital. Así mismo, la Mentoría ha demostrado ser una metodología activa adecuada para el acercamiento de los adultos mayores a las TIC, por facilitar apoyo a un mayor número de personas, de forma más cercana, continua y ajustada a sus necesidades.

El CMD +55 llevado a cabo por primera vez en el Aula de la Experiencia de la UHU ha mostrado resultados satisfactorios en cuanto al acercamiento de los y las participantes al mundo digital, pero, además, se prevé que facilitará el aprendizaje del uso de las TIC a un mayor número de sujetos, ya que cada mentor o mentora podrá asesorar y guiar a otros iguales facilitando la creación de una comunidad en la que se compartan dichos conocimientos. No obstante, para obtener estos resultados, es imprescindible realizar un diseño previo minucioso de la actividad y cuidar cada detalle de la planificación, siendo imprescindible la adaptación de los contenidos a las características y peculiaridades de este grupo poblacional, así como potenciar la perspectiva de género, ya que, de forma general, las desigualdades son más acentuadas a medidas que aumenta la edad. Otro aspecto que destacar es la necesidad de realizar una evaluación continua durante el desarrollo de las actividades, manteniendo una actitud flexible a la hora de ajustar los contenidos a tratar con las demandas de los y las estudiantes.

Por todo lo anterior, el contenido elaborado para el CMD +55 será empleado en futuras acciones educativas que persigan los mismos objetivos.

Finalmente se concluye que la inclusión digital de los adultos mayores supone un peldaño más hacia la consecución de una sociedad igualitaria, justa y tolerante, en la que nadie se queda atrás.

AGRADECIMIENTOS

El CMD +55 ha sido una contribución del Proyecto de I+D+i PID2021-123552OB-I00, financiado por MCIN/ AEI/ 10.13039/501100011033/ FEDER, UE.

REFERENCIAS

- [1] T. Dufva and M. Dufva, "Grasping the future of the digital society," *Futures*, vol. 107, pp. 17–28, Mar. 2019.
- [2] C. Llorente-Barroso, M. Pretel-Jiménez, L. Abad-Alcalá, M. Sánchez-Valle, and M. Viñarás-Abad, "Administración electrónica y comercio electrónico como instrumentos para un envejecimiento activo / E-Administration and e-commerce as tools for active aging," *Aula Abierta*, vol. 47, no. 1, p. 87, Jan. 2018.
- [3] R. Casado Muñoz and F. Lezcano Barbero, "Inclusión digital y envejecimiento activo: la participación de los mayores en las redes sociales / Digital inclusion and active aging: the participation of the elderly in social networks," *Aula Abierta*, vol. 47, no. 1, p. 113, Jan. 2018.
- [4] A. Seifert, S. R. Cotten, and B. Xie, "A Double Burden of Exclusion? Digital and Social Exclusion of Older Adults in Times of COVID-19," *Journals Gerontol. Ser. B*, vol. 76, no. 3, pp. e99–e103, Feb. 2021.
- [5] P. B. Single and C. B. Muller, "Electronic mentoring: Issues to advance research and practice," ... *Mentor. Assoc. Annu. Meet.*, 1999.
- [6] "beMentoring." [Online]. Available: <https://bementoring.com/conoces-el-origen-del-termino-mentor/>.
- [7] M. García García, L. Oliveros Martín-Varés, C. Ruiz de Miguel, and A. Valverde Macías, "Innovación en la Orientación Universitaria. Una experiencia : red de estudiantes mentores en la Universidad Complutense (REMUC)," *Context. Educ. Rev. Educ.*, vol. 0, no. 6, p. 331, 2004.
- [8] W. Marcinkus Murphy, "Reverse mentoring at work: Fostering cross-generational learning and developing millennial leaders," *Hum. Resour. Manage.*, vol. 51, no. 4, pp. 549–573, Jul. 2012.
- [9] I. Calvo, J. A. Elorriaga, A. Arruarte, M. Larrañaga, and J. Gutiérrez, "Introducing computer-based concept mapping to older adults," *Educ. Gerontol.*, vol. 43, no. 8, pp. 404–416, Aug. 2017.
- [10] B. J. Blažič and A. J. Blažič, "Overcoming the digital divide with a modern approach to learning digital skills for the elderly adults," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 25, no. 1, pp. 259–279, Jan. 2020.

Funciones de distribución para precipitaciones extremas en ingeniería

Raúl Montes Pajuelo, Ángel Mariano Rodríguez Pérez, César Antonio Rodríguez González.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Huelva

Campus de «El Carmen», Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n. 21007 Huelva (España)

raul.montes@dcu.uhu.es, angel.rodriguez@dcu.uhu.es, cesar@uhu.es

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de precipitaciones extremas incluye la selección de una secuencia de observaciones máximas o mínimas de un conjunto de datos de precipitación [1]. Existen tres distribuciones de valores extremos [2,3] (extreme value distribution, EVD por sus siglas en inglés) que se utilizan para modelar estos fenómenos extremos:

- EVD I o distribución de Gumbel [4].
- EVD II o distribución de Frechet [5].
- EVD III o distribución de Weibull [6].

El objetivo del presente trabajo consiste en comparar el modelado que proporcionan estas tres funciones de distribución para así, decidir cuál es preferible en cada caso.

II. FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE PRECIPITACIONES EXTREMAS

Empezaremos con un breve estudio de las funciones de distribución de probabilidad de las tres funciones mencionadas anteriormente.

- EVD I o distribución de Gumbel:

Su función de distribución es

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-\beta}{\alpha}}} \quad (1)$$

donde α y β son los parámetros de escala y posición respectivamente. Para ajustar la función a la muestra utilizamos el método de la máxima verosimilitud, obteniendo las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \alpha \left(\ln n - \ln \sum_{i=1}^n e^{-x_i/\alpha} \right) \quad (2)$$

$$\bar{x} = \alpha + \frac{\sum_{i=1}^n x_i e^{-x_i/\alpha}}{\sum_{i=1}^n e^{-x_i/\alpha}} \quad (3)$$

Donde x_i , $i = 1, \dots, n$, es la muestra y n su tamaño.

La segunda ecuación se resuelve utilizando algún método numérico y obtenemos una estimación del parámetro α , luego, introduciendo dicha estimación en la primera ecuación obtenemos la estimación del parámetro β .

En nuestro trabajo hemos utilizado el método de Newton-Raphson para resolver la primera ecuación y hemos resuelto el caso con el software R.

- EVD II o distribución de Frechet:

La función de distribución de la EVD II es:

$$F(x) = e^{-(x/\beta)^{-\alpha}} \quad (4)$$

donde α es el parámetro de escala y β el parámetro de posición. Aplicando el método de la máxima verosimilitud se obtienen las ecuaciones:

$$n \left(\frac{1}{\alpha} + \ln \beta \right) = \sum_{i=1}^n \left[\ln x_i - \left(\frac{x_i}{\beta} \right)^{-\alpha} \cdot \ln \left(\frac{x_i}{\beta} \right) \right] \quad (5)$$

$$\beta = \left(\frac{n}{\sum_{i=1}^n x_i^{-\alpha}} \right)^{1/\alpha} \quad (6)$$

Donde x_i , $i = 1, \dots, n$, es la muestra y n su tamaño.

Introduciendo la segunda ecuación en la primera y utilizando algún método de resolución numérica, se obtiene la estimación de α . Luego, introduciéndola en la segunda ecuación se obtiene la de β .

Se ha utilizado el método de Newton-Raphson y resuelto el caso con R.

- EVD III o distribución de Weibull:

Su función de distribución es la siguiente:

$$F(x) = 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha} \quad (7)$$

Donde α es el parámetro de forma y β el de escala.

En este caso, se verifica que:

$$E(X) = \bar{X} = \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \tag{8}$$

$$Var(X) = S_X^2 = \beta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right)^2 \right] \tag{9}$$

Donde Γ es la función gamma. Por ello, aplicando el método de los momentos y utilizando algún método de resolución numérica se obtienen las estimaciones de α y β .

Otra vez, se ha usado el método de Newton-Raphson y resuelto el caso con R.

III. ÁREA DE ESTUDIO Y CONJUNTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN

La cuenca de estudio es la del Alto Palmones que vierte al embalse de Charco Redondo.

Se han seleccionado una serie de valores de precipitación máxima anual de 24h de la estación meteorológica de Castellar de la Frontera. Se disponen de datos desde 1972 hasta 2023. En la tabla 1 se muestra un resumen estadístico del conjunto de datos y en la figura 1 su representación gráfica.

Tabla I
RESUMEN ESTADÍSTICO DEL CONJUNTO DE DATOS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES DE 24 HORAS

Tamaño muestra	Media (mm)	Desviación Típica	Coficiente Variación	Coficiente Asimetría
52	98,08	44,21	0,45	1,30

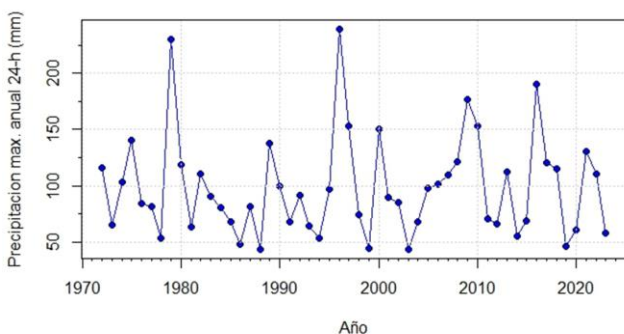


Fig. 1. Representación gráfica de los datos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar la bondad de ajuste para las 3 funciones analizadas, se utilizan las pruebas de Kolmogorov-Smirnov [7] y de Anderson-Darling [8]. Ambas pruebas muestran que la bondad de ajuste es aceptable para las tres funciones.

Las distribuciones presentan pequeñas diferencias como puede observarse en la figura 2, adoptando como distribución empírica la fórmula de Weibull.

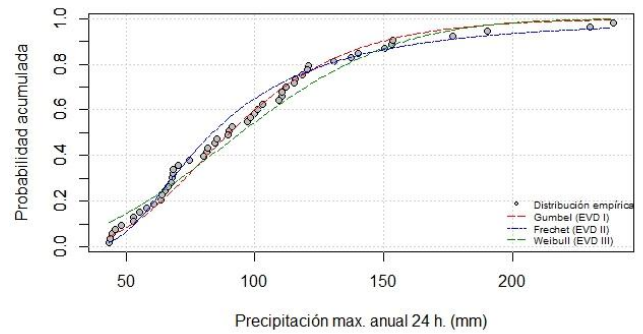


Fig. 2. Comparación entre distribuciones.

El periodo de retorno (T) puede definirse como el tiempo medio que transcurre para que un evento determinado de precipitación máxima anual de 24 horas se iguale o supere en un año posterior en sentido estadístico.

Podemos expresar la precipitación máxima anual de 24 horas como función del periodo de retorno con la siguiente fórmula:

$$x = F^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right) \tag{10}$$

Aplicando la ecuación anterior a las tres funciones de distribución estudiadas para T comprendido entre 1,2 y 500 años obtenemos las gráficas de precipitación máxima anual de 24 horas frente al periodo de retorno. Estas gráficas se muestran conjuntamente para las tres funciones de distribución en la figura 3.

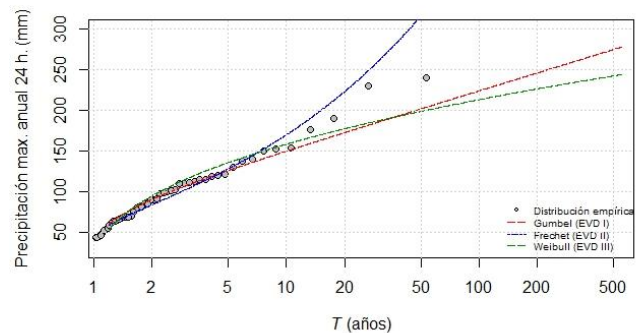


Fig. 3. Precipitación máxima anual de 24 horas frente al periodo de retorno.

En la figura anterior puede observarse que la EVD II (Frechet) es inestable, por ello, desaconsejamos su uso. Por otra parte, para periodos de retornos altos ($T > 100$), y siempre que interese la estabilidad, la función que proporciona mayor valor de precipitación máxima anual de 24 horas es la EVD I (Gumbel), mientras que, para periodos de retorno bajos ($T < 50$), es la EVD III (Weibull).

V. CONCLUSIONES

Por cuestión de seguridad, para algunos tipos de infraestructuras en el ámbito urbano (alcantarillado, drenajes, obras de paso, tanques de tormentas, cubiertas y bajantes), la distribución que proporciona mayor valor de precipitación máxima anual de 24 horas para periodos de retorno altos ($T > 100$) es preferida [9]. En este caso, y siempre que interese la estabilidad, se aconseja el uso de la EVD I (Gumbel). Si la inestabilidad no es problema, entonces se aconseja la EVD II (Fréchet).

Para infraestructuras hidráulicas como embalses, vertederos de presas y canales, para el cálculo interanual de sedimentos de una cuenca, es preferible la función que proporcione mayor valor de precipitación máxima anual de 24 horas para periodos de retorno bajos ($T < 50$) [10]. En este caso se recomienda el uso de la EVD III (Weibull).

REFERENCIAS

- [1] Haan, C.T. *Statistical Methods in Hydrology*, 2nd ed.; Iowa State University Press: Ames, IA, USA, 2002.
- [2] Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. *Applied Hydrology*, McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1988.
- [3] Coronado-Hernández, Ó. E., Merlano-Sabalza, E., Díaz-Vergara, Z., Coronado-Hernández, J. R. Selection of hydrological probability distributions for extreme rainfall events in the regions of Colombia. *Water*, 12(5), (2020) 1397.
- [4] Gumbel, E.J. The return period of flood flows. *Ann. Math. Stat.* 1941, 12, 163–190.
- [5] Ramos, P. L., Louzada, F., Ramos, E., & Dey, S. (2019). The Fréchet distribution: Estimation and application - An overview. *Journal of Statistics and Management Systems*, 23(3), 549–578.
- [6] Hallinan, A. J. (1993). A Review of the Weibull Distribution. *Journal of Quality Technology*, 25(2), 85–93.
- [7] Molin, P.; Abdi, H. *New Table and Numerical Approximations for Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors/van Soest Normality Test*; University of Bourgogne: Dijon, France, 1998.
- [8] Nelson, L. S. (1998). The Anderson-Darling Test for Normality. *Journal of Quality Technology*, 30(3), 298–299.
- [9] Témez, J.R. Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. *Rev. Obras Públicas* 2003, 3430, 47–51.
- [10] Rodríguez González, C.A.; Rodríguez-Pérez, Á.M.; López, R.; Hernández-Torres, J.A.; Caparrós-Mancera, J.J. Sensitivity Analysis in Mean Annual Sediment Yield Modeling with Respect to Rainfall Probability Distribution Functions. *Land* 2023, 12, 35.

Simbiopark

Identificación de ciclos de materiales, agua y energía en entornos industriales

Clara Plata Ríos, Daniel González-Bootello García

Smart City Cluster

C/ Severo Ochoa, 4, 29590, Málaga

clara@smartcitycluster.org, daniel@smartcitycluster.org

Resumen- El proyecto Simbiopark tiene como objetivo desarrollar una metodología que permita aplicar eficazmente el concepto de la economía circular a entornos industriales (parque científico-tecnológicos y polígonos industriales), en lo que se conoce como Simbiosis Industrial. Para ello, se ha desarrollado un procedimiento que permite identificar entidades que puedan compartir recursos (materiales, agua y energía) así como las herramientas digitales necesarias para visualizar y gestionar los ciclos una vez creados. En este trabajo se presentan los primeros resultados sobre la metodología diseñada y testada en tres entornos industriales diferentes, que se emplearán en sucesivos proyectos para diseñar herramientas basadas en inteligencia artificial y gemelos digitales para optimizar los ciclos identificados y avanzar en el concepto de parques industriales inteligentes y sostenibles.

Palabras Clave- Economía Circular, Simbiosis industrial.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema económico actual está basado en un modelo de crecimiento que depende fuertemente del consumo de materias primas. Este modelo lineal de “coger – usar – tirar” ha tenido como consecuencia una presión excesiva sobre el medio ambiente que ha llevado a alguna de las manifestaciones más graves de la crisis ambiental que estamos sufriendo, como el cambio climático o la pérdida de biodiversidad.

Para contrarrestar estos efectos, es necesario encontrar nuevos modelos económicos en los que el uso de materias primas esté desacoplado del crecimiento económico, dando tiempo a estos recursos a regenerarse sin necesidad de frenar el mencionado crecimiento.

En el ámbito industrial, la economía circular tiene aplicaciones a muchos niveles, siendo la simbiosis industrial uno de los más exitosos [1]. Se define la simbiosis como la asociación entre animales o vegetales de diferentes especies de manera que ambos obtienen provecho de esta. Inspirada en las relaciones simbióticas existentes en la naturaleza [2] [3], el concepto de simbiosis industrial refleja las conexiones simbióticas existentes entre empresas que tradicionalmente operan de manera independiente. Estas conexiones están basadas en el intercambio o uso compartido de recursos (materiales, agua o energía). La simbiosis industrial ha demostrado su eficacia en la reducción de las necesidades de materiales, la disminución de las pérdidas de energía, en la mejora económica de las empresas [4] así como en la mejora de la huella ecológica de los procesos industriales [5] y en la adopción de la eco-innovación [6]; creando valor añadido para los actores involucrados.

El proceso de emergencia de una simbiosis industrial puede ser planificado o “auto organizado” [7]. Mientras que las simbiosis planificadas se basan en esfuerzos conscientes

por atraer y unir a las empresas, de modo que puedan intercambiar recursos, las simbiosis auto organizadas surgen de los “núcleos de cooperación” existentes en busca de nuevos avances que apunten a “la reducción de costos, el aumento de los ingresos o la expansión de las empresas”. Hay muchas redes que reflejan el funcionamiento de ambos procesos [8] y son el resultado de una combinación entre ambos: planificada y auto organizada. Muchas simbiosis se desarrollan a través de un “enfoque intermedio” [9] o a través de procesos de facilitación [10].

En este contexto, la Asociación Empresarial Innovadora para las Ciudades Inteligentes (Smart City Cluster) solicitó, a la convocatoria AEI 2021b el desarrollo de un estudio de viabilidad cuya finalidad era consolidar una metodología planificada y auto organizada para el surgimiento de proyectos de simbiosis industrial en parques tecnológicos y entornos industriales. El resultado de ese estudio fue una metodología que permite recabar la información necesaria para la identificación de los ciclos de materiales, agua y energía en entornos industriales, que fue además testada en el Parque Científico Tecnológico de Almería (PITA). Como continuación, se solicitó a la convocatoria AEI 2022 un proyecto dirigido a ampliar el estudio y definir herramientas digitales que permitieran facilitar la aplicación de la metodología desarrollada, en el que se amplió el estudio realizado en el PITA y se añadió un análisis en el Parque Tecnológico de Andalucía (MTP, Málaga) y Polígono Tres Caminos (Puerto Real, Cádiz). En el presente artículo se describen los resultados obtenidos en estos proyectos. Recientemente (Convocatoria AEI 2024) se ha solicitado un nuevo proyecto dirigido a concretar la definición y cierre de ciclos de agua en este tipo de entornos.

II. METODOLOGÍA

Como se ha indicado anteriormente, la finalidad del proyecto Simbiopark es facilitar la aparición de relaciones de simbiosis industrial, tratándose, por tanto, de una metodología de facilitación de cierre de ciclos de materiales, agua y energía [10].

En el proceso de aparición de una simbiosis industrial pueden identificarse tres fases [11]:

- Pre-emergencia: Condiciones, antecedentes y potencial sin explotar para establecer sinergias.
- Emergencia: proceso social y dinámico que se construye sobre factores, agentes y potencial sin explotar que resulta en la creación de enlaces sinérgicos entre, al menos, dos organizaciones. Esta fase, a su vez, incluye tres sub-procesos que no tienen por qué darse de manera secuencial:

- o Aparición del interés en la simbiosis industrial y sus beneficios
- o Creación de conexiones entre organizaciones
- o Organización de las nuevas relaciones y definición de las reglas de funcionamiento.

- Post-emergencia: establecimiento formal de sinergias colaborativas, implementación física y comienzo de desarrollo de una red de simbiosis industrial.

En cada una de las fases anteriores existen condiciones, actores y roles que favorecen el proceso.

La metodología de identificación de ciclos desarrollada en el proyecto Simbiopark se centra en la fase de Emergencia, tomando como punto de partida el interés del órgano gestor del entorno industrial (pre-emergencia) y la información que este tiene sobre su funcionamiento. El esquema de la metodología se muestra en la Fig. 1.



Fig. 2. Metodología de cierre de ciclos de materiales, agua y energía en entornos industriales.

A continuación, se describen cada uno de los pasos mencionados.

A. Paso 1: Análisis.

El objetivo del primer paso es recabar información de las entidades e infraestructuras existentes en un entorno industrial. Para ello, se partió inicialmente de un modelo teórico de ciclo de vida de flujos de recursos existentes en un ecosistema industrial que identificaba cinco sistemas [12]: explotación de recursos, extracción de recursos, producción, consumo y servicios y eliminación y reciclado. A partir de este modelo, se establecieron cuatro categorías de sistemas a analizar: sistemas de explotación, sistemas de producción, sistemas de consumo y servicios y sistemas de eliminación y reciclado.

Para cada uno de ellos se elaboró un cuestionario que tenía como objetivo extraer la información relativa al uso de recursos (materiales, agua y energía) que permitiera identificar las posibles conexiones entre las distintas entidades.

B. Paso 2: Visualización.

Para facilitar el procedimiento de identificación y cierre de ciclos se plantearon tres tipologías de visualización:

Visualización interna: La mejora de la circularidad de los entornos industriales está relacionada con la mejora de la circularidad de las entidades ubicadas en él. Por ello, se buscó también que las entidades participantes visualizaran y mejoraran su circularidad interna, aprovechando mejor sus recursos y encontrando vías para ser más eficaces en el desempeño de su labor. Para ello, los cuestionarios se diseñaron para permitir la realización de esquemas como el que se muestra en la Fig. 2, en los que se muestra un balance entre las entradas y salidas de agua (W_{in} , W_{out}), materiales (M_{in} , M_{out}) y energía (E_{in} , E_{out}) en cada proceso productivo de la entidad, así como las conexiones existentes entre ellos. Este esquema puede emplearse, además, como punto de partida

para realizar recomendaciones sobre cómo mejorar la circularidad interna de las entidades analizadas.

Visualización externa: Para facilitar la visualización de las conexiones entre distintas entidades, se realizó una simplificación del esquema mostrado en la Fig. 2 de manera que cada una de las entidades se representa por una caja negra de la que sólo se conocerán los inputs (agua, materiales, energía y servicios necesarios para el desarrollo de la actividad de la empresa) y los outputs (agua, materiales, energía y servicios ofrecidos por la entidad). Así, los procesos internos de cada una de las entidades quedan ocultos y sólo trasciende la información necesaria para la creación de los ciclos.

Esta manera de visualizar la información es una

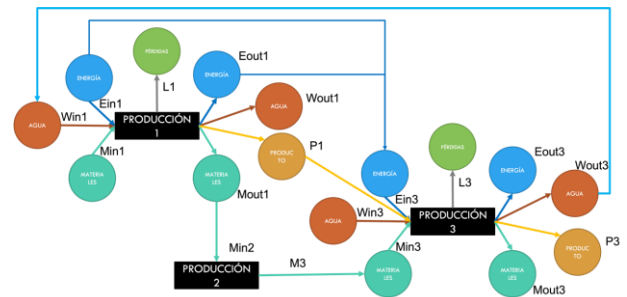


Fig. 1. Ejemplo de cierre de ciclos internos en una entidad con distintos procesos productivos

simplificación de la metodología blueprint [13], que permite transformar cada una de las entidades de un entorno industrial en una “pieza de puzzle” que conectar con otras en función de sus inputs y outputs. La Fig. 3 muestra un esquema de cómo quedaría representada cada entidad de esta manera.



Fig. 3. Representación simplificada de cada entidad empleando la metodología “blueprint”

Geolocalización: Por último, la generación de ciclos tiene un impacto directo en el espacio en el que se ubica el entorno industrial, ya que la creación de una conexión entre dos o más entidades implica establecer una vía para que los recursos que partan de una entidad puedan llegar a la entidad que los necesita. Por ello, es imprescindible contar con información sobre la ubicación de cada una de las entidades que permita identificar las infraestructuras o medios necesarios para establecer la conexión, así como evaluar el coste derivado del transporte para analizar su viabilidad.

C. Paso 3: Matching.

A partir de la información obtenida en el apartado anterior, es posible analizar las posibles conexiones entre entidades. Identificamos tres tipos de matching posible [14]:

Matching directo: se aplica cuando el input de una entidad y el output de otra son coincidentes.

Matching en cadena: se refiere a los casos en los que una relación input-output es imposible o no merece la pena. El matching requiere un preprocesado del output de la fuente, un pretratamiento o una conversión material/energía a formas alternativas. Este tipo de matching, por tanto, requiere del uso

de tecnologías accesorias que habrá que analizar e identificar en términos de viabilidad técnica y económica.

Descomposición de recursos: ocurre cuando determinados tipos de recursos no pueden ser utilizados como tal, pero si son separados en flujos más pequeños sí que pueden identificarse usos para sus partes. Un ejemplo sería un componente de desecho de una entidad que tuviera dos fases de manera que sólo una de ellas fuera de interés para otra entidad. Al igual que en el caso anterior, será necesario identificar la tecnología necesaria para la separación y analizar la viabilidad técnica y económica del proceso.

Mientras que el matching directo es lo que permite el cierre de ciclos a corto plazo, el matching en cadena y la descomposición de recursos suponen un reto a resolver dada la necesidad de implementar tecnologías a priori no disponibles en el entorno industrial.

D. Paso 4: Optimización

La optimización de los ciclos deriva del hecho de que este tipo de proyectos, para ser realmente efectivos, deben estar vivos y continuamente atentos a modificaciones en su composición y funcionamiento. Podemos encontrar, por tanto, las siguientes variantes:

Mejoras en la circularidad interna de los participantes en los ciclos: Existe la posibilidad de que las entidades participantes en los ciclos, gracias a los análisis realizados o a modificaciones en sus procesos productivos, modifiquen sus entradas y salidas. En este caso, estas modificaciones afectarán a los ciclos en los que participen, debiendo el ciclo adaptarse a las mismas.

Mejoras de infraestructuras: La creación de nuevas infraestructuras o la incorporación de las tecnologías de tratamiento de los recursos compartidos a través del matching en cadena o la descomposición de recursos también afectarán a los ciclos, mejorando la circularidad del sistema.

Incorporación de nuevos agentes: Aunque inicialmente los ciclos se crearán con un subconjunto de las entidades ubicadas en el entorno industrial (generalmente aquellas con más inquietud por mejorar su gestión de los recursos y/o con una mayor sensibilidad por temas medioambientales), una vez que estos estén creados y comiencen a hacerse palpables sus beneficios es de esperar que más entidades del mismo entorno quieran participar en ellos. Los ciclos deberán ser lo suficientemente flexibles como para permitir la incorporación de nuevas entidades con un impacto mínimo.

E. Paso 5: Monitorización

La monitorización de los ciclos es fundamental para asegurar su buen funcionamiento; dotarlos de la flexibilidad necesaria para amortiguar modificaciones en los recursos compartidos y permitir la incorporación de nuevas entidades e infraestructuras.

Además, esta monitorización es necesaria para garantizar la calidad de los recursos que unas entidades cedan a otras, ya que puede ser un aspecto sensible para algunas entidades. Incorporar sistemas que ofrezcan información sobre la composición de un residuo o la calidad de un flujo de agua en tiempo real, por ejemplo, incrementará la confianza de aquellas entidades para las que estas cuestiones sean críticas en sus sistemas productivos, ofreciendo por tanto argumentos para su participación en este tipo de redes.

La contribución de este tipo de sistemas a generar entornos industriales inteligentes es notable, ya que plataformas

similares a las plataformas de ciudad o la creación de gemelos digitales implican la instalación de sensores y permiten la incorporación de otro tipo de información, como por ejemplo estado del tráfico, seguridad o datos climáticos.

F. Testeo de la metodología y resultados

Tras el diseño de la metodología, en el marco del proyecto Simbiopark se realizó un primer test de la misma en un entorno industrial: el PITA. Dado que los pasos 4 y 5 mencionados en la Fig. 1 implicaban la optimización y monitorización de los ciclos ya creados y esto último quedaba fuera del alcance del proyecto, el trabajo de campo realizado cubrió los pasos 1, 2 y 3 y permitió perfeccionar el procedimiento de análisis e identificar las herramientas digitales necesarias para optimizar la metodología.

Para ello, y tras varias reuniones mantenidas con el órgano gestor del PITA, se identificaron un total de 15 entidades e infraestructuras susceptibles de participar en la iniciativa y se realizó una identificación preliminar de ciclos de materiales (orgánicos, plásticos, residuos eléctricos y electrónicos), agua y energía.

La iniciativa se difundió entre estas 15 entidades y finalmente se seleccionaron 3 de ellas para participar en los análisis. A lo largo del Paso 1, Se organizó una primera reunión de contacto online para explicar con detenimiento el procedimiento a cada una de las entidades y luego reuniones presenciales para cumplimentar los distintos cuestionarios.

La Fig 4 muestra un ejemplo anonimizado de la visualización interna de una de las entidades analizadas realizadas en el paso 2 gracias a los resultados de los análisis de las empresas participantes.

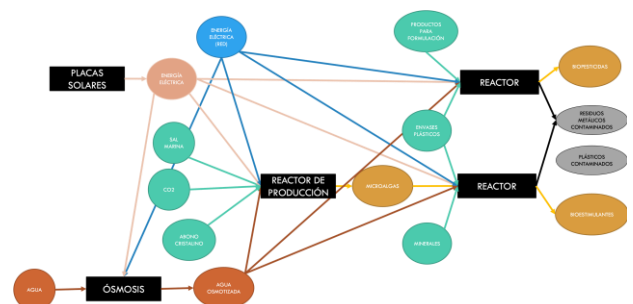


Fig. 4. Visualización interna: ejemplo de cierre de ciclos internos en una entidad con distintos procesos productivos

La Fig. 5 muestra las visualizaciones externas de las empresas analizadas, con una simplificación de los recursos susceptibles de ser compartidos. Por último, la Fig 6 muestra el ciclo identificado empleando matching directo.

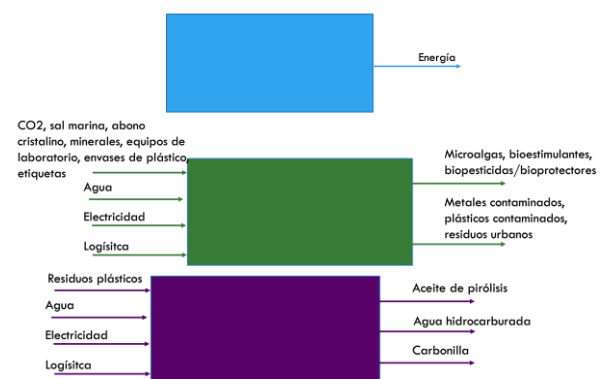


Fig. 5. Visualización externa de las entidades participantes.

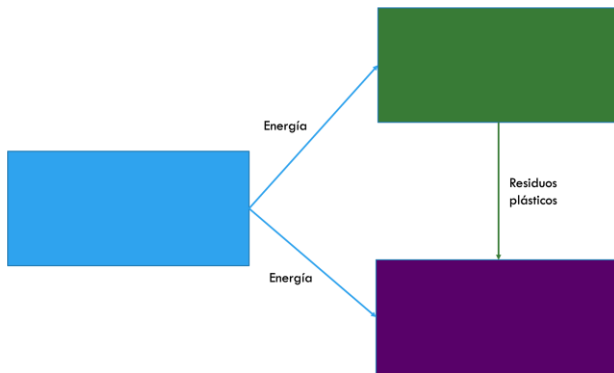


Fig. 6. Visualización externa de las entidades participantes.

El trabajo realizado a lo largo del proyecto Simbiopark fue posteriormente ampliado en el proyecto Simbiopark 2 incorporando a otros dos entornos industriales: el MTO y el Polígono Tres Caminos, elevando el total de empresas analizadas a 19 (11 en el MTP, 4 en el Polígono Tres Caminos y añadiendo una más a las 3 analizadas en el PITA, siendo 4 en total). Los resultados confirman, por una parte, la utilidad de este tipo de análisis para los entornos industriales y las empresas analizadas y, por otro, la necesidad de desarrollar herramientas digitales para facilitar su aplicación y monitorización de los resultados.

Recientemente se ha solicitado un nuevo proyecto (Simbiopark 3) dirigido de manera específica a la identificación, caracterización y cierre de ciclos de agua.

III. CONCLUSIONES

Las conclusiones alcanzadas a lo largo del proyecto se muestran a continuación:

- El concepto de economía circular aún es bastante desconocido y muchas veces se confunde con la sostenibilidad tradicional y el reciclado. La simbiosis industrial es menos conocida aún, aunque despierta el interés de las entidades que la conocen por el potencial que presenta desde el punto de vista de la mejora del uso de los recursos.
- En el sector empresarial existen dudas sobre los beneficios económicos de la aplicación de la economía circular y la simbiosis industrial, aunque la disponibilidad de fondos públicos para desarrollar este tipo de proyectos los hace atractivos.
- Respecto a la metodología, parece ser completa y cubrir los pasos necesarios para identificar ciclos de materiales, agua y energía en entornos industriales.
- En ocasiones, una misma empresa puede identificarse con más de un sistema.
- Los cuestionarios desarrollados, si se centran exclusivamente en los recursos clave de las entidades, son fáciles de comprender y rellenar.
- Las entidades analizadas consideran que convertir la visualización de la circularidad interna de las empresas en un sistema dinámico que pueda actualizarse periódicamente puede ser de gran utilidad para mejorar en este aspecto.
- El empleo de herramientas digitales de visualización y control (gemelos digitales o plataformas) puede ayudar a mejorar notablemente los resultados y la aceptación por parte de las empresas ubicadas en este tipo de entornos.

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos descritos en esta comunicación han sido desarrollados gracias a la convocatoria Agrupaciones Empresariales Innovadoras lanzada por el Ministerio de Industria y Turismo del Gobierno de España, y en concreto a los proyectos con referencia AEI-010300-2021b-17, AEI-010500-2022b-277 y AEI-010500-2024-24.

REFERENCIAS

- [1] Schlüter, L., Mortensen, L., Kornov, L., "Industrial symbiosis and network development through reproduction", *Journal of Cleaner Production*, 252, 119631, 2020.
- [2] Boucher, D.H. "The Biology of Mutualism". *Ecology and Evolution*, Oxford University Press, 1985.
- [3] Bronstein, J.L., "The exploitation of mutualisms", *Ecol. Lett.* 4 (3), 277-287. Wiley, 2001.
- [4] Vergus, V., Dessein, J., Dewulf, A., Lauwers, L., Werkman, R., Termeer, C.J.A.M., "Industrial Symbiosis as sustainable development strategy: adding a change perspective", *Int. J. Sustain. Dev.* 19, 15, 2016.
- [5] Boons, F., Chertow, M., Park, J., Spekkink, W., Shi, H., Industrial "Symbiosis dynamics and the problem of equivalence: proposal for a comparative framework", *J. Ind. Eco.* 21 (4), 938-952, 2017.
- [6] Lombardi, D.R., Laybourn, P., "Redefining industrial symbiosis: Crossing academic-practitioner boundaries", *J. Ind. Ecol.* 16, 28-37, 2012.
- [7] M. R. Chertow, "'Uncovering' industrial symbiosis", *J. Ind. Ecol.*, 11, pp. 11-30 2007. 10.1162/jiec.2007.1110.
- [8] M. Kilduff, W. Tsai, "Social Networks and Organizations", SAGE Publicatios Ltd, London, UK, 2003.
- [9] I. Costa, P. Ferrao, "A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach", *J. Clean. Prod.*, 18, pp. 984-992, 2010. 10.1016/j.jclepro.2010.03.007.
- [10] R.P. Paquin, J. Howard-Grenville, "The evolution of facilitated industrial symbiosis", *J. Ind. Ecol.*, 16, pp. 83-93, 2012. 10.1111/j.1530-9290.2011.00437.
- [11] Mortensen, L., Kornov, L., "Critical factors for industrial symbiosis emergency process", *J. Clean. Prod.* 212, 56-69, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.222>.
- [12] Shi, X., Li, X., "A symbiosis-based life cycle management approach for sustainable resource flows of industrial ecosystem", *J. Clean. Prod.*, 226, 324-335, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.030>.
- [13] Cervo, H., Ferrasse, J.H., Descales, B., Van Etvelde, G., "Blueprint: A methodology facilitating data exchanges to enhance the detection of industrial symbiosis opportunities – application to refinery", *Chem. Eng. Sci.*, 211, 115254, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.115254>.
- [14] Cecelja, F., Raafat, T., Trokanas, N., Innes, S., Smith, S., Yang, A., Zorogios, Y., Korkofygas, A., Kokossis, A., "e-Symbiosis: technology-enabled support for Industrial Symbiosis targeting Small and Medium Enterprises and innovation", *J. Clean. Prod.*, 98, 336-352, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014-08.051>.

Integración de la energía de las corrientes mareales en entornos urbanos costeros: Caso de la desembocadura del río Tinto.

Fomento de la Cultura Científica, Tecnológica y de Innovación en Ciudades Inteligentes

Alvaro C.Alamo, María Reyes Sanchez-Herrera, Juan P. Torreglosa, Juan Antonio Morales, Jesús Clavijo-Camacho, José Antonio Hernandez-Torres.

Departamento Ingeniería Eléctrica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI) Universidad de Huelva (UHU)

Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 21007 Huelva

alvaro.delacruz@didp.uhu.es, reyes.sanchez@dfaie.uhu.es, juan.perez@die.uhu.es, jmorales@uhu.es, jesus.clavijo@die.uhu.es, joseantonio.hernandez@dimme.uhu.es

Resumen- Este artículo analiza las oportunidades de integración de la energía de las corrientes mareales en el mix energético de las poblaciones costeras y, en concreto, su integración en las infraestructuras urbanas existentes para cubrir pequeñas demandas energéticas de forma sostenible. Para ello, se presenta el proyecto “Experiencia piloto de aprovechamiento de corrientes mareales en las costas de Huelva (TidUtil)” el cual consiste en la instalación de una turbina mareomotriz de baja potencia bajo el Puente del Tinto, en la desembocadura del río Tinto, Huelva. Se pretende utilizar la turbina Triton MK II, diseñada para operar en entornos de bajo flujo, con el fin de evaluar su viabilidad en la generación distribuida de energía, utilizando recursos naturales disponibles en áreas urbanas sin necesidad de nuevas grandes infraestructuras. Además, se abordan los retos vinculados a la sedimentación, la acidez del agua y la variabilidad de los flujos, junto con las estrategias de mejora en el diseño y mantenimiento para aumentar la eficiencia y extender la vida útil de las instalaciones.

Palabras Clave- Corrientes mareales, Integración de Energías renovables en infraestructuras urbanas.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los siglos XVII y XVIII, la provincia de Huelva y otras regiones del sur de la península como Cádiz y el Algarve portugués, aprovecharon de manera efectiva la energía de las mareas mediante la construcción de molinos mareales. Estas infraestructuras, ubicadas estratégicamente en estuarios y marismas, como el Molino del Pintado en Ayamonte [1], jugaron un papel crucial en la economía local, permitiendo moler grano mediante el flujo natural de las mareas.

Los molinos mareales, diseñados para almacenar agua durante la pleamar y liberarla durante la bajamar, aprovechaban las diferencias de nivel del agua para generar energía mecánica. En el caso del Molino del Pintado, con sus seis muelas, producía harina que abastecía tanto a la población local como a los barcos que realizaban travesías transatlánticas [2]. Estos molinos se integraban de forma natural en el entorno y la economía, ya que estaban contruidos para maximizar el uso de recursos locales y naturales, siendo fundamentales para la subsistencia de las poblaciones cercanas. Esta tecnología entró en declive tras la revolución industrial. En concreto, el Molino del Pintado funcionó hasta 1946.

El proyecto actual sigue esta misma lógica histórica aprovechando este recurso natural para disminuir el consumo eléctrico de las poblaciones costeras. La turbina Triton Hales MK II aprovechará el flujo de las corrientes de la ría de Huelva para generar energía, empleando una infraestructura existente como es el puente del Tinto; al igual que los molinos mareales aprovechaban el entorno y las condiciones naturales de los estuarios.

La energía oceánica tiene un potencial significativo, aunque difícil de cuantificar. Los estudios más optimistas sugieren que se podrían generar hasta 32 TW de electricidad al año [3]. Estudios más conservadores estiman un potencial total de 337 GW y 885 TWh al año [4].

Las turbinas mareales extraen energía cinética de las corrientes generadas por las mareas, similar a las turbinas eólicas, pero con diferencias clave. Los flujos de las corrientes mareales están confinados entre el lecho marino y la superficie del mar, y pueden concentrarse en un canal, a diferencia de la energía eólica. Las turbinas mareales, con la misma capacidad de potencia nominal que los aerogeneradores, pueden producir cuatro veces más energía por año/m² [5]. Aunque las turbinas mareales operan con velocidades de flujo más bajas, el agua tiene una densidad de 1025 kg/m³ comparada con 1.25 kg/m³ del aire, compensando así las velocidades menores y produciendo la misma potencia [6].

Este efecto se puede apreciar en la Ec. 1. que modela la potencia producida por una turbina.

$$P(t) = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v(t)^2 \quad (1)$$

- P(t) es la potencia hidráulica por unidad de superficie, medida en [W].
- C_p es el coeficiente de potencia, que varía dependiendo de la microturbina considerada.
- A es el área barrida del rotor de la microturbina o el área frontal de la microturbina, medida en [m²].
- v(t) es la velocidad del flujo, medida en [m/s].

El proyecto “Experiencia piloto de aprovechamiento de corrientes mareales en las costas de Huelva (TidUtil)” aprovechará el flujo de las corrientes de la ría de Huelva para generar energía, empleando una infraestructura existente como es el puente del Tinto; al igual que los molinos mareales

aprovechaban el entorno y las condiciones naturales de los estuarios.

En este artículo se presentan los trabajos realizados para establecer la ubicación de la turbina Triton MKII y los primeros análisis de la distribución del flujo en el emplazamiento elegido.

II. DESARROLLO DEL PROYECTO

A. Selección del emplazamiento.

Tras una prospección en las posibles ubicaciones (Desembocadura del Río Tinto y en la Zona 9 del puerto de Huelva) para la turbina en torno a la desembocadura de los ríos Tinto y Odiel en la ría de Huelva, se determina que el lugar con mayor potencial energético para la instalación de la turbina es la desembocadura del río Tinto, en lo que se conoce como Punta del Cebo. La turbina irá instalada debajo del puente del Tinto, el cual une la autovía H-30 con la carretera nacional N-442, en el arco número 14 contando desde la Punta del Cebo (37°12'35"N 6°56'08"W), Fig. 1.

La colocación de la turbina debajo del puente supone una ventaja, ya que no será necesario instalar grandes extensiones de cable submarino, además de poder usar el puente como estructura para colocar el generador fuera del agua abaratando más los costes de instalación.

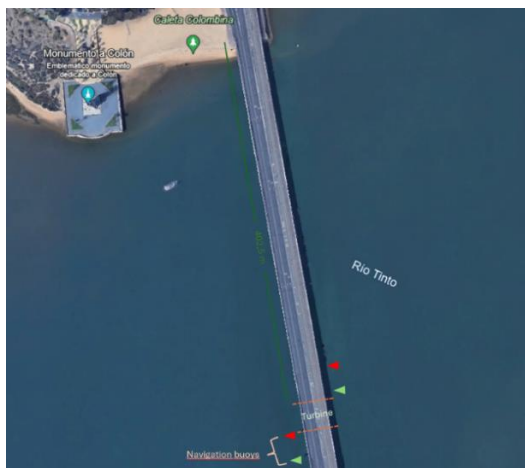


Fig. 1. Localización de la instalación.

B. Análisis del recurso energético (estudios sobre el flujo).

Los datos de flujo se obtuvieron mediante una campaña de medidas con un dispositivo denominado ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) de la marca Teledyne RD Instruments, modelo WorkHorse Centinela. La campaña se inició el día 27 de febrero de 2024 y terminó el 13 de marzo del mismo año. El dispositivo de medida en cuestión se instaló en el mismo lugar en el que se tiene planeado situar la turbina.

Los datos que se han obtenido de la campaña de medidas incluyen datos a distintas profundidades, la primera medida se encuentra a 1.05 metros del fondo y después tenemos 33 medidas más separadas 0.5 metros entre cada una. Por tanto, estamos registrando valores de dirección y magnitud de la corriente a distintas distancias del fondo.

Las velocidades horizontales a lo largo de la capa de agua han mostrado una tendencia en la que la magnitud de la velocidad se incrementa a medida que nos acercamos a la superficie y nos alejamos del fondo, Fig. 2.

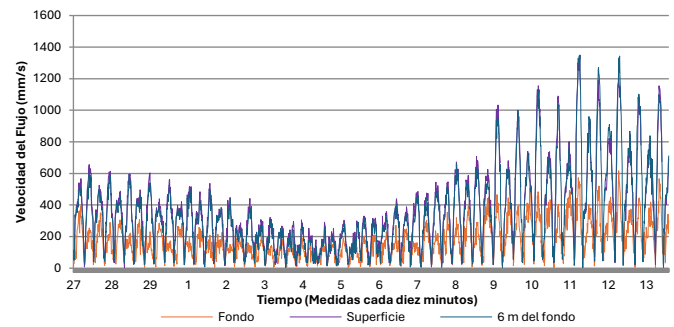


Fig. 2. Magnitud de las velocidades horizontales a distintas profundidades.

Se aprecia que las mayores velocidades se dan cercanas a la superficie, pero las de mayor calidad en cuanto a dirección y a dispersión del flujo se encuentra a 5.55 m del fondo, Fig. 3, Fig.4.

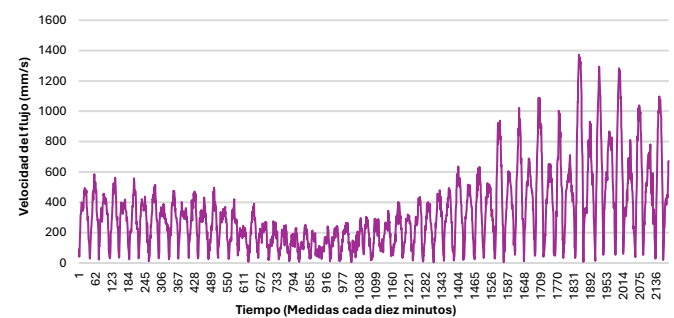


Fig. 3. Velocidades de flujo a 5.55 m del fondo.

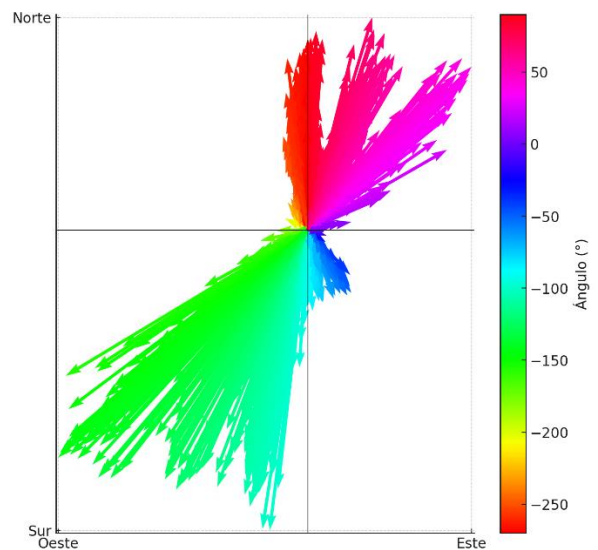


Fig. 4. Dirección de la velocidad horizontal a 5.55 metros del fondo.

C. La turbina seleccionada.

La turbina Triton Hales MK II es una turbina mareomotriz diseñada para operar en condiciones de baja velocidad de flujo, como las que se presentan en la ría de Huelva. Con un diámetro de 1 x 1 metros, su diseño está optimizado para funcionar en corrientes con velocidades de flujo a partir de 0.5 m/s, alcanzando su máxima eficiencia a partir de 1.5 m/s. A pesar de su tamaño compacto, es capaz de generar entre 2 kW y 6 kW de potencia, dependiendo de las condiciones del flujo, Fig. 5. Esta capacidad para operar en flujos de baja velocidad la hace adecuada para entornos donde otras turbinas no serían viables.

Un aspecto clave de la Triton Hales MK II es su instalación sobre una plataforma tipo catamarán, que facilita tanto su posicionamiento en la corriente como su mantenimiento. Este sistema permite sumergir o extraer la turbina del agua con facilidad, lo que simplifica considerablemente las tareas de inspección y reparación. Al no depender de estructuras fijas en el lecho marino, el catamarán proporciona acceso directo a la turbina, reduciendo los tiempos de intervención y los costos asociados a operaciones submarinas, Fig. 6.

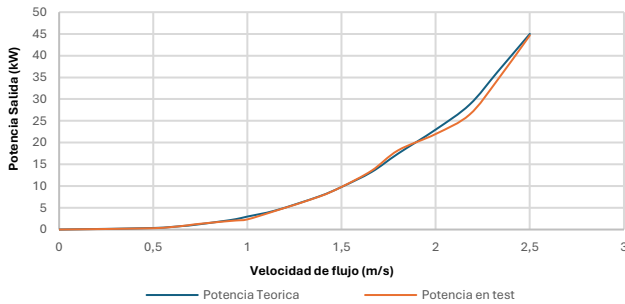


Fig. 5. Curva característica de potencia de la Triton MKII.

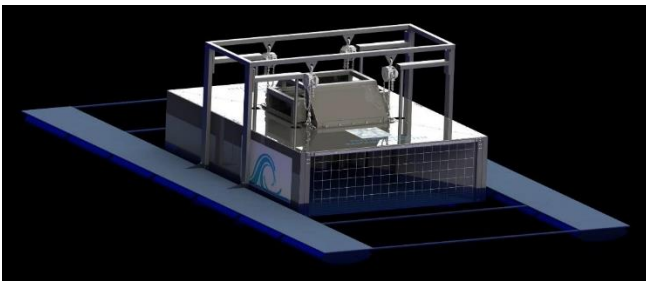


Fig. 6. Estructura del sistema de catamarán.

D. Energía prevista generada por la Triton MKII en el emplazamiento.

La energía prevista que puede producir la turbina instalada bajo el Puente de Colón ha sido evaluada utilizando los datos recogidos de velocidad de flujo mediante el ADCP a lo largo de un periodo de tiempo con un intervalo de medida de diez minutos. En la Fig. 7, se observa la potencia teórica de salida de la turbina, ubicada a una distancia de 5,55 metros del fondo. Durante la mayor parte del tiempo, la potencia generada se mantiene por debajo de 1 kW, con picos que alcanzan los 7 kW en momentos de mayor velocidad de las corrientes. Estos picos se corresponden con fases específicas de la marea, donde las condiciones óptimas permiten que la turbina extraiga una mayor cantidad de energía del flujo mareal.

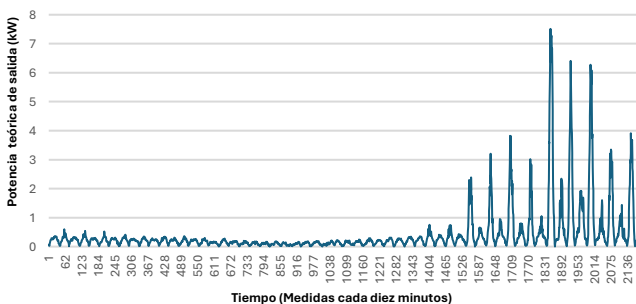


Fig. 7. Potencia hipotética generada por la turbina a 5,55 m del fondo.

En la Fig. 8, se representa la energía generada por la turbina a diferentes distancias del fondo: 5,55 m, 6,05 m y 6,55

m. En este caso, la energía acumulada se mide en kilovatios-hora (kWh) por día, mostrando cómo la producción energética varía según las condiciones mareales a lo largo de los días. A partir del 8 de marzo, se aprecia un aumento significativo en la energía generada, alcanzando picos de hasta 35 kWh/día el día 11 de marzo a una distancia de 6,55 m del fondo. Esta producción máxima de energía coincide con las mareas de mayor intensidad.

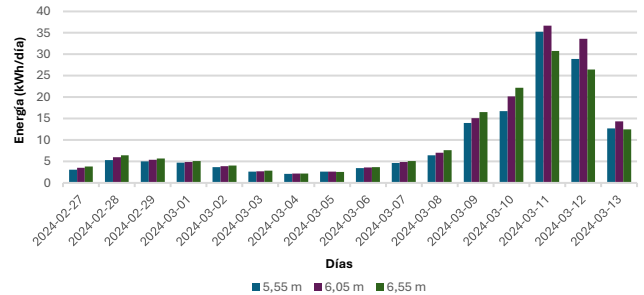


Fig. 8. Energía diaria obtenida a distintas profundidades.

En general, la turbina muestra una tendencia a generar más energía cuando se encuentra instalada a mayores distancias del fondo, como 6,55 metros, lo que indica que, a mayor distancia del fondo, las condiciones del flujo mareal parecen más estables y con mayor potencial para la producción de energía. Sin embargo, incluso a distancias más cercanas al fondo, como los 5,55 metros, se observa una producción energética considerable, aunque con variaciones más pronunciadas. Este análisis inicial demuestra que la turbina puede ofrecer una producción continua de energía con variaciones según las condiciones del flujo de la marea, optimizándose en momentos específicos del ciclo mareal.

III. APLICACIONES FUTURAS Y VIABILIDAD.

En el contexto de las aplicaciones futuras y viabilidad de la energía mareomotriz en entornos urbanos costeros, uno de los aspectos clave es su replicabilidad para satisfacer demandas energéticas específicas. Este proyecto, en la desembocadura del río Tinto, ofrece un enfoque que puede ser aplicado en otras ciudades costeras con características similares.

Un ejemplo parecido, que refuerza esta idea es el estudio realizado en el río Nalón, en el norte de España, descrito en el artículo científico "Obtaining Energy from Tidal Microturbines: A Practical Example in the Nalón River" [7]. En dicho estudio, se implementa una red inteligente (smart grid) basada en un conjunto de microturbinas mareomotrices, cuya energía se utiliza para alimentar un sistema de iluminación inteligente a lo largo de un paseo en la desembocadura del río. Este proyecto, que se limita a su estudio en simulación, destaca por la integración eficiente de la energía mareal en una aplicación práctica y urbana, minimizando el impacto ambiental y los costos de inversión gracias al uso de microturbinas en ubicaciones cercanas a los puntos de consumo.

En ambos casos, tanto en el proyecto de la ría de Huelva como en el del Nalón, se demuestra la viabilidad de utilizar la energía generada a partir de corrientes mareales para abastecer demandas específicas en entornos urbanos, como la iluminación de espacios públicos o la alimentación de pequeños servicios eléctricos. Estos proyectos son escalables y adaptables a diferentes localizaciones costeras, con la

ventaja adicional de que se pueden instalar en infraestructuras existentes o en nuevas zonas de desarrollo urbano.

Esta adaptabilidad a las características locales y la integración en redes inteligentes hacen de este tipo de instalaciones una solución prometedora para el abastecimiento energético en ciudades costeras donde otro tipo de recursos no se encuentran presentes como pudieran ser las lluvias que abastecen las presas hidráulicas.

IV. CONCLUSIONES.

El desarrollo de proyectos como el de la turbina Triton Hales MK II bajo el Puente de Colón demuestra que la energía mareomotriz tiene un gran potencial para su uso en entornos urbanos costeros. A través de la integración en infraestructuras ya existentes, como puentes o muelles, es posible generar energía de manera eficiente incluso en condiciones de corrientes de baja velocidad. Este enfoque no solo maximiza el uso de los recursos naturales disponibles, sino que también minimiza la necesidad de nuevas construcciones y reduce el impacto ambiental de la instalación.

La capacidad de este tipo de tecnología para operar de forma eficiente en condiciones de baja velocidad de flujo es clave para su aplicación en otras áreas urbanas costeras. La implementación de turbinas compactas, como la Triton Hales MK II, que pueden instalarse en plataformas flotantes y ser mantenidas de manera sencilla, permite que esta tecnología sea altamente adaptable a distintos escenarios, desde puertos hasta desembocaduras de ríos en otras ciudades costeras.

Por otro lado, la replicabilidad de este tipo de proyectos en otras ciudades, como lo muestra el caso del río Nalón, es un indicador sólido de su viabilidad técnica y económica. La generación de energía para aplicaciones urbanas específicas, como la iluminación pública o el abastecimiento de pequeñas redes, constituye una vía prometedora para reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales en áreas costeras, donde el recurso mareal es accesible y planificable.

En conclusión, los proyectos de energía mareomotriz en entornos urbanos no solo son factibles desde el punto de vista técnico, sino que ofrecen una opción rentable y adaptable para satisfacer las demandas energéticas específicas de las ciudades costeras. El éxito de estos proyectos dependerá de su integración en infraestructuras existentes, la optimización del diseño de las turbinas para las condiciones locales y su abaratamiento, y el enfoque en aplicaciones energéticas de pequeña a mediana escala.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto del Plan Complementario de Ciencias Marinas. Código de expediente PCM_00024, cofinanciado por la Junta de Andalucía y por la Unión Europea a través de los fondos NextGenerationEU del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.



REFERENCIAS

- [1] «Visite el Ecomuseo mareal molino “El Pintado”», Web de Turismo de Ayamonte. Accedido: 19 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ayamonte.info/ecomuseo-molino-del-pintado/>
- [2] D. G. Martín, J. L. Rivera, P. N. Santana, J. R. Fito, y P. S. Aguiló, «EL MOLINO MAREAL DE “EL PINTADO” (AYAMONTE):».
- [3] A. Wahyudie, M. A. Jama, T. B. Susilo, O. Saeed, C. S. A. Nandar, y K. Harib, «Simple bottom-up hierarchical control strategy for heaving wave energy converters», *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 87, pp. 211-221, may 2017, doi: 10.1016/j.ijepes.2016.10.010.
- [4] A. De Andres, A. MacGillivray, O. Roberts, R. Guanche, y H. Jeffrey, «Beyond LCOE: A study of ocean energy technology development and deployment attractiveness», *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 19, pp. 1-16, feb. 2017, doi: 10.1016/j.seta.2016.11.001.
- [5] A. Hussain, S. M. Arif, y M. Aslam, «Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 12-28, may 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.12.033.
- [6] A. S. Bahaj, A. F. Molland, J. R. Chaplin, y W. M. J. Batten, «Power and thrust measurements of marine current turbines under various hydrodynamic flow conditions in a cavitation tunnel and a towing tank», *Renewable Energy*, vol. 32, n.º 3, pp. 407-426, mar. 2007, doi: 10.1016/j.renene.2006.01.012.
- [7] E. A. Alvarez, M. Rico-Secades, D. F. Suárez, A. J. Gutiérrez-Trashorras, y J. Fernández-Francos, «Obtaining energy from tidal microturbines: A practical example in the Nalón River», *Applied Energy*, vol. 183, pp. 100-112, dic. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.08.173.

Tecnologías de gemelos digitales (DTT) para la Digitalización de Servicios de Mantenimiento.

Caso de taller y flota ferroviaria

Antonio Sánchez-Herguedas¹, Alfonso José Carballo Menayo¹, Ángel Mena Nieto²

1. Escuela Técnica Superior de Ingeniera (ETSI). Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla, Spain
2. Escuela Técnica Superior de Ingenieros (ETSI). Universidad de Huelva. Campus El Carmen, 21819 Huelva, Spain

antoniosh@us.es, alfcarmen@alum.us.es, mena@uhu.es

Resumen- La digitalización en la Gestión del Mantenimiento se ha convertido en un factor fundamental para incrementar la eficiencia operativa, disminuir los tiempos de inactividad y maximizar la vida útil de los activos. La implementación de esta tecnología facilita el desarrollo de gemelos digitales, los cuales representan virtualmente un objeto físico, sistema o proceso del mundo real, permitiendo su monitoreo, análisis y simulación en tiempo real.

El desarrollo de un gemelo digital exige la consideración de varios aspectos clave, como la adecuada recolección, análisis y utilización de los datos generados por los activos a lo largo de su ciclo de vida. Asimismo, es esencial diseñar un modelo de datos que represente de manera precisa tanto los activos como los procesos, y la creación de aplicaciones o microservicios dedicados al análisis y simulación. La información generada necesita ser almacenada eficientemente, la tendencia actual favorece el uso de plataformas en la nube (cloud), donde se gestionan diversos tipos de bases de datos.

El proceso se completa cuando los datos se visualizan de manera efectiva para apoyar la toma de decisiones mediante paneles de control (dashboards), informes o alertas en tiempo real. Sin embargo, el diseño de un gemelo digital enfrenta dos desafíos principales: primero, la creación de modelos de datos que sean heredables, escalables y compatibles con otros sistemas, lo que permitirá la integración y crecimiento del gemelo; y segundo, la elección de la plataforma adecuada para el almacenamiento y ejecución de programas, la cual debe ser capaz de manejar grandes volúmenes de datos, garantizar su integridad y accesibilidad, manteniendo a la vez un costo viable para el proyecto empresarial.

Este enfoque se ejemplifica para el caso de la digitalización de la gestión de mantenimiento en un taller y una flota de vehículos ferroviarios.

Palabras Clave: Gemelo Digital; Digitalización; Modelo de datos; Modelos inteligentes de mantenimiento.

I. INTRODUCCIÓN

En el entorno de desarrollo tecnológico actual de la gestión del mantenimiento, no aplicar la digitalización puede hacer que las organizaciones queden relegadas. La aplicación de esta tecnología debe ser analizada desde una perspectiva empresarial global, analizando ventajas e inconvenientes. Los puntos fuertes de la digitalización del mantenimiento pueden resumirse en:

- Mejora de la eficiencia operativa, al permitir una gestión más eficiente de los recursos, optimizando costos y tiempos de respuesta en la toma de decisiones.
- Acceso a tecnologías avanzadas, el uso de IoT y AI proporciona herramientas para la toma de decisiones basadas en datos, mejorando la detección temprana del fallo y el mantenimiento predictivo.
- Mejora de la sostenibilidad, ya que las herramientas digitales ayudan a cumplir con sus objetivos de sostenibilidad.

Estas fortalezas fomentan una serie de oportunidades que las organizaciones pueden utilizar para posicionar la gestión del mantenimiento, como: la mejora en la implementación de las técnicas de mantenimiento predictivo, la posibilidad de mejorar la agilidad operativa, respondiendo rápidamente a las perturbaciones y la escalabilidad, posibilitando simulaciones más complejas.

Sin embargo, las organizaciones no están preparadas para asumir estas tecnologías, debido a la falta de infraestructura digital, a la resistencia al cambio de las plantillas y a la fuerte inversión inicial, tanto en infraestructura como en formación. El uso de estas tecnologías conlleva la exposición a riesgos de ciberseguridad, pudiendo abrir nuevas vulnerabilidades, lo que podría poner en riesgo la integridad de los datos y la operativa de la organización.

Digitalizar los procesos de mantenimiento proporcionan a las organizaciones mejoras en varias áreas:

- Aumento de la eficiencia al reducir el tiempo necesario para identificar y abordar problemas debido a los diagnósticos automatizados, la programación inteligente o la supervisión remota.
- Ahorro de costes al optimizar el tiempo de inactividad no planificado, mediante el uso de modelos predictivos y reduciendo las tareas preventivas y las reparaciones no necesarias, prolongando la vida útil de los activos.
- Aumento de las capacidades predictivas permitiendo predecir cuándo y dónde es probable que se produzcan fallos. Esto se consigue debido al uso de datos en tiempo real procedente de sensores IoT, algoritmos de IA y modelos de aprendizaje automático.

- Mejora de la fiabilidad de los activos, la utilización de datos en tiempo real permite tomar decisiones más precisas, reduciendo la probabilidad de fallos inesperados y aumentando la fiabilidad del sistema.
- La toma de decisiones basada en datos posibilita la optimización de las actividades de mantenimiento y alinear su estrategia con los objetivos organizacionales.
- Los procesos digitales permiten prácticas de mantenimiento más sostenibles, al reducir los residuos, mejorar la eficiencia energética y optimizar los recursos.

Hay que hacer algunas consideraciones referidas al concepto de digitalización de activos y al framework para la digitalización antes de enfrentarse a la digitalización. Posteriormente se trata la estructura del dato para los activos digitales y la plataforma para ubicar los datos y modelos.

II. CONSIDERACIONES SOBRE LA DIGITALIZACIÓN

II.1. Concepto de digitalización de activo

En la literatura inglesa se utilizan tres términos relacionados con la digitalización: digitisation, digitalisation y digital transformation. Cada uno tiene su propio significado y una particular traducción al castellano.

Asset digitisation: Se refiere a la creación de un modelo fundacional de datos e información para un activo físico en formato digital. Se genera un gemelo digital (GD) con el necesario nivel de detalle. La digitisation es la conversión básica de algo físico a digital.

Asset digitalisation: Va más allá de la digitisation para abarcar la mejora y transformación de procesos, productos y servicios, empezando por la creación y actualización continua del GD. Busca la mejora del valor y la gestión de los activos. La digitalisation se enfoca en cómo las herramientas digitales pueden usarse para transformar o mejorar procesos y la manera en que se obtiene valor.

Digital Transformation: Es un enfoque estratégico amplio que se alinea con los objetivos de transformación empresarial, donde se redefine su cultura, sus operaciones, sus productos y la experiencia del cliente a través de la tecnología digital. La digitalisation es parte de la transformación digital y ayuda a la configuración de los resultados empresariales y sociales.

II.2. Framework y Normas para la digitalización

Para diseñar un GD es necesario crear un framework. Para su definición hemos considerado varias Normas y dos marcos de referencia (RAMI 4.0 e IIRA) para abordar la integración de los activos digitales en el contexto de la industria 4.0 y la IIoT.

ISO/IEC/IEEE 42010:2011, Ingeniería de sistemas y software - Descripción de la arquitectura. Esta norma define la arquitectura como la estructura fundamental de un sistema, incluida la estructura de sus componentes, sus relaciones y los principios y directrices que rigen su diseño y evolución a lo largo del tiempo. UNE-EN IEC 81346-1:2022, Sistemas industriales, instalaciones y equipos y productos industriales. Principios de estructuración y designaciones de referencia. Parte 1: Reglas básicas. La Norma ofrece principios para la clasificación y designación de objetos dentro de sistemas, equipos y plantas industriales. También ofrecer un lenguaje común para identificar los componentes del sistema en

función de su función, ubicación y tipo de producto. Garantiza la coherencia y la operabilidad entre diferentes plataformas y tecnologías, como IoT, GDs y sistemas de gestión de activos. UNE-EN ISO 14224:2016, Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Trata la recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos.

Además de las normas, se han desarrollado dos marcos de referencia para la digitalización de activos. El RAMI 4.0 es una arquitectura de referencia, esencialmente es una "guía" que estructura las tecnologías de la Industria 4.0 en tres ejes principales, facilitando la comprensión y planificación de la digitalización industrial: El primer eje estructura los niveles de jerarquía para la digitalización, muestra los niveles en una planta industrial (desde el producto hasta las conexiones con la nube). El segundo eje trata el flujo de valor del ciclo de vida del producto o sistema. El tercer eje desarrolla las capas funcionales, que representan la arquitectura tecnológica requerida para la digitalización, capa de activo, de integración, de comunicación, de información, de funciones y de negocio. Una de las capas más importantes en este modelo es la capa de "Activo" que representa los activos físicos. El Asset Administration Shell (AAS) o Concha de Administración de Activos, es la representación digital de un activo físico dentro del ecosistema de la Industria 4.0. El AAS actúa como el GD del activo físico, reuniendo toda la información relevante sobre él, como datos técnicos, características de operación, estado actual, capacidades y funcionalidades, posicionamiento. Esta representación permite que el activo pueda ser monitorizado, gestionado, y comunicado dentro del entorno industrial interconectado.

El IIRA es otro marco clave, diseñado específicamente para el IIoT con el objeto de diseñar e implementar soluciones que sean escalables, interoperables y seguras, basadas en la modularidad de la construcción. El IIRA está basado en un modelo de cuatro capas que organizan y clasifican los componentes del sistema IIoT. Las capas son:

- Capa de Dispositivos Físicos, incluye a los activos físicos y dispositivos conectados en el entorno industrial, como: sensores, actuadores, máquinas, robots, etc.
- Capa de Conectividad, se enfoca en las tecnologías de comunicación para la transferencia de datos entre dispositivos físicos y los sistemas de procesamiento, como Ethernet, Wi-Fi, 5G o redes industriales.
- Capa de Procesamiento de Datos y Control, se encarga del procesamiento de datos en tiempo real y la toma de decisiones automáticas.
- Capa de Aplicaciones, contiene las aplicaciones y los sistemas de toma de decisiones a nivel gerencial, como ERP o MES. También incluye análisis de datos, IA y otras herramientas avanzadas.

III. ESTRUCTURA DEL DATO PARA ACTIVOS DIGITALES

De acuerdo con las Normas y marcos propuestos se recomienda desarrollar una estructura formada por cuatro tipos de modelos de datos: modelos de definición de activos (ADM), modelo de criticidad del activo (ACM), modelo de monitorización de activos (AMM) y modelos de mantenimiento inteligente de activos (IAMM).

III.1. Modelos de Definición de Activos (ADM).

Este tipo de modelos sirve como marco de referencia para describir y gestionar los datos de los activos procedentes de distintos sistemas, aplicaciones o de la monitorización.

El modelo de definición de activos propuesto incluye cuatro dimensiones para garantizar el registro, clasificación, ubicación y referencia del activo de manera que respalde la digitalización y la integración en los sistemas de gestión:

- Los datos de registro de activos físicos. Su elemento principal es el código que puede ser utilizado como identificador único. Permite el seguimiento y la gestión del activo a lo largo de su ciclo de vida. También sirve como vínculo entre los mundos físico y digital, (permite el desarrollo de GD). Además, el modelo incluye otros datos propios del producto (protocolos, commissioning, potencia, dimensiones, ...).
- Los datos de la estructura técnica del activo. Son datos relacionados con la estructura técnica (frecuencias, herramientas especiales, ...). Este concepto es esencial para componer sistemas más extensos. La estructura técnica del activo está relacionada con la ubicación físicamente ocupada.
- Los datos de clase de activo. La clase de activo describe la tecnología y las especificaciones técnicas del activo, (no depende de su ubicación funcional ni de la estructura técnica). Las clases permite la agrupación de activos según sus características compartidas, (función, tecnología, ...). Se utiliza para definir el catálogo de modos de fallos de cada activo y los planes de mantenimiento.
- Datos del sistema de referencia de activos. Utiliza coordenadas para geolocalizar el activo. Esto es importante para gestionar activos móviles o repartidos en grandes áreas. La integración de este sistema con plataformas IoT mejora aún más la capacidad de rastrear y monitorear activos en tiempo real.

• III.2. Modelo de criticidad del activo (ACM).

Este modelo proporciona la base para la toma de decisiones. Se basa en el análisis de riesgos y propicia la asignación de recursos, priorizando los activos en función de su criticidad. Esto facilita centrar esfuerzos en aquellos activos que tienen el mayor impacto en el negocio (seguridad, rendimiento, disponibilidad, etc.). Este modelo debe proporcionar: aplicabilidad a gran escala del modelo, coherencia con la estrategia de gestión de activos de la organización y capacidad para adaptarse a los cambios a lo largo del tiempo.

El ACM funciona como un componente central al que se conectan otros modelos de gestión de activos. Estas conexiones incluyen la planificación del mantenimiento preventivo, el monitoreo en tiempo real y el análisis del costo del ciclo de vida, entre otros.

III.3. Modelo de monitorización de activos (AMM).

Este modelo proporciona la infraestructura necesaria para el monitoreo y la toma de decisiones en tiempo real. Al utilizar redes IoT y computación en la plataforma, las organizaciones pueden obtener información continua sobre las condiciones de los activos.

Los datos recogidos se procesan utilizando un sistema de extracción, transformación y carga (ETL/ELT), donde las señales se transforman en información significativa y procesable, relacionada con el estado y el rendimiento del activo. Este modelo requiere diseñar las siguientes características: diseño de componentes de las redes de IoT y procesamiento de señales, diseño del sistema de monitoreo de activos, integración con otros modelos de digitalización de activos, integración de hardware y software y definición del servidor de procesamiento centralizado.

Las Redes de IoT y procesamiento de señales constan de tres componentes principales: sensores, nodos y sistemas de computación en la plataforma. Los sensores se instalan en el activo para medir parámetros físicos en tiempo real, (temperatura, vibración, tensión, presión, ...). Los nodos agregan los datos de varios sensores, garantizando una comunicación y transferencia de datos eficientes. En algunos casos, los nodos son responsables del procesamiento local de datos y de transmitir la información a la plataforma. Los sistemas de computación en la nube almacenan, analizan y proporcionan los datos de información.

El diseño del sistema de monitoreo de activos sigue un marco basado en IoT, que incluye tres capas: adquisición y procesamiento local de información, red de transporte de información hasta la plataforma y servidor de procesamiento (responsable de ejecutar el proceso ETL/ELT). Para garantizar la escalabilidad, el sistema puede adoptar una arquitectura basada en microservicios. Este enfoque permite que el sistema maneje datos a gran escala de múltiples activos y garantice que cada componente, ya sea recopilación, almacenamiento o análisis de datos, se pueda administrar de forma independiente y escalar según necesidad.

La integración con otros modelos de digitalización de activos, en tiempo real, permite que las organizaciones pueden obtener una visión integral del rendimiento, el estado y la criticidad de los activos. La integración también incluye los elementos de hardware y software, involucrando los sistemas locales y los basados en la plataforma, para procesar y analizar los datos. Por último, el servidor es el responsable del procesamiento y la gestión centralizada de los datos.

III.4. Modelos de mantenimiento inteligente de activos

Los modelos de gestión del mantenimiento inteligente de activos (IAMM) representan la capa final en la digitalización de activos. Tras la captura, procesamiento y estructuración de los datos de un activo (modelos de definición y monitoreo de activos) y abordada su criticidad (modelo de criticidad), surge la necesidad de conectar con las herramientas de toma de decisiones y gestión. Integran datos históricos y en tiempo real de los activos para desarrollar procesos avanzados que ayuden a la toma de decisiones.

La gestión inteligente de activos se basa en la integración de modelos de datos que permitan la ejecución automática de metodologías: el análisis de causa raíz de fallos (RCFA), el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) o el mantenimiento preventivo y basado en la condición (PM & CBM). La integración de estos modelos de datos garantiza que los procesos de toma de decisiones se optimicen y que se aprovechen las herramientas de simulación y análisis predictivo para generar información procesable.

IV. UBICACIÓN DE LA INFORMACIÓN. PLATAFORMAS

Las plataformas para alojar los GD deben presentar, permitir y almacenar datos estructurados, semiestructurados y no estructurados; depurar y catalogar los datos; ofrecer las herramientas necesarias para el análisis de datos; realizar análisis descriptivos, por ejemplo, presentándolos en forma de cuadro de mandos; simulaciones y análisis prescriptivo o predictivo.

El modelo conceptual de la arquitectura de la plataforma contiene al menos nueve capas: capa de orígenes de datos, capa de aprovisionamiento, capa de almacenamiento y metadatos, capa de procesamiento, capa de servicios, capa de explotación, visualización y publicación de datos, capa de consumo, capa de gobierno de datos y capa de herramientas. La capa de orígenes de datos no es propiamente un elemento de la arquitectura, pero es necesaria ya que representa las posibles fuentes de datos (sensores, aplicación GMAO, aplicaciones en la nube, bases de datos, dispositivos, páginas web, etc.). La capa de aprovisionamiento es responsable de la conexión con los distintos orígenes de datos para poder realizar los procesos de extracción de datos y alojamiento. La capa de almacenamiento y metadatos es la responsable de albergar y organizar todos los datos que se publiquen en la plataforma (espacio de datos). Debe permitir un escalado horizontal y un almacenamiento distribuido. La capa de procesamiento es la responsable de ejecutar todos los procesos de limpieza de datos, extracción, transformación, agregación, entrenamiento de modelos Machine Learning, etc. La capa de servicios debe dotar a la plataforma de funcionalidades de valor añadido, tales como: frameworks de Analítica Avanzada (machine learning, IA), acceso a la capa de almacenamiento distribuido como servicios de BDs, o modelos multidimensionales OLAP que habiliten la analítica descriptiva. La capa de explotación, visualización y publicación de datos es responsable de realizar las conexiones necesarias para publicar estos datos de forma segura (Dashboard). La capa de consumo es la responsable de sacar el máximo provecho a las capas de almacenamiento y procesamiento tras ejecutar las funcionalidades de valor añadido a la plataforma. La capa de gobierno de datos es responsable de la recopilación de prácticas, políticas y roles relacionados con la adquisición, administración y utilización efectiva de datos. El gobierno de datos confirma la calidad y la seguridad de los datos de una organización, determinando quién puede usar qué datos y cuándo. La capa de herramientas es la responsable de proporcionar herramientas a los usuarios finales que les permita llevar a cabo su trabajo de forma cómoda, eficiente y reutilizable.

Se pretende que la arquitectura sea sólida, moderna, modular, extensible y escalable formada por soluciones que se adecuen a las necesidades de los requisitos actuales y futuros de los GDs. La capa de aprovisionamiento integra la solución Apache Kafka, permitiendo realizar el aprovisionamiento en tiempo real de datos gracias a que permite la suscripción a la cola de mensajes. La capa de almacenamiento consiste en un Data Lakehouse, compuesto por un Data Lake que almacena datos brutos (datos bronce) y un Data Warehouse que almacena datos estructurados y/para procesamiento (plata y oro). Esta capa requiere procesar y curar los datos, para ello utiliza MinIO, una solución basada en objetos, compatible con Amazon S3 y utilizada para el almacenamiento distribuido en el Data Lake. También

utilizará Apache Hive Metastore, una solución para gestionar enormes datasets, realizar consultas y catalogación de los metadatos. La capa de procesamiento distribuido incluye las tecnologías seleccionadas para la transformación, limpieza, agregación y procesamiento de datos y modelos. Utiliza TRINIO como motor de consultas y Apache Spark como framework para la construcción de sistemas de computación distribuida. Las soluciones de la capa de servicio son ClickHouse, una base de datos columnar y Mlflow para simplificar el ciclo de vida del aprendizaje automático. La capa de explotación y visualización utiliza soluciones de interfaz como Superset, y de administración de bases de datos como CloudBeaver. La capa de gobierno de datos utiliza el almacén de metadatos OpenMetaData. La capa de herramientas utiliza DBT para construir y gestionar pipelines de datos; Dagster para la orquestación de flujos de datos; JupyterLab crear y compartir documentos web; y Apache Airflow para crear, programar y supervisar pipelines.

V. CASO DE ESTUDIO

Siguiendo la estructura de modelos de datos y su ubicación en la plataforma expuestas en las secciones III y IV, se ha diseñado el GD para un caso real de gestión del mantenimiento de una flota de 54 máquinas de reparación de vías férreas, el taller, las herramientas de taller y los recursos humanos autorizados para desarrollar las tareas de mantenimiento. La ejecución de GD ha alcanzado el nivel TR4. Se han implementado los modelos de datos de las máquinas correspondientes a dos tipos (bateadoras y perfiladoras), el modelo de dato del taller y de sus herramientas, incluidos los recursos humanos y el repuesto. Se han implementado los modelos inteligentes de mantenimiento, para la optimización del preventivo predeterminado, del basado en la condición y de la planificación de las intervenciones en el taller. También se ha digitalizado el proceso de obtención del CAS (Certificado de Aptitud para el Servicio / similar a la ITV de los vehículos). Para ello ha sido necesario determinar la estructura funcional de cada máquina, a fin de relacionar cada tarea del CAS (más de 400) con el elemento físico que es verificado. Además, varios modos de fallo se han digitalizado y se han establecido las relaciones con los elementos de las máquinas, las herramientas, los repuestos y los recursos humanos.

En el desarrollo han participado varias empresas, la propietaria de los activos ha diseñado los modelos de dato de las máquinas, el taller y los procesos. Otra ha desarrollado la plataforma. Una tercera se ha responsabilizado de la extracción y transmisión de los datos. Una cuarta ha escaneado el taller y una de las máquinas, incorporando cada uno de los sistemas, las herramientas y avatares humanos, para que los datos puedan verse junto a su representación gráfica. La Universidad ha proporcionado los algoritmos y los modelos de datos de los modelos de optimización del mantenimiento y del modelo de planificación de las entradas a taller.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo de la subvención PID2022-137748OB-C32 financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033

O Youtube como ferramenta de aprendizagem do conceito de probabilidade condicionada

Carla Santos^{1,3}, Cristina Dias^{2,3}.

¹Instituto Politécnico de Beja, Campus IPBeja, Portugal

²Instituto Politécnico de Portalegre, Campus Politécnico, Portugal

³NOVAMATH – Centro de Matemática e Aplicações – FCT – Universidade Nova de Lisboa, Portugal

carla.santos@ipbeja.pt, cpsd@ipportalegre.pt.

Resumo- Este estudo analisa o potencial do vídeo como recurso pedagógico no ensino da probabilidade condicionada, com foco em conteúdos do YouTube. Tendo como ponto de partida as dificuldades dos alunos em problemas envolvendo probabilidade condicionada, e reconhecendo as limitações das abordagens tradicionais focadas em cálculos, enfatizamos a necessidade de práticas que estimulem o raciocínio abstrato e a intuição probabilística e avaliamos como vídeos do YouTube podem contribuir para superar equívocos e intuições erradas associadas ao conceito de probabilidade condicionada, aproveitando o potencial da visualização para melhorar a compreensão desses conceitos complexos. Analisando os dois primeiros vídeos devolvidos por pesquisa no YouTube, pela palavra-chave “probabilidade condicionada”, identificamos aspectos que poderão, em certa medida, facilitar a compreensão do conceito e contribuir para eliminar alguns dos equívocos associados ao cálculo de probabilidades condicionadas, mas, também, outros menos positivos na exposição dos conteúdos, que poderão comprometer a aprendizagem significativa do conceito de probabilidade condicionada.

Palavras-Chave - Falácias, Representações diagramáticas, Vídeos, Visualização.

I. INTRODUÇÃO

O uso do vídeo como recurso pedagógico tem sido amplamente discutido por diversos autores ao longo dos anos. Muito antes dos benefícios que a evolução tecnológica, do século XXI, proporcionou ao formato vídeo já o potencial educativo dos vídeos era sublinhado, pela sua capacidade de proporcionar um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e atrativo, e se incentivava a sua integração nas práticas pedagógicas, como forma de enriquecer a experiência de aprendizagem dos alunos [1].

O advento da internet rápida e o surgimento de plataformas como o YouTube ampliou ainda mais o potencial do vídeo enquanto ferramenta pedagógica, expandido o alcance e possibilidade do uso do vídeo na sala de aula e fora dela.

As fragilidades na literacia e cultura estatística dos alunos são transversais a todos os níveis de ensino, e estão identificadas internacionalmente (p.e. [2], [3]). Independentemente do conteúdo estatístico estudado, fica evidente o contraste entre o sucesso dos alunos na aplicação de fórmulas e algoritmos, e as dificuldades, erros e equívocos que surgem na resolução de problemas de palavras. No caso específico do estudo das probabilidades, as dificuldades revelam-se acentuadamente quando os problemas envolvem o conceito de probabilidade condicionada. Pelas provas de que abordagem tradicional do

estudo das probabilidades, focada na componente de cálculo, não prepara os alunos para a resolução e interpretação de problemas não rotineiros, nem permite alertar os alunos para o conflito entre a intuição e o raciocínio necessário à resolução de problemas de probabilidades [4], [5], torna-se imperioso o tratamento específico dessas dificuldades, equívocos e intuições erradas, através de práticas e ambientes de aprendizagem que estimulem o raciocínio abstrato e a intuição probabilística dos alunos [6].

Dada a relevância da visualização das probabilidades, a componente visual dos vídeos pode contribuir positivamente para a melhoria da compreensão de conceitos de probabilidades, por permitirem ilustrar de forma dinâmica determinados aspetos importantes. Considerando as recomendações para a aprendizagem significativa do conceito de probabilidade condicionada, interessa-nos avaliar de que forma os vídeos podem contribuir para corrigir as dificuldades, equívocos e intuições erradas associadas a esse conceito.

Neste trabalho analisamos dois vídeos do Youtube que abordam o cálculo de probabilidades condicionadas, focando-nos na avaliação do seu potencial para estimular o raciocínio abstrato e intuição probabilística.

II. O VÍDEO COMO INSTRUMENTO EDUCACIONAL

Enquanto instrumento educacional, o vídeo tem beneficiado da evolução tecnológica, ampliando, significativamente, o seu alcance e versatilidade tanto dentro como fora do ambiente escolar, sendo relevante quer na dinâmica da aula quer na construção do conhecimento. Ao integrarem diversos componentes, como elementos visuais, texto e narração, num único recurso, os vídeos proporcionam uma abordagem multifacetada que simplifica o processo de assimilação de novas informações, promovendo a aprendizagem, conforme apontado por [7].

Alguns dos benefícios do uso de vídeos para a aprendizagem, apontados na literatura, são:

- o aumento do interesse e motivação dos alunos;
- a promoção da compreensão dos conteúdos.

A vantagem dos vídeos, relativamente aos materiais textuais, passa pela conexão pessoal que proporcionam, pela ativação de múltiplos sentidos, facilitando a assimilação do conteúdo, e pelo contributo para uma lembrança mais duradoura da informação.

Noutra perspetiva das virtudes dos vídeos, é importante frisar que o uso de vídeos permite ultrapassar as limitações de tempo e espaço da aula tradicional, possibilitando o acesso ao conteúdo em diferentes momentos e locais, proporcionando a flexibilidade de o aluno ver/rever os materiais ao seu ritmo, pausando ou retrocedendo. Esta flexibilidade notabiliza o vídeo como recurso de estudo autónomo e independente, e de revisão de conteúdos não consolidados em sala de aula.

Existem também desvantagens e limitações ao uso de vídeos como recursos pedagógicos, sendo imperativo que haja um planeamento cuidado e intencional [8], sob pena de poder resultar num uso superficial ou desconectado dos objetivos de aprendizagem, estando também presente, em certas circunstâncias, o risco de o vídeo levar a uma postura passiva por parte dos alunos, limitando a interação e a aprendizagem. No que respeita à aprendizagem da Matemática, em [9] é defendido que ao integrar vídeos na prática pedagógica estes se constituem como elementos ativos nos processos cognitivos dos alunos, potencializando a produção de conhecimento.

Para a popularização do vídeo, enquanto recurso complementar no processo de ensino-aprendizagem, muito têm contribuído as plataformas como o YouTube.

O YouTube é uma plataforma de partilha de vídeos, lançada em 2005, que funciona de forma semelhante a uma rede social, permitindo a criação e publicação de conteúdos em vídeo.

Os utilizadores da plataforma Youtube têm a possibilidade de criar um canal, onde podem publicar vídeos. Para além disso, podem aceder a canais de outros utilizadores, visualizar os vídeos desse canal e comentar o conteúdo e interagir com criadores e outros espectadores.

Uma importante virtude do Youtube, e de outras plataformas semelhantes, é a possibilidade de os espectadores assistirem aos vídeos em dispositivos diversos (computador, *tablet*, ou *smartphone*), diretamente a partir do site ou da aplicação, sem necessidade de *download*.

A par da sua dimensão de entretenimento, o YouTube emergiu como um valioso repositório de conteúdos educacionais, oferecendo um vasto leque de recursos audiovisuais em praticamente todas as áreas do conhecimento [8]. Das vantagens do uso de vídeos do YouTube como instrumentos educacionais, podemos destacar a sua gratuidade e facilidade de acesso, que permite a visualização dos vídeos tanto em ambiente de sala de aula como fora, e a funcionalidade de organização dos vídeos em playlists, que permite, aos professores, a seleção e organização de vídeos relevantes em coleções “personalizadas” para os seus alunos.

Relativamente ao tipo de conteúdos dos vídeos educacionais do YouTube, estes pode ser tutoriais, vlogs ou documentários, havendo também a possibilidade de transmissões em direto.

As principais ferramentas visuais utilizadas para apresentação dos conteúdos abordados nos vídeos educacionais são o quadro branco e apresentações em slides.

As situações em que há recurso ao quadro branco proporcionam uma sensação de aula tradicional, em que o professor/instrutor faz anotações em tempo real, como se estivesse numa sala de aula física. A utilização de quadros brancos digitais é vantajosa em termos de interatividade, permitindo que os alunos interajam com o conteúdo durante as aulas, e colaborem em tempo real.

Os vídeos que assentam em apresentações de slides, proporcionam uma melhor organização da informação a

transmitir, e são visualmente atraentes. Como recurso adicionais, os vídeos baseados em slides frequentemente incluem elementos interativos, como *quizzes* e *links* para vídeos explicativos, que complementam a aprendizagem. Outros incorporam animações e simulações que ajudam a ilustrar conceitos complexos de forma dinâmica.

III. VÍDEOS ONLINE PARA O ESTUDO DA PROBABILIDADE CONDICIONADA

Independentemente da plataforma onde se encontram alojados, os vídeos podem ser uma ferramenta eficaz para a melhoria da compreensão do conceito de probabilidade condicionada, por diversas razões. Entre estas, damos destaque à abordagem visual, por ser aquela que consideramos ter maior relevância para a aprendizagem significativa do conceito de probabilidade condicionada.

Na literatura, sobre o estudo da probabilidade condicionada, estão bem identificadas as dificuldades dos alunos. Uma parte considerável dessas dificuldades surge perante problemas apresentados em linguagem corrente (os chamados problemas de palavras), e manifestam-se, numa primeira fase, na interpretação do enunciado, e, numa segunda fase, na tradução da linguagem corrente do enunciado para linguagem simbólica, recorrendo à notação das probabilidades [10].

Segundo o estabelecido em [11], para a melhoria da intuição e da capacidade de assimilação de conceitos matemáticos é importante o desenvolvimento de raciocínios com grande componente visual. Atendendo a que um dos principais obstáculos à compreensão dos problemas de probabilidades, em particular os de probabilidades condicionadas, é a reduzida intuição probabilística, o recurso a representações diagramáticas poderá ser um trunfo na eliminação de ideias intuitivas erradas e falácias probabilísticas, potenciando a compreensão do conceito de probabilidade condicionada [12]. As vantagens da abordagem visual à probabilidade condicionada, proporcionadas pela representação diagramática, podem ainda ser acentuadas se essas visualizações forem de natureza dinâmica. Em comparação com as visualizações estáticas tradicionais, as visualizações dinâmicas podem assumir-se como vantajosas por:

- possibilitarem a representação explícita não apenas do resultado final de um processo, mas também do próprio processo;

- permitirem a redução da carga cognitiva, ao proporcionar uma “distribuição” das novas informações ao longo do tempo
- serem potencialmente mais atrativas e motivadoras, aumentando o interesse e facilitando a retenção dos conteúdos [13], [14].

Ao olhar para as vantagens dos vídeos do Youtube, enquanto potenciadoras da compreensão do conceito de probabilidade condicionada, sublinhamos:

- a ênfase nas explicações visuais, envolvendo a elucidação da aplicação da fórmula da probabilidade condicional, através de exemplos práticos que ajudam a visualizar o conceito;
- o recurso acessível a representações diagramáticas, como o diagrama de árvore e o diagrama de Venn;
- a diversidade de abordagens ao conceito.

IV. ANÁLISE DE DOIS VÍDEOS DO YOUTUBE

Nos resultados devolvidos pela pesquisa predominam os vídeos explicativos, que abordam:

- O conceito de probabilidade condicional;
- A fórmula da probabilidade condicional;
- A interpretação de enunciados de problemas.

Nesses vídeos são apresentadas explicações teóricas sobre o conceito de probabilidade condicionada, a demonstrações da fórmula, exemplos e resolução de exercícios passo-a-passo, e alertas para facilitação da interpretação dos enunciados dos problemas que envolvem as probabilidades condicionadas.

As estratégias, utilizadas pelos criadores do conteúdo dos vídeos, envolvem exemplos do cotidiano para ilustrar os conceitos, a apresentação de diferentes métodos de resolução para um mesmo problema, e explicações detalhadas da resolução dos exercício e problemas, com especial ênfase na interpretação correta dos enunciados.



Fig. 1: Resultados da pesquisa no YouTube

Para a presente investigação, dos resultados da pesquisa no YouTube usando a palavra-chave “probabilidade condicionada”, selecionámos os dois vídeos que surgiram nos dois primeiros resultados. Esses vídeos foram analisados em função da sua natureza, abordagem, e contributo para a eliminação das falácias associadas ao conceito de probabilidade condicionada.

Vídeo 1: Probabilidade Condicional | Rápido e Fácil

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=WIUgwydaLcw>
Duração: 10'02''

Ferramentas visuais: quadro branco.



Fig. 2: Frame do vídeo “Probabilidade Condicional | Rápido e Fácil”

O Vídeo 1, “Probabilidade Condicional | Rápido e Fácil”, introduz o conceito de probabilidade condicionada como a probabilidade de ocorrências de um acontecimento, tendo a condição de outro ocorrer. De forma a simplificar o conceito, este é apelidado de “informação privilegiada”. Para explicar o conceito de probabilidade condicionada é utilizada uma abordagem visual e prática, recorrendo a desenhos que representam uma situação que envolve 10 pessoas (4 homens e 6 mulheres) com características específicas (sapatos vermelhos e bonés). Introdutoriamente, o instrutor calcula uma probabilidade simples. Para abordar o cálculo de probabilidades condicionadas, o instrutor coloca a questão “Qual a probabilidade de escolher uma pessoa de boné, sabendo que ela tem sapatos vermelhos?”. Para responder à questão formulada, identifica o total de pessoas com sapatos vermelhos (5), e conta quantas dessas também usam boné (2), chegando à probabilidade de 2/5 (40%). Na sequência deste exemplo, apresenta outro exemplo de cálculo de probabilidade condicionada, envolvendo o lançamento de dois dados.

Embora o vídeo não cubra todos os aspetos da probabilidade condicional, consideramos que a abordagem usada no vídeo poderá contribuir para eliminar alguns equívocos associados ao cálculo de probabilidades condicionadas pois:

- a referência a “informação privilegiada” ajuda a entender que o cenário envolve a posse de informação adicional, reduzindo a confusão comum sobre qual o acontecimento que está a ser condicionado;
- a resolução passo-a-passo ajuda a identificar a redução do espaço amostral;
- é enfatizada a compreensão do conceito subjacente à probabilidade condicional, ao invés de focar apenas em fórmulas.

A não adoção de representações diagramáticas poderá considerar-se uma lacuna da abordagem adotada no vídeo.

Vídeo 2

Título: Probabilidade Condicional

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=uo16XTg2CIQ>

Duração: 8'43''

Ferramentas visuais: quadro branco.

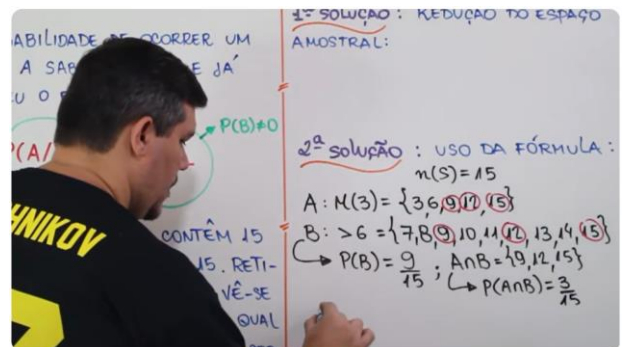


Fig. 3: Frame do vídeo “Probabilidade Condicional”

O Vídeo 2 “Probabilidade Condicionada”, apresenta o cálculo de probabilidades condicionadas explorando duas abordagens: a redução do espaço amostral e a aplicação da fórmula da probabilidade condicionada.

O exemplo apresentado envolve a extração de uma bola de uma urna com 15 bolas numeradas de 1 a 15. Assumindo que

o número retirado é maior que 6, pretende-se determinar a probabilidade de esse número ser múltiplo de 3. O instrutor explica como se chega ao resultado, $1/3$, através de ambos os métodos a que recorre, enfatizando que, embora seja importante conhecer a fórmula, em muitos casos, o método de redução do espaço amostral é suficiente e mais direto para resolver problemas de probabilidade condicionada.

O conteúdo do vídeo poderá contribuir para eliminar alguns dos equívocos associados ao cálculo de probabilidades condicionadas pois:

- Enfatiza a importância da compreensão da redução do espaço amostral;
- São apresentados dois métodos distintos para o cálculo da probabilidade condicionada;

No que respeita a lacunas, da abordagem adotada no vídeo, podemos referir:

- A não adoção de representações diagramáticas;
- O uso da palavra “já” na definição de probabilidade condicionada, promove o aparecimento ou consolidação da falácia do eixo temporal (dificuldade em lidar com a probabilidade condicionada quando o acontecimento condicionante precede cronologicamente o acontecimento condicionado).

V. CONCLUSÕES

O uso de vídeos como recurso pedagógico no ensino de probabilidades condicionadas apresenta diversas vantagens e potencialidades para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem desse conceito estatístico complexo. Analisando dois vídeos do YouTube sobre a probabilidades condicionadas verificámos que as abordagens apresentadas poderão, em certa medida, facilitar a compreensão do conceito e contribuir para eliminar alguns dos equívocos associados ao cálculo de probabilidades condicionadas. No entanto, identificámos também aspetos menos positivos na exposição dos conteúdos, os quais poderão comprometer a aprendizagem significativa do conceito de probabilidade condicionada.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Moran. “Novas tecnologias e o re-encantamento do mundo”. *Tecnologia Educacional*, vol. 23, n. 126, pp. 24-26, 1995.
- [2] R. Del Mas, C. Garfield, e D. Chance, "A framework for assessing the understanding of statistics" in *Proceedings of the 2007 Joint Statistical Meetings*, Salt Lake City, UT, USA, 2007, pp. 1-8.
- [3] A. Fernandes, M. Santos, e J. Silva, "Teaching statistics: A study on the impact of instructional strategies" *Journal of Statistics Education*, vol. 23, n. 2, pp. 1-15, 2015.
- [4] C. Konold, “The role of technology in teaching statistics” in *Proceedings of the 1995 Annual Meeting of the American Educational Research Association*, San Francisco, CA, USA, 1995, pp. 1-10.
- [5] A. Días and J. De La Fuente, “Innovative approaches to teaching statistics in higher education” *Journal of Statistics Education*, vol. 13, n. 3, pp. 1-15, 2005.
- [6] J. B. Garfield e D. Ahlgren, "How students learn statistics" in *Proceedings of the 1988 International Statistical Institute*, vol. 2, pp. 1-10, 1988.
- [7] A. Dalmolin et al.. “Vídeo educativo como recurso para educação em saúde a pessoas com colostomia e familiares.” *Rev. Gaúcha Enferm.*, vol. 37 (esp.), 2016.

[8] J. V. Silva, D. A. F. de Moraes, and D. E. de Mello, "O Potencial do Vídeo na Educação Infantil e Anos Iniciais durante a Pandemia da COVID-19" *Revista Interações*, vol. 19, n. 66, pp. 1-21, 2023.

[9] A. Rosa, "O uso de vídeos na educação: potencializando processos de ensino e aprendizagem" *Educação Matemática Pesquisa*, vol. 23, n. 2, pp.245-277, 2021.

[10] A. Pollatsek, A. D. Well, C. Konold, e P. Hardiman, "Understanding conditional probabilities" *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, vol. 40, n. 2, pp. 255-269, 1987.

[11] W. Zimmermann and S. Cunningham, "Editors' Introduction: What Is Mathematical Visualization?," in *Visualization in Teaching and Learning Mathematics*, MAA Notes Number 19, pp. 1-8, 1991.

[12] C. Santos, C., Dias, C. “Considerações sobre o uso de representações diagramáticas no cálculo de probabilidades condicionadas”. *Experiências em Ensino de Ciências*, vol.16, n.1, pp. 121-136, 2021.

[13] Rieber, L. P., “Animation as an aid to learning: A review of the literature,” *Educational Technology*, vol. 31, no. 8, pp. 28-35, 1991.

[14] M. Hegarty, “Dynamic visualizations and learning: getting to the difficult questions”. *Learning and Instruction*, vol.14, pp. 343-351, 2004.

Competências Digitais de IA dos Professores de Matemática

Fomento de la Cultura Científica, Tecnológica y de Innovación en Ciudades Inteligentes

¹Cristina Dias, ²Carla Santos

¹Departamento de Tecnologia e Design

Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal

²Departamento de Matemática e Ciências Físicas

Instituto Politécnico de Beja, Portugal

cpsd@ipportalegre.pt, carla.santos@ipbeja.pt

Resumo- A pandemia catalisou uma mudança significativa para o ensino e a aprendizagem. Os professores aplicaram as tecnologias emergentes para melhorar os resultados de aprendizagem dos seus alunos. A tecnologia de inteligência artificial (IA) ganhou popularidade nos ambientes de aprendizagem online durante a pandemia. No entanto, muitas destas ferramentas de IA eram novas para os professores. Muitos professores viram-se forçados a adquirir os conhecimentos técnicos suficientes para poderem utilizar aplicações educativas de IA de forma a facilitar o seu ensino. Desde então, e cada vez mais, há uma necessidade crescente de os professores se dotarem de competências digitais adequadas para poderem utilizar e ensinar com IA em ambiente escolar.

São poucos os referenciais existentes, neste campo, que informem sobre quais devem ser as competências necessárias em IA dos professores. Este estudo explora as oportunidades e os desafios da utilização de sistemas de IA nas aulas de matemática e a forma como os mesmos podem melhorar o ensino, a aprendizagem e a avaliação. São propostas recomendações para ajudar os professores e investigadores a promover o ensino da IA nas aulas de matemática.

Palavras Chave- Inteligência Artificial, Ensino, Matemática, COVID-19, Educação.

I. INTRODUÇÃO

A pandemia de COVID-19 trouxe desafios sem precedentes para o sistema educativo global, exigindo uma adaptação rápida e eficaz de métodos tradicionais de ensino para alternativas digitais. Esta transição catalisou uma mudança significativa na forma como o ensino e a aprendizagem são conduzidos, com os professores a utilizar as tecnologias emergentes para melhorar os resultados de aprendizagem dos seus alunos. Em particular, a inteligência artificial (IA) ganhou popularidade nos ambientes de aprendizagem online durante a pandemia.

A disponibilidade generalizada de tecnologias e recursos educativos digitais influenciará cada vez mais o ensino e a aprendizagem da matemática nos próximos anos. Esta influência crescente afectará professores e alunos, uma vez que, os recursos digitais e analógicos serão utilizados na sala de aula com maior frequência (Clark-Wilson et al., 2021; Pepin et al., 2023).

No entanto, a forma como será feita a utilização da tecnologia digital pode afectar a teoria da educação matemática e a implementação de ideias na sala de aula.

Assim, torna-se premente estudar quais são as consequências da sua utilização na avaliação contínua e final.

Este artigo explora as oportunidades e desafios da utilização de sistemas de IA nas aulas de matemática, discutindo como essas tecnologias podem melhorar o ensino, a aprendizagem e a avaliação, propondo recomendações para capacitar professores no uso eficaz da IA.

II. A EMERGÊNCIA DA IA NO ENSINO

Durante a pandemia, muitos professores foram forçados a adquirir rapidamente conhecimentos técnicos suficientes para utilizar aplicações educativas de IA. Estas ferramentas, que eram muitas vezes novas para os professores, tornaram-se essenciais para facilitar o ensino em ambientes remotos. A necessidade de adaptação rápida, revelou uma lacuna significativa nas competências digitais dos professores, especialmente no que diz respeito ao uso de IA.

Zhang et al. (2021), mostrou que 68% dos professores entrevistados relataram dificuldades em usar ferramentas de IA devido à falta de formação adequada. Este cenário exige que muitos professores participem em cursos intensivos e workshops para se familiarizarem com as novas tecnologias.

As ferramentas de IA utilizadas variaram desde tutores inteligentes, que fornecem *feedback* personalizado em tempo real aos alunos, até sistemas de avaliação automatizada, que agilizam o processo de correção de provas e trabalhos. Estas tecnologias não só suportaram a continuidade da educação durante a pandemia, mas também mostraram um potencial considerável para transformar a pedagogia tradicional.

Por exemplo, os grandes modelos linguísticos, como o ChatGPT, têm o potencial de revolucionar o ensino e ajudar no processo de ensino-aprendizagem. Estes modelos podem ser utilizados pelos professores para (a) criar experiências personalizadas de aprendizagem com os alunos (Lo, 2023); (b) analisar a escrita das respostas dos alunos (Vampugani, 2018); (c) fornecer um *feedback* personalizado (Wang, 2023); (d) sugerir materiais que se alinham com as necessidades de aprendizagem específicas do aluno (Winkler, 2018); (e) poupar tempo e esforço aos professores na criação de materiais personalizados, permitindo-lhes que se concentrem noutros aspectos do ensino, como a criação de aulas interactivas (Mondal, 2018) (Hemmler, 2022); (f) planear e criar planos de aula e actividades (inclusivas) (Bozkurt, 2021); (g) gerar perguntas e sugestões que encorajem a

participação dos alunos com diferentes níveis de conhecimentos e capacidades, e que estimulem o pensamento crítico e a resolução de problemas (Bates, 2020); (h) gerar problemas práticos e questionários direcionados e personalizados que podem ajudar a garantir que os alunos estão a dominar o material (Baidoo-Anu, 2023).

III. SISTEMAS DE CHATBOT

O termo *Chatbot*, foi introduzido por Michael Mauldin (criador do primeiro Verbot, Julia) em 1994 para descrever programas de conversação (Mondal et al., 2018). Os utilizadores podem fazer perguntas e pedidos ao sistema. O *chatbot* baseia-se em palavras-chave que são utilizadas para dar respostas automáticas adequadas (Hiremath et al., 2018). A utilização do *chatbot* permite por exemplo (a) poupar custos e recursos humanos (Lee et al., 2020); (b) aumentar a satisfação do utilizador (Winkler e Soellner, 2018); (c) obter a informação precisa aos utilizadores (Vegesna et al., 2018), etc.

Para os alunos o *chatbot* é uma novidade no apoio ao processo de ensino aprendizagem (Clarizia et al., 2018). No entanto, segundo investigações recentes (Molnár e Szüts, 2018; Sheikh et al., 2023) quando os estudantes interagem com os *chatbots*, não verificam a informação encontrada, tendem a acreditar que ela é fiável.

Como já foi referido anteriormente, o aparecimento da IA já se fez sentir em muitos domínios, incluindo o da educação.

Em termos administrativos a IA também pode ajudar a reduzir a carga de trabalho, podendo ser utilizada na classificação de trabalhos, no acompanhamento do progresso dos alunos, na gestão de horários, na tomada de decisões mais informadas relativamente à atribuição de recursos, e no desenvolvimento curricular e programas de apoio aos alunos.

IV. DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Um dos principais desafios na implementação da IA nas aulas de matemática é a falta de formação adequada dos professores. Muitos professores ainda carecem de uma compreensão profunda de como integrar eficazmente estas tecnologias no ensino. Além disso, há preocupações sobre a equidade de acesso, uma vez que nem todos os alunos têm acesso às mesmas tecnologias ou à internet de alta qualidade.

Por outro lado, a IA oferece oportunidades significativas para personalizar a aprendizagem. Os algoritmos de IA podem analisar os padrões de aprendizagem dos alunos e adaptar o conteúdo educativo para atender às necessidades individuais, sendo particularmente útil no ensino da matemática, onde frequentemente os alunos têm dificuldades em conteúdos específicos que podem ser abordados com a personalização do ensino. No entanto, alguns estudos mostram, que a desigualdade no acesso à tecnologia pode exacerbar as disparidades educacionais. Segundo um relatório da UNESCO (2020), aproximadamente 50% dos alunos em países de baixa renda não têm acesso a computadores em casa, o que limita a eficácia das ferramentas de IA. Apesar dos desafios, a IA oferece oportunidades significativas para personalizar a aprendizagem.

Segundo Baker et al. (2019) o uso de tutores inteligentes nas aulas de matemática resultou numa melhoria média de 20% nas notas dos alunos. Esses tutores adaptam-se ao ritmo

e estilo de aprendizagem de cada estudante, oferecendo apoio específico nas áreas onde há maior dificuldade.

V. RECOMENDAÇÕES PARA PROFESSORES E INVESTIGADORES

Para maximizar os benefícios da IA no ensino de matemática, é essencial que os professores adquiram competências digitais adequadas. A formação contínua em tecnologias de IA deve ser uma prioridade nas instituições educativas. Além disso, é crucial desenvolver referenciais claros que definam as competências necessárias em IA para os professores. Programas de desenvolvimento profissional devem incluir módulos específicos sobre o uso de IA na educação. Estes módulos devem cobrir desde a compreensão básica dos algoritmos de IA até à aplicação prática de ferramentas de IA no ensino de matemática.

Por exemplo, os professores deveriam frequentar programas de formação, como workshops, sobre como utilizar plataformas de aprendizagem baseadas em IA, como o Coursera ou edX, que oferecem cursos gratuitos e pagos em várias áreas de IA. Além disso, os professores poderiam ser incentivados a participar em conferências e seminários sobre IA na educação, para se manterem atualizados com as últimas inovações e práticas.

É necessário criar e disseminar referenciais de competências em IA para os professores. Estes referenciais devem incluir conhecimentos técnicos, pedagogia digital e ética da IA, assegurando que os educadores estejam bem preparados para utilizar estas tecnologias de forma eficaz e responsável.

Apesar de a IA ser um fator de mudança, a sua utilização pode implicar custos elevados associados à instalação, manutenção e reparação. Este facto pode criar uma barreira financeira para algumas instituições, como as escolas (Vampugani & Swathi, 2018; Pinkwart, 2020).

VI. CONCLUSÕES

A integração da IA no ensino e aprendizagem, catalisada pela pandemia, representou uma oportunidade transformadora na educação. No entanto, para que esta transformação seja eficaz, é essencial que os professores sejam dotados das competências digitais necessárias. Este estudo destaca a necessidade de formação contínua e o desenvolvimento de referenciais de competências em IA para os professores, com o objetivo de melhorar o ensino, a aprendizagem e a avaliação nas aulas de matemática. Através destas iniciativas, a educação pode não apenas recuperar dos impactos da pandemia, mas também evoluir para um futuro mais digital e personalizado. Com o desenvolvimento constante dos recursos digitais, o planeamento do futuro educacional, torna-se muito difícil ou mesmo impossível. Na era digital, todos os intervenientes no sistema educativo: políticos, administradores escolares, professores e alunos, têm de ser flexíveis e estar preparados para as adaptações e correções contínuas no processo educativo. Além disso, tendo em conta a diversidade dos sistemas educativos, juntamente com as diferentes peculiaridades e tradições nacionais e regionais e as diversas convicções e ênfases, é improvável que surjam estratégias geralmente aceites para lidar com as tecnologias e recursos digitais no ensino da matemática. Recentemente,

Celik (2023) centrou-se no conhecimento profissional dos professores e na integração ética de ferramentas baseadas em IA na educação e sugeriu que os professores com maior conhecimento e interação com ferramentas de IA têm uma melhor compreensão dos seus contributos pedagógicos. Por conseguinte, a literacia em IA dos professores, alunos e escola parece ser inevitável, incluindo a compreensão das capacidades da IA, a utilização da IA e a aplicação da IA (Papamitsiou et al., 2021; Wang & Lester, 2023; Schumacher, 2021, Schumacher et al., 2023).

A IA não é uma busca de ficção científica, mas, antes uma realidade que deve ser tratada de forma multifacetada. Reconhece-se, que os professores não querem ser substituídos por seres humanos virtuais, no entanto, o desenvolvimento de agentes virtuais, que podem ser utilizados em contextos educativos e terapêuticos tem um grande potencial. Esta área de desenvolvimento tem como objetivo a criação de personagens virtuais que possuem qualidades semelhantes às humanas, permitindo-lhes pensar, agir, reagir e interagir de forma natural. Estes “seres humanos” virtuais são concebidos para responder à comunicação verbal e não-verbal, com o objetivo de criar personagens que sejam difíceis de distinguir dos seres humanos reais. Embora esta tecnologia ainda não seja uma realidade no momento da redação deste documento, é uma área de desenvolvimento empolgante e promissora para o futuro (Tegmark, 2018). Assim, e a pensar no futuro, torna-se vital estabelecer diretrizes éticas que regulem a utilização destas tecnologias. O fosso digital entre países e o agravamento das desigualdades a nível mundial não só devem ser reconhecidos como também devem ser abordados. Assim, este trabalho propõe aos educadores e, decisores políticos que construam pontes de entendimento através do diálogo, quer a nível académico quer a nível humano que garanta que o aspeto humano do ensino e da aprendizagem continue a ser central em todo o processo, a pesar de, a tecnologia continuar a desempenhar um papel relevante na educação.

REFERENCIAS

- [1] Clark-Wilson, A. (2017). Transforming mathematics teaching with digital technologies: A community of practice perspective. In Marcus-Quinn, A., Hourigan, T. (Eds.), *Handbook on Digital Learning for K-12 Schools* (pp. 45–57). Springer.
- [2] B. Pepin, G. Gueudet & L. Trouche, “Refining teacher design capacity: Mathematics teachers’ interactions with digital curriculum resources”. *Zdm Mathematics Education*, 49, 999–812, 2017.
- [3] W. Zhang, Y. Wang, L. Yang & C. Wang, "Teacher adaptation to online teaching during the COVID-19 pandemic: A systematic review." *Educational Technology & Society*, 24(1), 1-12, 2021.
- [4] C. K. Lo, “What Is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature”. *Education Sciences*, 13(4), 410, 2023.
- [5] V. S. Vampugani, K. & Swathi, “Artificial Intelligence and its Implications in Education”, 2018.
- [6] N. Wang & J. Lester, “K-12 education in the age of AI: A call to action for K-12 AI literacy”. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33, 228–232, 2023.
- [7] R. Winkler & M. Soellner, “Unleashing the potential of chatbots in education: A state-of-the-art analysis”, 2018.
- [8] A. Mondal, M. Dey, D. Das, S. Nagpal & K. Gardha, “Chatbot: An automated conversation system for the educational domain”. 2018
- International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing (ISAI-NLP),1-5, 2018.
- [9] Y. Hemmler, & D. Ifenthaler, “Four perspectives on personalized and adaptive learning environments for workplace learning”. In D. Ifenthaler & S. Seufert (Eds.), *Artificial intelligence education in the context of work* (pp. 27–39), 2022. Springer
- [10] A. Bozkurt, A. Karadeniz, D. Bañeres, A. Guerrero-Roldán, & M. E. Rodríguez “Artificial intelligence and reflections from educational landscape: A review of ai studies in half a century”. *Sustainability*, 13, 800, 2021.
- [11] T. Bates, C. Cobo, O. Mariño, & S. Wheeler, “Can artificial intelligence transform higher education? International”. *Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(42), 1–12, 2020
- [12] D. Baidoo-Anu, & L. Owusu Ansah, “Education in the era of generative artificial intelligence (AI): understanding the potential benefits of chatgpt in promoting teaching and learning”. *Journal of AI*, 7(1), 52–62, 2023.
- [13] G. Hiremath, A. Hajare, P. Bhosale, Nanaware, R., & K. S. Wagh, “Chatbot for education system”. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(3), 37-43, 2018.
- [14] Y. C. Lee, N. Yamashita, Y. Huang, W. & Fu, "I Hear You, I Feel You": Encouraging Deep Self-disclosure through a Chatbot. In *Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-12), 2020.
- [15] A. Vegesna, P. Jain & D. Porwal, “Ontology based chatbot (for e-commerce website)”. *International Journal of Computer Applications*, 179(14), 51-55, 2018.
- [16] F. Clarizia, F. Colace, M. Lombardi, F. Pascale, & D. Santaniello, “Chatbot: An education support system for students”. In *International Symposium on Cyberspace Safety and Security* (pp. 291-302). Springer, Cham., 2023.
- [17] G. Molnár & Z. Szüts, “The role of chatbots in formal education”. In *2018 IEEE 16th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)* (pp. 000197-000202). IEEE, 2018.
- [18] H. Sheikh, C. Prins & E. Schrijvers, “Artificial intelligence: Definition and background”. In H. Sheikh, C. Prins, & E. Schrijvers (Eds.), *Mission AI. Research for policy* (pp. 15–41). Springer, 2023.
- [19] R. S., Baker et al., "The Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems in Improving Student Performance in Mathematics." *Journal of Educational Technology*, 14(3), 215-232, 2019.
- [20] N. Pinkwart & S. Liu, (Eds.), “Artificial intelligence supported educational technologies”. Springer, 2020.
- [21] UNESCO, "Education in a post-COVID world: Nine ideas for public action." Paris: UNESCO, 2020.
- [22] I. Celik, “Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers’ professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education”. *Computers in Human Behavior*, 138, 107468, 2023.
- [23] Z. Papamitsiou, M. Filippakis, M. Poulou, D. G. Sampson, D. Ifenthaler & M. Giannakos, “Towards an educational data literacy framework: Enhancing the profiles of instructional designers and e-tutors of online and blended courses with new competences”. *Smart Learning Environments*, 8, 18, 2021.
- [24] C. Schumacher & D. Ifenthaler, “Investigating prompts for supporting students’ self-regulation—A remaining challenge for learning analytics approaches?”. *The Internet and Higher Education*, 49, 10079.
- [25] D. Ifenthaler, & C. Schumacher, “Reciprocal issues of artificial and human intelligence in education”. *Journal of Research on Technology in Education*, 55(1), 1–6, 2018, 2023.
- [26] M. Tegmark, “Life 3.0: Being human in the age of artificial intelligence”. Penguin Books, 2018.

Al otro Lado

La educación aplicada a la planificación urbana

Diseño de áreas verdes

Angela Angulo Ruiz.

Departamento de Ciencias Agroforestales, Area de Producción Vegetal
Universidad de Huelva
Campus del Carmen. Avenida de las Fuerzas Armadas, s/n. 21007-Huelva
angela.angulo@dcaf.uhu.es.

Resumen- No surgen de la nada las denominadas Ciudades Inteligentes, si dedicásemos unos minutos a la lectura consciente y análisis de su definición percibiríamos como en un mundo sostenible es imprescindible la educación del capital humano disponible para una evolución acertada de las Smart City. Como punto de partida las instituciones universitarias podrían considerarse el lugar de encuentro previo a la salida profesional, en ellas han de darse respuesta a las nuevas realidades. Con el objetivo de obedecer a la responsabilidad individual como docente y fomentar la capacidad autónoma del aprendizaje, ejercitar el pensamiento crítico y creativo del alumnado así como concienciar en la capacidad de actuar sobre su entorno de trabajo como futuras personas para ejercer la ingeniería, he desarrollado una metodología de enseñanza basada en actividades dinámicas en el aula y fuera de ellas en las que el alumnado es el actor principal en la elaboración, desarrollo y defensa de los proyectos planteados, cumpliendo con unas premisas y reglas previas.

Palabras Clave- Ciudad inteligente, educación en ciudades inteligentes, datos abiertos

I. INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad personal de conocer al detalle el concepto “Ciudad Inteligente” con la única intencionalidad inicial que me permitiese encontrar la temática adecuada a las planteadas por ScienCity 2024. Reconozco desde el principio la importancia de la educación como ese pilar firme de quien desea su ciudad sea construida no sobre cualquier terreno tomado como válido, sino que al desear que se mantenga firme y evolucione de manera integral, adaptable y sostenible el valor de las personas que la conformen sean la pieza clave.

Al estar desarrollando mi actividad laboral en la institución universitaria y contando con formación adquirida en el seno de esta, sopeso dar el valor que se merece y el respeto al servicio que presta, sin olvidar, el personal como valor añadido. Y considero la institución universitaria como el lugar en el que profesorado y alumnado son la fuente generadora del capital humano de las ciudades inteligentes.

Por otro lado, están los datos, información sobre algo concreto que permite su conocimiento exacto o sirve para deducir las consecuencias derivadas de un hecho [1]. Ligados en la actualidad a un nuevo concepto de “datos abiertos”, donde la puesta a disposición del público general es insuficiente sino es acompañada de la calidad de la información suministrada, de su actualización periódica o este dispuesta en un formato reutilizable y manejable [2].

Es planteado por tanto un escenario concreto, donde las aulas de las universidades sean el lugar donde se introduzca el concepto de inteligencia urbana [3] en el cual se hace imprescindible dar a conocer las fuentes de datos públicas disponibles al alcance de todos a tan solo un clic.

Al otro lado se inspira en el enfoque trans que expone el equipo de Deusto Cities Lab Katedra en la presentación del libro “Ciudades inteligentes Ciudades sabias, por un gobernanza democrática y colaborativa”, 2022, en su doble acepción: al otro lado y a través de. Para permitirnos ver más allá de donde nuestra mirada nos permite alcanzar, más profunda y conscientemente de lo que estamos acostumbrados [4].

El marco de desarrollo, la ciudad, nuestro entorno más inmediato: calles, medianas, rotondas, plazas, parques y jardines públicos o residenciales de tránsito privado, como ejemplos. Dado que los datos apuntan a que las ciudades estarán densamente pobladas, calculándose que un 70% de los habitantes vivirán en zonas urbanas [5], se hace indispensable que los futuros profesionales del grado de ingeniería agrícola tengan presente a través de las asignaturas tecnología de la jardinería, diseño de áreas verdes y mantenimiento y conservación de zonas verdes su opción para crear espacios saludables, de ocio, multifuncionales. Que sean capaces de ordenar los espacios urbanos dando respuesta a las necesidades de entornos particulares. Como paso previo en las aulas y fuera de estas se les han de alentar a saber observar y escuchar los entornos cotidianos. A veces, tan solo, el mantenimiento o mejora serán suficiente para hacer más agradable un lugar. El objetivo crear ámbitos con identidad donde cohabitar conjuntamente con la actividad diaria de la ciudad.

II. METODOLOGIA

Se centra en el sistema llevado a cabo en la asignatura de carácter obligatorio, Diseño de Áreas Verdes, de tercer curso del grado de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Huelva durante los cursos 2022-2023 y 2023-2024.

Tomándose como documento básico la guía docente que sirve para mostrar al alumnado las competencias que han de adquirir, sobre los contenidos establecidos y recordar al docente la responsabilidad contraída. Establece, un reparto de horas entre sesiones teóricas, prácticas de laboratorios y campo.

Existe a disposición de docente y discente la plataforma virtual Moodle como sistema informático de gestión de los contenidos del curso. Permite crear un aula virtual de la asignatura donde no solo se puedan disponer de los contenidos teóricos, actividades, prácticas a realizar o consulta de la rúbrica o calificación obtenida. Es el lugar habilitado durante el curso académico para dinamizar, atender y realizar un seguimiento y guía continuada del grupo de personas que reciben la enseñanza durante el periodo establecido. Esta aula virtual: su estructura y utilidades, es presentada al alumnado junto con la guía docente el día de comienzo del curso.

A lo largo del curso se hace indispensable como recurso, para el estudiante: lectura de contenidos, foros de participación, tareas, plazos de entrega, ... y para el docente como canal de comunicación para recordar fechas límites, lugar de encuentro, o para corregir y alentar, animar o felicitar el esfuerzo realizados. No se puede olvidar que debemos recordar nuestra disponibilidad, como extensión de las guías en formato papel, la figura del docente es quien debe materializar el acompañamiento ante la necesidad de ese no olvidado trabajo autónomo del estudiante.

El número del grupo sobre el que se realizó la experiencia fue de 26 en el curso 2022-2023 y 43 en el curso 2023-2024. En los contenidos teóricos, prácticas de laboratorio y campo.

Los contenidos teóricos, obedeciendo a los establecidos por la guía docente, fueron expuestos en dos bloques: un primer bloque con un tema introductorio como antesala a un recorrido en el tiempo por los jardines pasados, presente y futuros, y un segundo bloque con dos temas principales en los que se introduce el concepto de diseño en un sentido general para a continuación aplicarlo a los espacios verdes.

Durante las sesiones teóricas se cuidan los detalles: la puntualidad de los convocados, con la flexibilidad de atender a las demandas y necesidades que precisan el resto de sesiones de otras asignaturas del grado que se cursan. Las formas de ser y estar en el lugar que se comparte, así como las normas mínimas de convivencia, si se hace preciso se advierten conductas: dar los buenos días o tardes al acceder al aula, compostura a la hora de estar sentados y si es o no correcto el bostezo o prestar atención a quien habla (profesor o compañeros de aula). No es preciso ser explícitos, el ejemplo en la mayoría de los supuestos anteriores es suficiente, esto es, si el docente es puntual el alumnado responde de manera semejante sin que le sea solicitado, de igual forma ante un buen día por parte del docente, el alumnado toma como propio esa conducta a la entrada o salida del aula.

Los contenidos son expuestos por proyecciones de diapositivas PowerPoint en las que los textos son casi inexistentes, esto les obliga a adquirir la capacidad de atender, entender y tomar nota de lo verdaderamente importante, de ser capaces de crear apuntes que luego puedan completar con la bibliografía que recogen las guías docentes. Este punto genera malestar en la mayoría, de manera errónea se han acostumbrado a que las diapositivas sean los apuntes y no la guía del profesor a la hora de impartir los contenidos.

Durante el primer bloque de contenidos teóricos las diapositivas ilustran imágenes de espacios ajardinados sobre los que se les explican las formas de hacer y entender los jardines según las épocas. Se les narra como quien les cuenta,

apoyándonos en una foto del momento, pasado o presente del espacio, para que comiencen a apreciar la importancia de observar y como lo creado está influido por el contexto histórico. Todo acompañado con preguntas abiertas para que se sientan cómodos para participar y mantenga una asistencia activa y escucha asertiva ante el resto de opiniones. En realidad, se les está preparando para el resto de sesiones que están por venir, y lo más importante, para un desarrollo completo de su futura actividad profesional.

Paralelamente desde la segunda o tercera semana de inicio del cuatrimestre las sesiones de laboratorios se imparten en los espacios verdes de la ciudad de Huelva: espacio multifuncional de Federico Mayo, Parque de La Esperanza, Parque Alonso Sánchez, Parque Moret, Parque Juan Ceada, Jardines del Muelle, Avenida Andalucía. En este caso ellos son los protagonistas, se les alienta a compartir en voz alta que ven, que les sugiere el lugar visitado, que conocen sobre él, que especies reconocen. De manera encubierta se les incita a mirar 360°. A veces, nos acompañan distintos profesionales conocedores del espacio con funciones y profesiones distintas que suponen un valor añadido en la palabra tomada de alguien a quien no es el habitual: El responsable de Parques y Jardines del Ayuntamiento de Huelva, los monitores del aula de la naturaleza del Parque Moret, o el arquitecto creador del Parque Alonso Sánchez. Cada uno les transmite no solo sus conocimientos del lugar sino la experiencia y las emociones, los retos a los que se han enfrentado, las dificultades y mejoras particulares tras el paso de los años.

Las visitas quedan completadas con una tarea marcada claramente: boceto, dimensión, zonificación, clasificación de elementos vegetales y no vegetales y propuestas del espacio. Una vez más se les está obligando a observar los detalles y poner en práctica conocimientos ya aprendidos de otras materias recibidas, que les permitan apreciar su utilidad. Cuando bocetan se enfrentan a la olvidada herramienta del lápiz, a conectar este con la memoria, con los recuerdos del lugar visitado, o reconocen los beneficios de software de diseño, que como el SketchUp también son incluidos como materia a impartirles. Las propuestas les permitirán desarrollar la creatividad y el espíritu crítico.

Durante el segundo bloque de contenidos teórico y tras la exposición de los dos temas principales. El docente pasa a ocupar un lugar de coordinador y moderador, los temas expuestos no ocupan más de quince minutos, y el educando ocupa el papel principal. Unas nuevas herramientas se incorporan a la metodología de enseñanza-aprendizaje: la gamificación (kahoot, socrative), Instagram (@daverdesuhu). Las dinámicas de grupos ocupan el mayor tiempo en el aula, con unos objetivos, pautas y temporalidad de obligado cumplimiento. Los equipos de trabajo en cada tarea son establecidos por la docente según las habilidades observadas en las sesiones previas, es importante el trabajar "todos con todos". Que asuman responsabilidades, que sean capaces de distribuir las tareas entre los integrantes del equipo, de hacerles responsables, que sepan detectar las habilidades de sus compañeros y considerarlas una fortaleza y no una amenaza. El valor del tiempo, como es importante la organización y distribución para optimizarlo. Es una prueba a superar de la realidad a la que se enfrentaran en sus futuros puestos de trabajo profesional.

Estas dinámicas activas y participativas consisten en la elaboración de proyectos reales como son crear los espacios verdes de una zona residencial de unifamiliares, una zona privada de bloque de viviendas, una calle rural de casas alineadas, una vía o plaza arbolada, un parque urbano. Se ha de desarrollar en un tiempo límite, durante sesiones de trabajo exclusivos en el aula y en grupos con integrantes cada vez mayores hasta el proyecto final en el que cuentan con tan solo una hora para su realización, con un único equipo compuesto por todo el alumnado y en el que algunos cuentan con un rol impuesto por la docente y desconocido por los integrantes como son: llevar la contraria en las decisiones planteadas por el equipo, no realizar el trabajo encomendado, entre otros.

Tanto el papel del profesorado como el del alumnado no finalizan aquí, sino que es completado por el seguimiento, corrección de las tareas individuales, grupales y las sesiones de tutorías, a veces, impartidas en el aula por necesidades puntuales solicitadas por el propio alumnado. Los mensajes de bienvenida y presentación al inicio del cuatrimestre o los de ánimo en fechas de examen y avisos recordando pautas o corrigiendo errores generalizados forman parte de un trabajo continuado del docente. Al alumnado le resta su tarea más difícil dejar registro escrito de que ha asimilado los contenidos recogidos en el documento básico. Ambas partes, docente y discente, han de cumplir con las responsabilidades que le son atribuidas a final del periodo académico establecido.

III. CONCLUSIONES

En ambos cursos de experiencia de metodología impartida se consiguen un objetivo común y es que el alumnado aprecia su entorno, es capaz de observar e incapaz de pasar por un espacio verde sin analizar sus elementos y detectar las carencias o vislumbrar las propuestas de mejoras.

Reconocen la oportunidad que le ha brindado la asignatura de poder visitar espacios desconocidos de su ciudad. Y cambiar la opinión en referencia a parques que la propia ciudad tiene denostada a pesar de encontrarse en un lugar estratégico, como es el caso concreto del Parque Alonso Sánchez y la charla impartida por el arquitecto autor de la obra José Álvarez Checa.

No saben aprovechar la oportunidad que suponen las dinámicas activas durante las horas de clases, ni por cuestión de no llevarse tareas que supongan restarles tiempo de ocio o de dedicación a otras materias, ni en las de que puedan servirles de repaso de los contenidos impartidos y aprovechar para resolver dudas. Inclusive es una buena ocasión para interactuar y conocer al resto de compañeros con los que comparten horas de clase sin ni tan siquiera intercambiar palabra entre ellos.

No son capaces, a pesar de las pautas marcadas, de elaborar apuntes, ni completarlos de manera acertada.

La gamificación en el aula (Kahoot y Socrative) son novedosas para la mayoría a pesar de la edad del alumnado ya que es una herramienta de empleo habitual en el periodo de la enseñanza secundaria obligatoria en distintas materias.

Como norma la gamificación una vez la conocen suelen demandarla con más frecuencia. Se hicieron uso de Kahoot para repaso de contenidos generales como las principales características de los jardines a lo largo de la historia y Socrative para visu de recordatorio de especies vegetales por familias (Aracaceae, Cupressaceae) e identificación del nombre científico a partir del común. Estas aplicaciones permiten registrar las repuestas y sondear los conocimientos e inclusive calificar al alumnado de manera afable y sin que el participante lo rechace como si lo harían ante un examen escrito tipo test al uso. Ya que poseen una interface, sonido y método que le asemeja aun juego en el cual les resultan estimulante la competición entre participantes.

La incorporación a partir del segundo bloque de la asignatura de la red social Instagram tras un sondeo previo de las redes sociales que emplean sorprende el rechazo y la no aceptación, ni participación. A pesar de no contemplarse como evaluable en la asignatura, sino como un medio de difusión de espacios, consejos y actividades relacionados con los contenidos de la asignatura.

Todos los años el grueso del alumnado no es homogéneo en cuanto a perfiles, aunque si en cuanto a procedencias (pueblos de la provincia onubense) y aficiones (campestre, caballistas). Es importante para detectar estos aspectos hacer que se presenten en la primera sesión de clases y respondan a una serie de cuestiones para así tener una certeza a la hora de poner ejemplos con los que se sientan identificados.

Se percibe una falta de reconocimiento y aceptación hacia las asignaturas de diseño de áreas verdes al no ser capaces de detectarla como una posibilidad de diversificar o especializarse dentro de su titulación, inclusive como aspecto diferenciador del resto al ofrecer una opción profesional más.

En general el discente se presente maleable, pero sin ganas de esforzarse por conseguir su objetivo, el título. Solicita incansable más prácticas y más aproximación a la realidad del único sector que le interesa, el campo, pero sin ser consciente de que la practica requiere del conocimiento y asimilación de contenidos básicos y de un largo camino de trabajo abierto a nuevos conceptos que surgen frutos de los avances y de la tecnología que le esperan más allá de las puertas de nuestra institución universitaria a las que volverán para seguir creciendo en sabiduría y es que no existe ciudad inteligente sin personas sabiamente preparadas. Para ello debemos apostar por una enseñanza neutral, no direccionada, que estimule el espíritu critico y el respeto ante la diversidad de opinión y apueste por el entendimiento de las partes.

AGRADECIMIENTOS

A tod@s y cada un@ de los alumn@s que he tenido dentro y fuera de la institución universitaria. A tod@s y cada un@ de los ponentes de cualquier curso recibido dentro y fuera de la institución universitaria. A todas las personas que ante una solicitud me atendió y dieron respuesta. A todas las personas que me prestan su atención y escuchan. A todas esas personas con las que, a diario intercambio, aunque sea una mirada. Porque gracias a cada un@ de ell@s soy hoy quien soy.

REFERENCIAS

- [1] Real Academia Española
- [2] 15º seminario Nacional: Seminario datos abiertos en el sector del agua Fundación Botín 2016
- [3] I. Alcalde, "Inteligencia urbana, más allá de las Smart cities". Ciudades inteligentes, ciudades sabias: por una gobernanza democrática y colaborativa, 2022, pp. 73-85, 2022.
- [4] R. San Salvador del Valle, F. Villatoro, G. D. Miranda Leschko, "Ciudades inteligentes, ciudades sabias: por una gobernanza democrática y colaborativa", 2022, pp. 8-9, 2022.
- [5] N. V. Tejedor, "La Smart City : Las Ciudades Inteligentes Del Futuro", 2015

Beneficios del uso de las nuevas tecnologías. ScienCity 2024.

Fomento de la Cultura Científica, Tecnológica y de Innovación en Ciudades Inteligentes

José Antonio González Duque.

Departamento de Ciencias Agroforestales

Universidad de Huelva

Campus «El Carmen»

Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n. 21007 Huelva

Email: duque@uhu.es

Resumen- Las ciudades deben estar preparadas para hacer frente a las nuevas tendencias. De tal modo que se debe capacitar a los investigadores del medio urbano para crear conciencia del uso de dichas herramientas de manera eficiente y positiva.

Las tecnologías de la información que están en la vanguardia deben ser usadas como recurso importante en todas las ciudades, ya que las poblaciones se pueden beneficiar netamente de éstas.

Los planificadores pueden facilitar que el proceso de mejora de las ciudades y un uso progresivo con aprendizaje de mejora se logre con mayor rapidez y practicidad. Para cumplir con los objetivos planteados se ha de tener una visión holística y coordinar las necesidades de la población con el funcionamiento del conjunto de la ciudad para ello se debe hacer un estudio desde muchos ámbitos y técnicas para conseguir unos mayores y más duraderos beneficios.

Palabras Clave- Planificación urbana. Mejora ciudadana mediante las nuevas tecnologías. Smart Cities,

I. INTRODUCCIÓN

Una ciudad inteligente tiene como objetivo lograr un desarrollo cuya figura central son sus habitantes, su salud y su sostenibilidad. Las nuevas tecnologías desempeñan un papel fundamental en la evolución de las sociedades actuales a las del futuro.

Las Smart Cities están experimentando un vertiginoso desarrollo para satisfacer las necesidades de los urbanitas, empleando muy diversos medios técnicos inteligentes incluso la «inteligencia artificial». En general las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son las que aceleran el progreso en general y por ello se benefician las ciudades a través de un urbanismo que utilice estas herramientas para llegar a las ciudades inteligentes, siempre sin perder la naturaleza en éstas.

Las nuevas aplicaciones y usos basados en las TIC deberán conseguir una neta eficiencia en la prestación de todos los servicios tanto públicos como privados de la ciudad. Se deben dar soluciones a los problemas que existan y e intentar prevenir o minimizar los futuros debido al progreso, aumento de la población, etc.

Es notorio que se han de favorecer soluciones innovadoras para llegar a conseguir una población inteligente. Son factores fundamentales a tener en cuenta: las infraestructuras, servicios comunitarios, los barrios, las redes de comunicación; de modo que las TIC aglutinen y relacionen todos estos campos.

Se ha de tener muy en cuenta que la mejora de todo tipo viales y la comunicación ciudadana en general son una de las cuestiones más importantes en una comunidad urbana para facilitar la innovación y mejora suficiente para poder desarrollar ciudades inteligentes.

II. PLANIFICACIÓN URBANA Y LAS TIC.

La participación y colaboración públicas, apoyadas por las oportunidades que ofrecen las tecnologías digitales, son temas prolíficos en la planificación urbana y paisajística. En las últimas dos décadas, ha habido un creciente interés en la capacidad de las visualizaciones 3D para apoyar la participación de los ciudadanos y las partes interesadas en los procesos de planificación comunicativa (Salla Eilola et al, 2023).

Las ciudades inteligentes se están desarrollando rápidamente con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Las TIC mejoradas para la «viabilidad urbana» atienden las necesidades y preferencias de los peatones al proporcionar información inteligente en tiempo real mientras una persona camina en un entorno urbano. Los gobiernos invierten mucho en diversas TIC y big data como parte de sus decisiones de planificación en ciudades inteligentes. La mejora de la «viabilidad urbana» que permiten las TIC integradas debe ser evaluada por los planificadores urbanos, (Wenjing Yang et al, 2021).

III. EFECTOS DEL PAISAJE SOBRE LA SALUD.

Los espacios verdes del vecindario benefician la salud, pero hay pocas herramientas disponibles para estimar las consecuencias para la salud de las alternativas de diseño de espacios verdes comunitarios, especialmente antes de la implementación de un plan de diseño del paisaje. Se puede predecir la prevalencia de enfermedades no transmisibles con base en mapas de diseño del paisaje a escala comunitaria.

Mediante el uso de imágenes de satélites de alta resolución y tecnologías de detección remota, se extraen características de diseño espacial del paisaje a través del análisis de patrones espaciales, lo que permite la medición de la vegetación, la fragmentación, la conectividad, la agregación y la forma de los espacios verdes.

Se estableció un modelo para estimar la prevalencia de mala salud mental, enfermedad cardíaca coronaria, accidente

cerebrovascular, diabetes, enfermedad pulmonar obstructiva crónica e inactividad física a nivel de área censal mediante la adopción de una combinación de algoritmo de árbol de decisión de bosque aleatorio y modelos de proceso gaussiano espacial. Esta herramienta permite a los planificadores urbanos y diseñadores de paisajes evaluar y comparar los efectos sobre la salud de diferentes planes de diseño de espacios verdes antes de su implementación, lo que proporciona a los responsables de las políticas y a los diseñadores alternativas ricas en evidencia durante el proceso de planificación de espacios verdes que promueven la salud, (Huaqing Wang et al, 2024).

La gente suele disfrutar en los bosques y el paisaje del dosel de estos bosques tiene un potencial terapéutico importante. Lo que proporciona el mejor efecto terapéutico integral. Estos resultados pueden informar para la planificación y el diseño de espacios forestales y promover métodos actualizados para la evaluación visual de los espacios verdes. Los efectos beneficiosos de la terapia forestal (o "baño forestal") se basan en la percepción de factores específicos del entorno forestal que se perciben a través de varias modalidades (p. ej., vista, sonido, olfato y tacto); estos estímulos dan lugar a respuestas positivas de indicadores psicofisiológicos y beneficios para la salud. Los beneficios para la salud de los bosques han sido bien documentados, los mecanismos por los cuales su estructura espacial facilita la recuperación física y mental en los humanos han recibido menos atención. En los espacios al aire libre, la cubierta arbórea es el principal elemento de importancia. Las cubiertas vegetales proporcionan un refugio natural y son ideales como zonas de descanso. La cubierta forestal es un recurso valioso en los parques urbanos o los espacios verdes naturales, ya que descansar bajo la cubierta permite a las personas relajarse, descansar y rejuvenecer sus cuerpos y mentes, (Wei Lin et al 2023),

IV. HABITABILIDAD Y TRANSITABILIDAD EN LAS CIUDADES

Los estudios de habitabilidad a menudo se basan en encuestas, se presenta un enfoque cuantitativo aplicable a nivel mundial para evaluar la habitabilidad a lo largo de las dimensiones de transitabilidad, accesibilidad y morfología edificada. Utilizando datos geoespaciales y un marco de delineación basado en distancias de caminata, identificamos disparidades en la habitabilidad. Las ciudades son más que un lugar de trabajo o un lugar para vivir. Son centros dinámicos de cultura, que también ofrecen innovación e interacción social, entre muchas otras cuestiones. Hoy en día, las ciudades ofrecen a los residentes una amplia gama de eventos culturales, oportunidades educativas y actividades recreativas que enriquecen enormemente la vida de sus ciudadanos. La habitabilidad de los entornos urbanos y sus características han atraído una atención significativa de los planificadores urbanos, los responsables políticos, los científicos y los residentes por igual, con el objetivo de hacer que la vida en las ciudades sea lo más habitable posible. No existe una definición común de habitabilidad y hay numerosas dimensiones a considerar al evaluarla, que van desde el acceso a atención médica y educación de calidad, la calidad ambiental o la vivienda asequible, hasta la disponibilidad de servicios culturales y la infraestructura y seguridad generales de una ciudad. Uno de los factores críticos y mensurables de

la habitabilidad es *la transitabilidad peatonal*, que se refiere a la facilidad y seguridad con la que los residentes pueden recorrer el área urbana a pie. La accesibilidad para peatones, también llamada transitabilidad, está vinculada a un enfoque inclusivo que beneficia a todos los sectores de la sociedad y es especialmente relevante para las personas mayores y otras categorías vulnerables de la población con movilidad reducida (Wenjing Yang et Patrick T.I.Lam, 2021).

V. RESIDENTES MAYORES, ESPACIOS VERDES URBANOS Y LOS PERÍODOS DE CALOR

Los segmentos con respecto a la población de mayores respecto al calor difieren por su estado de salud, capacidad de adaptación y uso de espacios verdes. Los espacios verdes que proporcionan sombra y un estanque y que son fácilmente accesibles y más frescos que el hogar animaría a la mayoría de los ancianos a visitarlos.

Dado que muchas ciudades tienen una población de edad avanzada numerosa y en aumento, de la que un gran número vive en condiciones de vivienda deficientes, se prevé que el problema adquiera mucha más importancia en el futuro cercano. Por ello, reducir la vulnerabilidad de las personas mayores es una prioridad para las administraciones municipales.

Pocas investigaciones han abordado los comportamientos de afrontamiento del calor de los residentes de edad avanzada y si los espacios verdes juegan un papel para este grupo de riesgo durante los períodos de calor. Tampoco se sabe qué tipo de espacios verdes prefieren los ancianos en los días calurosos y si los visitarían.

Los escasos estudios existentes en el campo de la investigación sobre los comportamientos y cómo afrontar el problema del calor nos pueden proporcionar una imagen clara de hasta qué punto el calor, en comparación con los factores personales, sociales y ambientales, desalienta las actividades al aire libre.

Se plantea la cuestión de por qué algunos residentes mayores se quedan en casa, mientras que otros visitan los espacios verdes. Las limitaciones individuales, como la inmovilidad física, pueden ser una razón, pero también el desagrado por ciertas cualidades de los espacios verdes, la ausencia de amigos y las calles de acceso expuestas al sol pueden disuadir a las personas mayores de visitar los espacios verdes en días calurosos, o la percepción de que los espacios verdes siempre son más calurosos que el apartamento, (Arne Arnberger et al, 2017).

Los residentes de las zonas urbanas sufren durante los períodos de calor debido al efecto de isla de calor urbana (OMM, 2011),

VI. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y EL PAISAJE

Históricamente, la planificación, el diseño y la gestión de los espacios viales urbanos han priorizado principalmente la eficiencia del tráfico de vehículos motorizados. Este enfoque a menudo ha pasado por alto las funciones multifacéticas y las complejidades de los espacios de la calle, en particular la importancia de las áreas peatonales y las zonas de tráfico lento que sirven como centros para diversos servicios y actividades. Con el advenimiento de la tecnología de Internet

de las cosas (IoT), la conceptualización de los espacios viales urbanos ha cambiado progresivamente de un enfoque "orientado al automóvil" a un enfoque "orientado a las personas". Esta nueva perspectiva enfatiza la asignación científica de los recursos del espacio de la calle para equilibrar las necesidades del tráfico de vehículos motorizados y priorizar la comodidad de los peatones. El objetivo final es crear espacios públicos que fomenten la interacción social y las estadias prolongadas de los ciudadanos

VII. CONCLUSIONES

La planificación debiera empezar por la ecologización de las calles urbanas. Realizando un estudio multicriterio centrado en la importancia de los espacios y usos de las calles, su transitabilidad, aspectos cenestésicos, áreas verdes, supresión de fuentes de ruidos, accesibilidad mayores e incapacitados, buena relación entre calles peatonales y de tráfico rodado. Adecuada planificación de zonas verdes atendiendo incluso lo ofrecido por la Inteligencia artificial en la materia. Proporción de zonas verdes, zonas grises y azules equilibradas.

REFERENCIAS

- Andrea Ghermandi, Yaella Depietri, Michael Sinclair, In the AI of the beholder: A comparative analysis of computer vision-assisted characterizations of human-nature interactions in urban green spaces, *Landscape and Urban Planning*, Volume 217, 2022, 104261, ISSN 0169-2046
- Arne Amberger, Brigitte Allex, Renate Eder, Martin Ebenberger, Anna Wanka, Franz Kolland, Peter Wallner, Hans-Peter Hutter, Elderly resident's uses of and preferences for urban green spaces during heat periods, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 21, 2017, Pages 102-115, ISSN 1618-8667, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.012>.
- Lei Song, The street space planning and design of artificial intelligence-assisted deep learning neural network in the Internet of Things, *Heliyon*, Volume 10, Issue 15, 2024, e35031, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35031>.
- Organización Mundial de Meteorología (OMM) (2011). Statement on the status of the global climate in 2010. N° 1074, 2011, ISBN 978-92-63-11074-9, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.
- Salla Eilola, Kaisa Jaalama, Petri Kangassalo, Pilvi Nummi, Aija Staffans, Nora Fagerholm, 3D visualisations for communicative urban and landscape planning: What systematic mapping of academic literature can tell us of their potential?, *Landscape and Urban Planning*, Volume 234, 2023, 104716, ISSN 0169-2046, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104716>.
- Wei Lin, Chengcheng Zeng, Zhiyi Bao, Hexian Jin, The therapeutic look up: Stress reduction and attention restoration vary according to the sky-leaf-trunk (SLT) ratio in canopy landscapes, *Landscape and Urban Planning*, Volume 234, 2023, 104730, ISSN 0169-2046, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104730>.
- Wenjing Yang, Patrick T.I. Lam, An evaluation of ICT benefits enhancing walkability in a smart city, *Landscape and Urban Planning*, Volume 215, 2021, 104227, ISSN 0169-2046, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104227>.

Estudio de la Introducción de Coches Eléctricos a Gran Escala en el Sistema Insular Canario

Gregorio Ortega Ruiz, Alejandro Pérez Valles, Ángel Mena Nieto.

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos.

Universidad de Huelva

Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n. 21007 Huelva

gregorio.ortega@die.uhu.es , aperez@uhu.es , mena@uhu.es

Resumen- Este trabajo pretende ponderar el resultado de la introducción de vehículos eléctricos en el mercado automovilístico canario, sustituyendo paulatinamente a los vehículos de combustión interna utilizados hasta ahora. Para alcanzar este objetivo, se ha comparado la reducción esperada de emisiones de los combustibles tradicionales como el diésel y la gasolina, con el incremento provocado por las emisiones de los combustibles utilizados para generar la nueva demanda eléctrica. Los esfuerzos llevados a cabo en los últimos años, solo han reducido la participación de estas tecnologías desde el 93.76% en 2006 al 80.58% en 2023. Esta tendencia, unida a una política de eficiencia en el consumo, ha conseguido una reducción del 0.75 % de la demanda en 2023 con respecto a 2006, lo que ha propiciado una reducción estimada de las emisiones anuales de 66,782 toneladas de CO₂ en 2023. Como se verá en este trabajo, la tendencia mostrada hasta ahora podría verse perjudicada por la introducción a gran escala de vehículos eléctricos, dado que los nuevos consumos generados deberán necesariamente ser cubiertos por tecnologías que, en la práctica, podrían resultar menos eficientes que el empleo de vehículos con motores térmicos.

Palabras Clave- Vehículo Eléctrico, Eficiencia Energética, Descarbonización.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos españoles de cara a 2030 es la descarbonización progresiva de su parque móvil, que pretende aportar sostenibilidad, respetando los acuerdos establecidos en el ámbito de la Unión Europea. Con ese objetivo, la Ley 7/2021 de mayo, establece entre otros objetivos que, por un lado, se implanten nuevas tecnologías para sustituir a los tradicionales diésel y gasolina, priorizando los vehículos eléctricos e híbridos, y por otra, se prohíba la venta de vehículos de combustión interna para 2035. Mediante la implantación de la citada ley, se pretende que para 2030, al menos un 35 % de los coches de nueva adquisición sean eléctricos, fomentando este objetivo mediante la creación de zonas de baja emisión para ciudades de más de 50000 habitantes, incentivos a la compra, mayor presión fiscal sobre vehículos contaminantes, instalación de puntos de recarga y fomento del transporte público entre otros [1].

En este contexto, la introducción de vehículos eléctricos a gran escala aparentemente plantea un beneficio ambiental, dado que, salvando las emisiones derivadas de la fabricación de sus componentes, las emisiones resultantes de su empleo serán casi exclusivamente debidas a la generación de la energía eléctrica que los mueve [2]. Este factor, se estudia en este trabajo debido a las especiales características del sistema canario, dado que, es un sistema de producción de energía eléctrica acotado, sin aportes del exterior, con una gran

contribución de energía proveniente de plantas con tecnologías fuertemente emisoras, unido a una gran concentración de vehículos debida a la gran afluencia turística de las Islas [3].

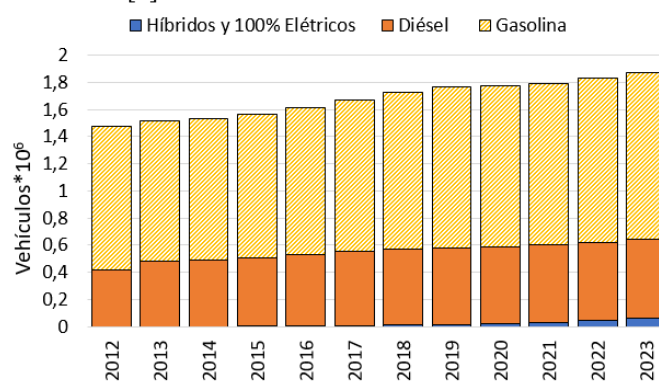


Figura 1.- Composición por tecnologías del parking automovilístico en Canarias.

En las islas canarias, según el último censo publicado, poseen permiso de circulación un total de 1821314 vehículos [3], lo que representa la mayor cantidad de vehículos de la historia de las Islas, con un aumento sobre el año anterior del 2.63%. Por canales de venta, el aumento se ha alcanzado gracias a la nueva matriculación de 16754 unidades para empresas de alquiler de vehículos, 21498 unidades para uso comercial y un total de 36434 unidades para particulares [4]. Atendiendo al número de vehículos y la densidad de población, las Islas ocupan el segundo puesto a nivel nacional, con un total de 829.9 vehículos por cada 1000 habitantes, solo por detrás de Baleares [3]. En la composición por tecnologías, en su parque móvil destacan los motores de combustión interna, sobre todo, los que emplean gasolina como combustible que, como se puede apreciar en la figura 1, ocupan en 2023 el 65.5% del total, seguidos por los motores diésel, con un 31.2%. Las unidades que emplean motores con calificación ambiental de bajas emisiones, o sin emisiones, suponían 61416 unidades en 2023 [3], donde destacaban los híbridos gasolina, con 34294 unidades, lo que supone un 61.9 % de este segmento. Las unidades 100% eléctricas, son simplemente un 16,3% dentro de las mencionadas, lo que supone un total de 9023 vehículos en operación en el conjunto de las Isla en 2023. Estos datos, nos aportan una baja introducción del vehículo eléctrico en la actualidad, con una cuota del parking automovilístico en el conjunto de las Islas que supone un 0.48 % [3].

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Los trabajos científicos que analiza la reducción de emisiones mediante la implantación de fuentes alternativas, en el sistema eléctrico son vastos. En esta sección, nos centraremos en aquellos artículos que estudian el sistema eléctrico canario, y la implantación de tecnologías orientadas a la reducción de las emisiones. En ese sentido, las alteraciones al sistema eléctrico en islas fueron estudiados por M. Alves, et al. (2020) [5], mediante un modelo EnergyPLAN, proponen para minimizar el impacto derivado de la implantación un sistema inteligente que cambie la demanda de acuerdo con los requisitos del sistema, proponiendo además el conexionado con el territorio continental de aquellas islas cercanas, como solución. En el mismo campo de trabajo, Barone, G., et al. (2021) [6], estudiaron el sistema de generación eléctrica de Canarias, encontrando un gran potencial para la implantación de fuentes renovables, diseñando mediante la aplicación de una metodología TRNSYS/Matlab un modelo que cubre un horizonte temporal de 20 años, proponiendo soluciones con plantas solares para atenuar los problemas energéticos de las Islas. Pedro Cabrera, et al. (2024) [7], estudiaron opciones para otro de los problemas de las Islas, la falta de agua, proponiendo para bajar la huella de carbono derivada de la desalinización, un sistema de almacenamiento eléctrico para que la energía proporcionada por parques eólicos, termine siendo empleada cuando lo demande el sistema de desalinización. Lozano Medina, J.C., et al. (2024) [8], estudiaron los retos que supone la implantación de sistemas de generación renovable en las Islas Canarias, encontrando que los equipos productores de energía de las Islas, no son la mejor opción para reducir las emisiones, buscando en su trabajo, otras combinaciones posibles con menor emisión. Del mismo modo, Lozano Medina, J. C., et al. (2024) [9], inciden en cambiar el sistema de producción eléctrica en las Islas para hacerlo más sostenible, ahondando en la posibilidad de continuar con una base de generación con combustibles con bajas emisiones y un aporte renovable más alto. El trabajo de Qiblawey, Y., et al. (2022) [10], analiza, no solo los costes medio ambientales, también los derivados de la importación masiva de derivados del petróleo para la producción eléctrica en Canarias, aportando igualmente, soluciones basadas en la mayor penetración de fuentes renovables en el sistema de Tenerife y Gran Canarias.

III. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se ha empleado diferentes bases de datos publicadas por el Instituto Canario de Estadística [3], que aporta, entre otras, componentes y composición del parque móvil de canarias. Para los datos correspondientes al mix energético en el conjunto de las Islas, se ha empleado la base de datos de Red Eléctrica de España (REE) [11], que aporta por meses, la composición del mix entre 2006 y hasta la actualidad. La Corporación de Reservas estratégicas de Productos Petrolíferos (CORES) [12], aporta la cantidad en toneladas métrica de consumo para el transporte de diésel, gasolina 95 y gasolina 98 en las Islas desde 2006 hasta 2018.

El método empleado ha sido el mostrado por la ecuación (1), que calcula la diferencia entre la emisión de CO₂ derivada de la sustitución de vehículos convencionales por eléctricos. Este cálculo se realizará para 3 escenarios, el primero

contempla el uso de renovables, la segunda emplea la evolución esperada del mix sin renovables y el tercero contempla el empleo del mix de 2023 sin renovables. Este método, propone el cálculo realizando la diferencia entre la emisión generada por el combustible que proporciona la energía final, en del conjunto de vehículos convencionales, que emplean diésel, gasolina 95 o gasolina 98 como combustible primario, con la emisión de los combustibles empleados para generar la misma energía final en los vehículos eléctricos, que sufrirán entre otras, pérdidas en las baterías, en la carga, el transporte de energía en la red, transformación y las propias del método de generación.

$$E = \sum_{j=1}^4 \left(\frac{(P_j * \frac{E5 * \eta5 + E6 * \eta6}{\alpha * \beta * \gamma})}{\eta_j} * C_j \right) - \sum_{j=5}^6 (E_j * C_j) \quad (1)$$

Donde:

α, β, γ son los factores respectivos a los rendimientos del motor eléctrico, redes eléctricas, baterías y sistemas. η_j es el rendimiento de cada tipo de central eléctrica, distinguiéndolas por cada combustible j . η_5 y η_6 son los rendimientos respectivos de los motores diésel y gasolina. P es el tanto por uno del aporte al mix de cada uno de los combustibles en el sistema de generación eléctrica del sistema canario. C_j es el factor de emisión de cada combustible j empleado para la generación eléctrica. E_5 y E_6 son las energías en diésel y gasolina ahorradas por la implantación del coche eléctrico.

La extrapolación de los datos para lograr la proyección hasta 2030 ha sido realizada mediante ARIMA, empleando para cada una de las proyecciones, los coeficientes de mejor ajuste dentro de la base temporal conocida, realizando la extrapolación de cada uno de los combustibles empleados en el transporte, cada una de las fuentes que componen el mix de generación eléctrica, así como la propia demanda eléctrica. Para el cálculo de la emisión resultante se ha empleado los factores de emisión proporcionados por la Agencia para la Protección Medio Ambiental de Estados Unidos (EPA) [13], mostrados en la tabla 1, que proporcionan la emisión de CO₂ esperada, en función de la cantidad de energía obtenida de un combustible.

Tabla I
FACTORES DE EMISIÓN DE LOS COMBUSTIBLES NORMALMENTE EMPLEADOS

Fuel	Emission Factor (kgCO ₂ /koe)
Coal	4.511
Petroleum	2.978
Diesel	2.973
Gasoline	2.789
Naphtha	2.871
Kerosene	2.984
Jet Kerosene	2.866
LPG	2.449
Natural Gas	2.106
Biofuel (gas)	2.066
Biofuel (solid)	0
Biofuel (liquid)	2.930
Solar and Wind	0

Nuclear	0
Hidroeléctric	0

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mix energético para la generación eléctrica empleado, es vital para realizar este estudio. El sistema canario ha evolucionado adaptándose a las crecientes necesidades. Tradicionalmente, el sistema estaba basado en motores diésel, que aún en la actualidad aportan un 21.51 % de la energía eléctrica [11]. La figura 2 muestra la evolución en el aporte de las distintas fuentes al mix, destacando la reducción en la participación de las turbinas de vapor en favor de los ciclos combinados. Este cambio de tendencia es debido a dos factores, por un lado, la mejora en la eficiencia que supone el ciclo combinado frente al sistema Brayton de las turbinas de vapor, y por otro, al combustible empleado por dichas turbinas, altamente emisor, dado que, a diferencia de otras localizaciones, en las Islas se emplea como combustible gasoil o fueloil [11]. En la actualidad, los ciclos combinados aportan el 42.23 %, mientras que las turbinas de vapor han caído hasta el 13,91 %.

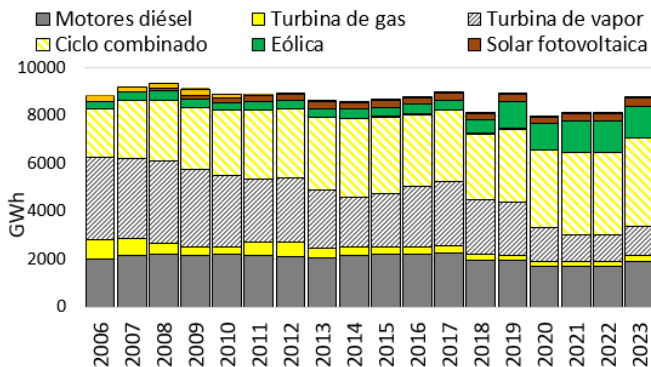


Figura 2.- Composición del mix de generación eléctrica de las Canarias.

Igualmente, se está generando menos energía con ciclos Rankine en favor de los ciclos combinados, en este caso debido únicamente a la mejora en la eficiencia, reduciéndose la participación de los ciclos Rankine desde el 5.07 % (2008) al 2.92 % (2023).

Las fuentes no emisoras han venido creciendo en toda la serie histórica analizada, siendo mayoritaria la energía eólica. Estas fuentes de energía han crecido desde aportar el 6.18 % (2008), hasta alcanzar el 19,27 % (2023) [11].

La demanda de las Islas ha venido manteniéndose en los últimos años de la serie histórica, debido a las medidas en ahorro energético llevadas a cabo. Aun así, la nueva demanda esperada debida a la introducción de vehículos eléctricos, modelada con una tasa de introducción del 6% anual, hará que la demanda eléctrica crezca un 22.08%, situándose en 918.95 KTOE para 2030. Este ritmo de crecimiento, modelado para la introducción en el mercado de los vehículos eléctricos, situará el porcentaje de estos en el 35.15 % para entonces.

Como se aprecia en la figura 3, la nueva energía eléctrica necesaria para los citados vehículos se situará en el 32.74 % de la total necesaria para el conjunto de actividades de las Islas, dada la magnitud del sector transporte, continuamente en alza por el marcado carácter turístico de las Islas que, dispone de una tasa de vehículos por cada 1000 habitantes de 829.9 vehículos, similar a los países más desarrollados según este

indicador, Nueva Zelanda, con 869 o EEUU con 860 vehículos [14].

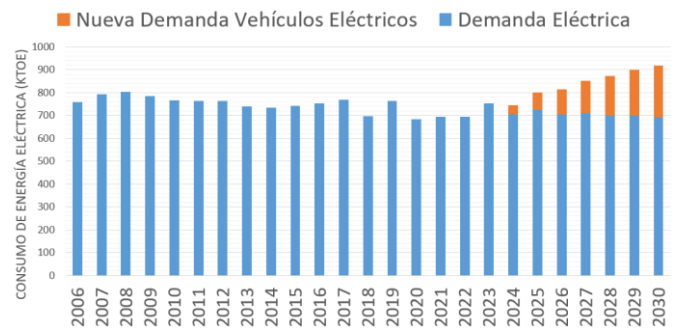


Figura 3.- Demanda eléctrica del conjunto de las Islas Canarias más la demanda esperada para el coche eléctrico proyectada desde 2023 a 2030.

A. Primer Escenario

Para la realización del primer escenario, se ha supuesto que la nueva demanda eléctrica modelada, puede hacerse frente en su totalidad sin alterar la evolución del mix en las Islas, que crece en renovables y en la sustitución de los métodos menos eficientes de generación, en favor de ciclos combinados. La figura 4, muestra esta situación ideal, que aporta una reducción anual de emisiones de 167,7 Toneladas de CO2 en 2030. Este escenario es a lo largo de la serie proyectada beneficioso en cuanto a emisiones, dado que reduce la emisión resultante en cada uno de los años, habiendo reducido un total de 570 Toneladas a lo largo de los siete años proyectados.

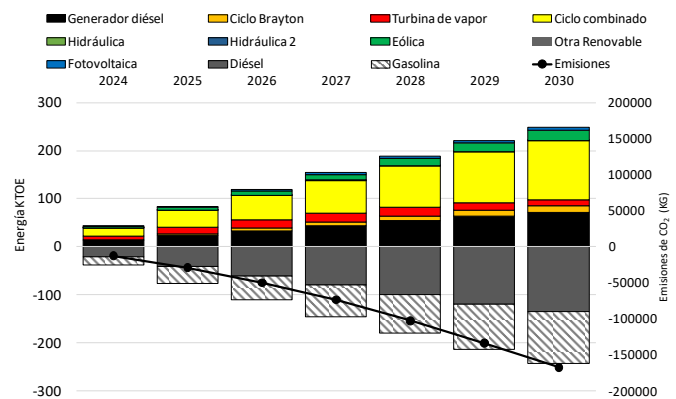


Figura 4.- Proyección en el escenario 1 de la energía en KTOE ahorrada de combustibles Diésel y Gasolina, frente a energía necesaria de cada una de las fuentes que componen el mix eléctrico en las Islas Canarias.

B. Segundo Escenario

Para el modelado del segundo escenario se ha supuesto que el aporte de las fuentes alternativas son absorbidas por la demanda de las Islas, de esta manera, la nueva demanda derivada de la introducción de vehículos eléctricos, deberá ser suministrada por las plantas tradicionales, respetando, para este escenario, la tendencia de crecimiento de cada una de las tecnologías que emplean combustibles emisores dentro del sistema canario. Este escenario es descrito por la figura 5, donde se aprecia un comportamiento notablemente distinto al aportado por el escenario 1, resultando las emisiones positivas para los seis primeros años, en los que, en su conjunto, se emitirán 180,2 Toneladas de CO2 a la atmósfera. La evolución de las emisiones crece en los primeros años simulados, alcanzando un máximo de emisiones anuales para 2026 de 42,5

Toneladas. Solo a partir del séptimo año se logrará una reducción de las emisiones, para ahorrar el vertido de 20,05 Toneladas de CO₂ en 2030. Esta situación es consecuencia de la mejora paulatina que experimenta el mix canario, que reduce los actuales sistemas de turbina de vapor y Brayton por ciclos combinados, que aportan mayor eficiencia, además de emplear, para el caso de las turbinas de vapor, combustibles con mucha menor emisión.

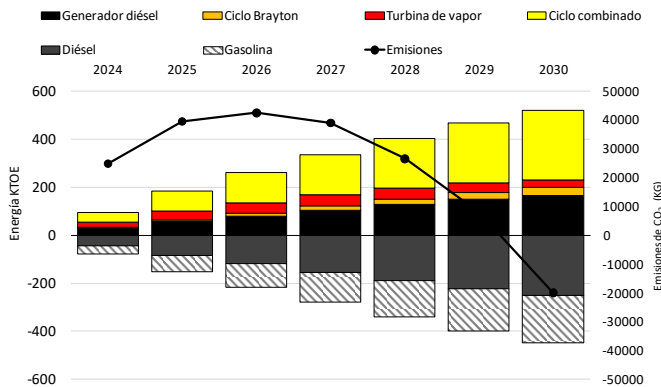


Figura 5.- Proyección en el escenario 2 de la energía en KTOE ahorrada de combustibles Diésel y Gasolina, frente a energía primaria necesaria de cada una de las fuentes que componen el mix eléctrico en las Islas Canarias.

C. Tercer Escenario

El tercer escenario ha sido modelado para dar respuesta a la situación más cercana a la real, donde la nueva demanda imposibilite, dado su volumen, que el mix canario pueda reducir el empleo de los Brayton y turbinas de vapor, así como los generadores diésel o fueloil que operan en la actualidad en las Islas. La figura 6 muestra la evolución dentro de este escenario, presentando que la resultante de las emisiones es positiva para toda la proyección. Este escenario aporta una emisión total para el conjunto de la proyección de 731,9 Toneladas de CO₂, con una punta de emisión para el último año modelado de 171.7 Toneladas vertidas a la atmósfera por la reducción de un 35 % del empleo de diésel y gasolina a favor del coche eléctrico.

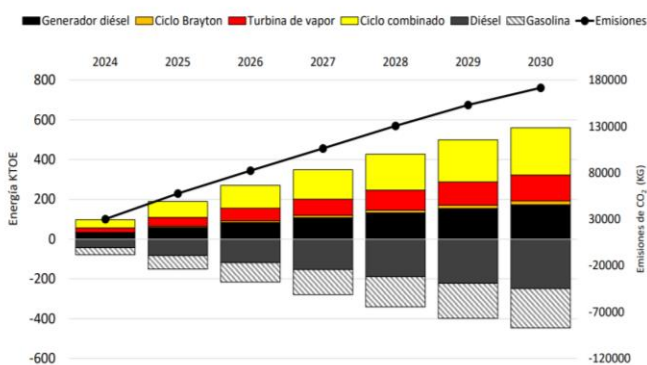


Figura 6.- Proyección en el escenario 3 de la energía en KTOE ahorrada de combustibles Diésel y Gasolina, frente a energía primaria necesaria de cada una de las fuentes que componen el mix eléctrico en las Islas Canarias.

V. CONCLUSIONES

Para que la introducción de vehículos eléctricos a gran escala en las Islas Canarias aporte la reducción esperada de emisiones, habrá que afianzar en primera instancia, el empleo

masivo de energía no emisoras en el sistema de generación eléctrico. El presente sistema de generación eléctrica, presenta gran emisión en el conjunto de Canarias, donde aún, en islas como Lanzarote, Fuerteventura o la Gomera la energía eléctrica proviene casi en su totalidad del empleo de generadores diésel [11], estando además en mayor o menor grado presentes en el conjunto de las Islas.

Sería preciso revisar por parte de las autoridades la entrada en vigor de la Ley 7/2021 de mayo, para atender las características locales de la red eléctrica canaria, demorando la entrada en vigor de la misma, hasta que se actualicen los sistemas de producción.

REFERENCIAS

- [1] BOE, «Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.» *BOE*, p. 62009 a 65052, 2021.
- [2] AIE, «Informe Global EV Outlook 2024,» AIE, París, 2024.
- [3] ISTAC, «Instituto Canario de Estadística,» Gobierno de Canarias, 15 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://www.gobiernodecanarias.org/istac/servicios/atencion.html>. [Último acceso: 15 10 2024].
- [4] C. C. d. Empresarios, «Matriculaciones de Vehículos,» Confederación Canaria de Empresarios, Las Palmas de Gran Canaria, 2023.
- [5] M. Alves, R. Segurado, M. Costa, «On the road to 100% renewable energy systems in isolated islands,» *Energy*, vol. 198, n° 117321, pp. ISSN 0360-5442, 2020.
- [6] Barone, G., Buonomano, A., Forzano, C., Giuzio, G. F., & Palombo, A., «Supporting the sustainable energy transition in the Canary Islands: Simulation and optimization of multiple energy system layouts and economic scenarios,» *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 3, 2021.
- [7] Pedro Cabrera, José A. Carta, Carlos Matos, Enrique Rosales-Asensio, Henrik Lund, «Reduced desalination carbon footprint on islands with weak electricity grids. The case of Gran Canaria,» *Applied Energy*, vol. 358, n° 122564, pp. ISSN 0306-2619, 2024.
- [8] J. Lozano Medina, S. Perez-Baez, F. Leon-Zerpa y C. Mendieta-Pino, «Alternatives for the Optimization and Reduction in the Carbon Footprint in Island Electricity Systems,» *Sustainability*, vol. 16, n° 1214, 2024.
- [9] Lozano Medina, J. C., Henríquez Concepción, V., Ramos, M. A., León Zerpa, F., & Mendieta Pino, C. A., «Estudio de diferentes alternativas de funcionamiento de los grupos en las centrales eléctricas de Canarias,» *DINA*, vol. 5, n° 99, 2024.
- [10] Qiblawey, Y., Alassi, A., ul Abideen, M. Z., & Banales, S., «economic assessment of increasing the renewable energy supply in the Canary Islands: The case of Tenerife and Gran Canaria,» *Energy Policy*, vol. 162, n° 112791, pp. ISSN 0301-4215, 2022.
- [11] REE, «Red Eléctrica,» 16 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://www.ree.es/es>.
- [12] CORES, «Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos,» 17 10 2024. [En línea]. Available: <https://www.cores.es/es/cores>.
- [13] EPA, «Global Greenhouse Gas Emissions Data,» United States Environmental Protection Agency, 26 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>. [Último acceso: 26 Octubre 2024].
- [14] Bankinter, «Blog de economía y finanzas,» 29 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://www.bankinter.com/blog/finanzas-personales/coches-por-habitante-espana-mundo#:~:text=Comparativa%20del%20n%C3%BAmero%20de%20coches%20por%20pa%C3%ADses&text=Por%20otro%20lado%2C%20Estados%20Unidos,hacia%20las%20camionetas%20y%20SUVs..> [Último acceso: 29 Octubre 2024].

Valorización de residuos de cáscara de naranja para la producción de biocombustibles: Un enfoque de economía circular

Loaiza, Javier Mauricio^{*a}; Camacho, José Manuel^a; García, Juan Carlos^a

^a Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos Químicos. Pro²TecS - Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales. Universidad de Huelva, Av. 3 de marzo s/n, 21071 Huelva, Spain.

*Autor de correspondencia: javiermauricio.loiza@diq.uhu.es

Resumen- El objetivo principal de esta investigación es caracterizar energéticamente y químicamente la cáscara de naranja para obtener precursores químicos (con alto interés en la industria de los biocombustibles). Como primera etapa del proceso, se realiza una caracterización química. Dicha composición está formada principalmente por celulosa, hemicelulosas, lignina y compuestos extraíbles. La siguiente etapa que se lleva a cabo es la extracción de aceites mediante el proceso de Extracción Soxhlet con diferentes disolventes (etanol, isopropanol y hexano). Una vez extraídos los aceites se les realiza un proceso de transesterificación. Los principales compuestos obtenidos son el metil linoleico y metil palmítico. Posteriormente, como segunda etapa del proceso, a la fase sólida se le realiza una Extracción Alcalina en Frío (EAF) con ultrasonido con el fin de obtener una fase líquida rica en hemicelulosas y un sólido residual que se aprovecha para la obtención de energía mediante combustión. A las fases líquidas obtenidas después de la EAF con ultrasonido se le realiza un proceso de hidrólisis ácida con el fin de obtener furfural.

Palabras Clave: Biocombustibles, Biorrefinería, Cáscara de naranja, Economía Circular, Furfural, Hemicelulosas.

I. INTRODUCCIÓN

Las necesidades actuales y futuras del mercado de la energía y combustibles para automoción pronostican que habrá un déficit de materiales en el sector energético y químico de España debido a los problemas geopolíticos y de abastecimiento de productos químicos básicos para la industria.

Durante la última década, el modelo de desarrollo predominante en la Unión Europea en términos de utilización de recursos naturales se ha vuelto insostenible. Esto se debe a su fuerte dependencia de los combustibles fósiles y a la falta de diversificación en los proveedores, lo que ha provocado un aumento en los precios y una escasez de productos químicos básicos. Por consiguiente, la búsqueda y el aprovechamiento de nuevas fuentes de recursos y productos químicos han cobrado cada vez más importancia, impulsados por políticas de transición energética y modelos de economía circular.

En este ámbito, el biodiésel ha atraído gran atención debido a su sostenibilidad y respeto al medio ambiente, y la posibilidad de disponer de estos biocombustibles para

automoción con ese carácter renovable y sostenible se ha convertido en un foco importante dentro de las investigaciones en el campo de la energía.

Por otro lado, el desarrollo de las bioindustrias y biorrefinerías para la obtención de bioproductos y bioenergía es una de las prioridades estratégicas de la UE [1-2]. En cuanto al uso eficiente de los recursos, la economía verde y circular y la bioeconomía debido a su interés como motores de crecimiento económico, innovación y creación de empleo [3]. Además, el aumento de la preocupación medioambiental ha supuesto cambios importantes en el sector de la industria energética y petrolera, originando investigaciones con el fin de lograr métodos para obtener productos químicos sostenibles con un menor impacto medioambiental.

La búsqueda de tecnologías más respetuosas con el medio ambiente debe incluir el uso de materias primas alternativas y la utilización de procesos menos contaminantes. La nueva estrategia de economía circular que se está fomentando nos impone la necesidad de potenciar la valorización de los residuos y la biomasa agroforestal, en el marco de un enfoque sostenible, de racionalidad en el consumo y uso de los recursos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio la materia prima elegida ha sido la cáscara de naranja, que es un residuo que puede tener un gran valor a nivel industrial y que se genera en muchos ámbitos, como el doméstico, el hostelero o el industrial. Las cáscaras de naranja se recolectaron en las cafeterías del Campus de “El Carmen” de la Universidad de Huelva, estimándose una cantidad aproximada de producción de este residuo de 200 kilogramos a la semana. Una vez recibido se acondiciona, eliminando los restos de carne de la fruta y la membrana blanca que la rodea; a continuación, se extrae la humedad en una estufa a 60°C hasta obtener una humedad comprendida entre el 3% y el 6%. La humedad se determinó por secado a peso constante a 105°C, TAPPI T264-cm-07 [4]. Posteriormente, la cáscara acondicionada se sometió a una molienda en frío con un molino por impacto (MF 10 basic Ika Werke), para reducir su tamaño a partículas inferiores a 0,5mm.

Tras el acondicionamiento inicial, se procedió a una extracción sólido-líquido de aceites TAPPI T204 cm-07, 2007 [5]. Específicamente, se utilizó n-hexano, isopropanol y etanol mediante un extractor Soxhlet. Esta operación se optimizó previamente para extraer los ácidos grasos, los cuales son los principales sustratos utilizados en el proceso de transesterificación para la producción de biodiésel.

A continuación, se realiza una Hidrólisis Ácida Cuantitativa (HAC) en dos etapas, la primera de ellas se lleva a cabo con H_2SO_4 al 72%. En esta etapa se rompen los polisacáridos a oligómeros; y una segunda etapa con H_2SO_4 al 4%, que rompe los oligómeros a monómeros. Mediante la determinación de la concentración de los monómeros se calcula el contenido de los polisacáridos de la muestra inicial. El residuo que queda tras finalizar la HAC es el conocido como lignina Klason.

El líquido que se obtiene en la HAC se analiza de acuerdo con la norma TAPPI T249 cm-09, 2009 [6], para la determinación de los azúcares monoméricos (glucosa, xilosa, arabinosa), ácido acético y, opcionalmente, furfural y 5-hidroximetilfurfural, mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

La Tabla I resume la caracterización química de la cáscara de naranja y de otros materiales residuales ampliamente utilizados en los procesos de biorrefinería.

Caracterización energética de la materia prima

Se llevó a cabo la medida del poder calorífico de la materia prima siguiendo la norma CEN/TS, (2005) y la norma UNE 16001 EX, (2005). Estas normas describen el método a seguir para la determinación del poder calorífico superior a volumen constante y a una temperatura de referencia de 25 °C, usando una bomba calorimétrica calibrada con ácido benzoico [7-8].

La Tabla II muestra el poder calorífico de la cáscara de naranja y de los residuos sólidos finales después de todo el proceso global (extracción de aceites y de las hemicelulosas).

Proceso de transesterificación y Obtención del perfil de ácidos grasos

La transesterificación es un proceso químico que implica la reacción de un éster y un alcohol para formar otro éster y otro alcohol diferentes. Este proceso se emplea comúnmente en la producción de biodiésel, donde los triglicéridos (ésteres) presentes en aceites vegetales o grasas animales reaccionan con un alcohol, normalmente metanol o etanol, para producir ésteres metálicos o etílicos (biodiésel) y glicerol. La determinación del perfil lipídico de ácidos grasos se llevó a cabo, según el método descrito por Abida (2015) [9], mediante cromatografía de gases acoplada a un detector de espectrometría de masas (GC-MS).

Extracción Alcalina en Frío (EAF) con Ultrasonido.

El proceso de EAF se llevó a cabo en un baño Power Sonic Series 510, este equipo permite la aplicación simultánea del ultrasonido. Para realizar el tratamiento se establecen como variables optimizadas en el trabajo de García (2013) [10]. Temperatura de 40°C, un tiempo de operación de 90 minutos y una concentración de álcali de 100g/L. Una vez finalizado el tiempo de proceso, se lleva a cabo una filtración para separar el sólido y el líquido. La fase líquida (rica en hemicelulosas) de la extracción se ajustó a pH 4,5-5,5 con HCl al 37%, se le suministraron 4 volúmenes

de etanol al 95% y se centrifugó a 4500 rpm durante 3 minutos. Luego, el precipitado formado se lavó con etanol al 95% y se liofilizó.

Hidrólisis ácida de las hemicelulosas como segunda etapa del proceso para obtener Furfural/(HMF)

El proceso de hidrólisis se llevó a cabo en un reactor Parr de 2 litros de capacidad. Para realizar el tratamiento se realiza un experimento para cada hemicelulosa extraída con el ultrasonido (extracciones con etanol, hexano e isopropanol), basándose en el trabajo de López (2014) [11]. Se fijaron las condiciones de operación en 170°C, 60 minutos, 2% de concentración de ácido sulfúrico y un hidromódulo (relación líquido/sólido) de 1/30. La metodología empleada para estimar el contenido en Furfural/HMF fue la espectroscopía ultravioleta-visible (UV-vis) (UV Genesys 10 Thermo) equipada con cubetas de cuarzo de 1cm de paso de luz. Se realizó un barrido para longitudes de onda de 200 a 800nm (no se muestran los resultados) y se detectó un pico entre 272 y 282nm. La longitud de onda utilizada fue 277nm, según los estudios de Heggset (2017) [12]. Otros autores utilizaron una longitud de onda de 258 nm para medir la matriz de degradación de furfural/HMF [13-14]. Sin embargo, en el estudio realizado por [15] utilizó una longitud de onda de 270nm, muy similar a los rangos utilizados en el presente trabajo.

La Tabla III se muestran los resultados obtenidos en esta etapa de hidrólisis ácida de las hemicelulosas.

Análisis termogravimétrico (TGA)

La pirólisis termoquímica de la materia prima y los sólidos residuales de la EAF con ultrasonidos se realizaron mediante un análisis termogravimétrico no isotérmico con el fin de determinar las pérdidas de masa a diferentes temperaturas y tiempos. Para llevar a cabo este proceso se empleó un analizador termogravimétrico TGA/DSC₁ STARE System de Mettler.

Todas estas pruebas de pirólisis tanto de la cáscara de naranja como de los sólidos residuales se hicieron por triplicado con una cantidad de muestra de entre 15-20mg, bajo corrientes de N₂ a 20mL/min, además de una velocidad de calentamiento de 10°C/min partiendo de una temperatura de 25°C hasta llegar a los 800°C.

A. Figuras y tablas

Tabla I. Composición química de la cáscara de naranja y otros materiales.

Composición química	Cáscara de naranja (presente estudio)	Tallos de girasol [16].	Bagazo caña de azúcar [17].	Paja de trigo [18].
Extraíbles en etanol (%)	36,5 ± 2,3	---	3,8 ± 2,1	---
Celulosa o Glucosa (%)	22,6 ± 0,6	33,8 ± 1,6	39,1 ± 1,2	41,8 ± 0,6
Lignina Klason (%)	9,4 ± 0,7	19,9 ± 0,5	23,1 ± 0,8	16,9 ± 1,5
Xilano (%)	12,1 ± 0,2	23,9 ± 0,1	22,1 ± 1,7	25,4 ± 0,3
Arabano (%)	11,7 ± 0,4	0,4 ± 0,2	2,1 ± 0,6	2,5 ± 0,4
Hemicelulosas (%)	24,4 ± 0,8	24,3 ± 0,3	24,2 ± 2,3	27,9 ± 0,7

Tabla II. Poder calorífico de la cáscara de naranja y del residuo final del proceso. EAF: Extracción Alcalina en Frío.

Muestra	Poder calorífico superior en base seca (J/g)	Poder calorífico superior en base húmeda (J/g)	Poder calorífico inferior a presión constante en base seca (J/g)	Poder calorífico inferior a presión constante en base húmeda (J/g)
Cáscara de naranja	18019 ± 65	16379 ± 80	16607 ± 70	14874 ± 80
EAF con etanol	17012 ± 80	15379 ± 100	15599 ± 90	13869 ± 110
EAF con Isopropanol	16323 ± 110	15180 ± 100	14911 ± 120	13697 ± 100
EAF con hexano	17886 ± 70	16330 ± 85	16473 ± 65	14829 ± 95

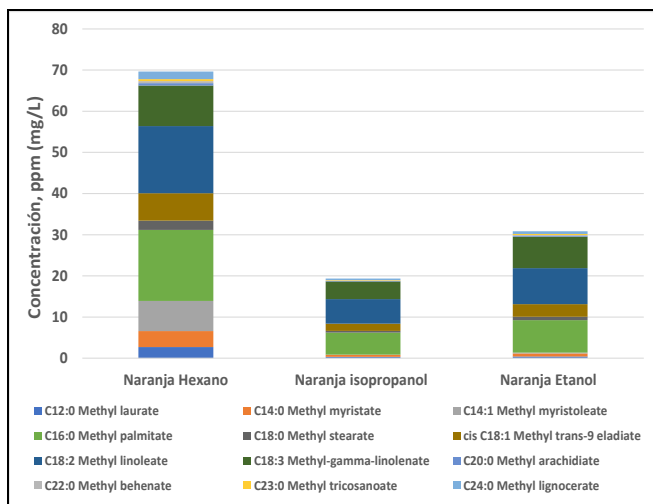


Figura 1. Principales compuestos obtenidos a partir de los aceites extraídos de la cáscara de naranja.

Como podemos observar en la figura 1, los compuestos mayoritarios que se extraen son *Metil linoleico*, *Metil palmítico* y *Metil-gamma-linoleico*, con unos porcentajes que rondan entre el 14% y el 28% de los compuestos extraídos en cada uno de los disolventes. Con los porcentajes anteriores podemos confirmar la hipótesis de esta investigación de que el etanol, el hexano y el isopropanol son los disolventes más selectivos a la hora de obtener los precursores químicos de interés para la fabricación de biodiésel.

Tabla III. Estimación de furfural/HMF (mg/L) en la etapa de hidrólisis ácida de las hemicelulosas. EAF: Extracción Alcalina en Frío.

Experimento	Tiempo (min)	Ácido (%)	Temperatura (°C)	Estimación furfural/HMF (mg/L)
EAF con etanol	60	2	170	826,5
EAF con hexano	60	2	170	762,6
EAF con Isopropanol	60	2	170	802,4
Materia prima	60	2	170	453,8

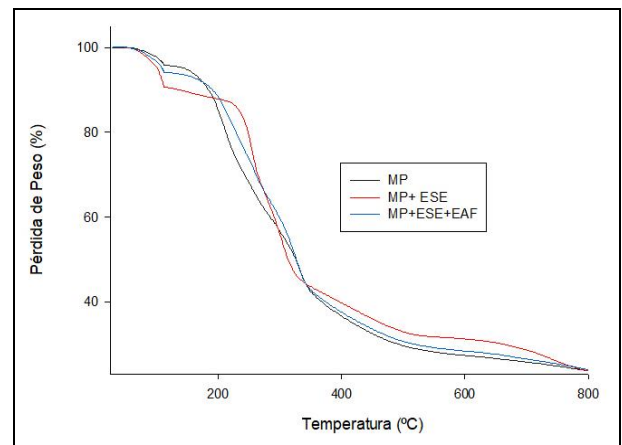


Figura 2. TGA, velocidad de calentamiento 10°C/min. MP: Materia Prima; ESE: Extracción Soxhlet con Etanol; EAF: Extracción Alcalina en Frío.

Las figuras 2 y 3 muestran del análisis termogravimétrico (TGA), se diferencian tres zonas destacadas, la primera, desde los 0 hasta los 110°C, correspondiente a la evaporación del agua y de los volátiles ligeros. Una segunda zona, correspondiente a la desvolatilización del material que va desde los 110 hasta los 225°C y provoca grandes pérdidas de masa en un corto periodo de tiempo. Y, por último, una tercera zona desde los 225 hasta los 800°C, en la que se continúa con la pérdida de masa, en este caso más lenta debido a la descomposición de los materiales formados por carbono que quedan en el biochar hasta alcanzar el rango final de temperatura.

Los resultados obtenidos se asemejan a los publicados por otros investigadores que han analizado termogravimétricamente diferentes materiales lignocelulósicos. Un ejemplo puede ser el trabajo de Gašparović (2010) [19], que afirmó que la pirólisis de la biomasa se da en las tres etapas previamente mencionadas, la evaporación del agua, la pirólisis activa y la pirólisis pasiva, y, por otro lado, destacó que el proceso de descomposición depende de la composición y concentración de los principales componentes de la biomasa empleada.

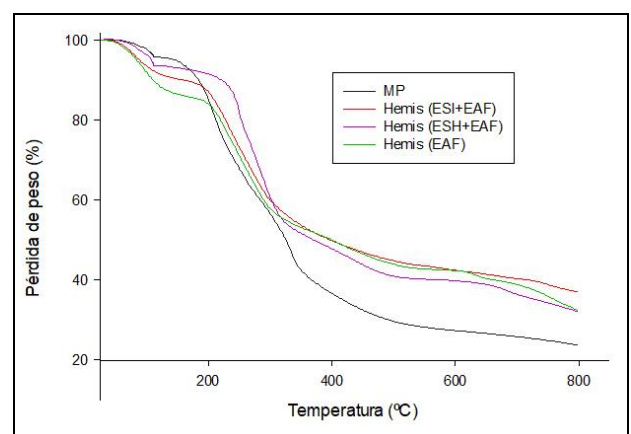


Figura 3. TGA, velocidades de calentamiento: 10°C/min. MP: Materia Prima; ESI: Extracción Soxhlet con Isopropanol; ESH: Extracción Soxhlet con Hexano; EAF: Extracción Alcalina en Frío.

Nombre y filiación de los autores

Javier Mauricio Loaiza: Investigador Postdoctoral. Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos

Químicos (Pro2TecS). Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencias de los Materiales. Universidad de Huelva, España.

Juan Carlos García Domínguez: Catedrático de Universidad. Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos Químicos (Pro2TecS). Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencias de los Materiales. Universidad de Huelva, España.

José Manuel Camacho: Ingeniero Químico Industrial. Estudiante del Máster en Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencias de los Materiales. Universidad de Huelva, España.

III. CONCLUSIONES

La composición química principal de la cáscara de naranja analizada está formada por celulosa con entre un 22-23,2% del total, lignina Klason en un rango de entre 8,7-10,1%, hemicelulosas con unos porcentajes totales entre 23,6-25,2% y, por último, compuestos extraíbles que forman entre un 34,2-38,8% de la composición total.

- Los principales compuestos obtenidos una vez extraídos los aceites y realizada la transesterificación son el metil linoleico, metil palmítico y metil-gamma-linoleico, con unos porcentajes que rondan entre el 14% y el 28%.

- Los resultados estimados de concentración de Furfural/HMF para los tres tipos de hemicelulosas obtenidas después de la Extracción Alcalina en Frío con ultrasonido están comprendidos entre 762 y 826mg/L, lo que destaca frente a los 453mg/L derivados de la cáscara de naranja sin tratamientos previos.

- Los poderes caloríficos superiores en base seca de los sólidos finales después de las extracciones (Soxhlet y EAF con ultrasonido) están comprendidos entre 16323 y 17886J/g, lo que se asemeja bastante a los 18109J/g obtenidos para la cáscara de naranja sin tratar. Por tanto, podríamos concluir con que los sólidos finales, una vez realizado un aprovechamiento energético de la fase sólida se podrían aprovechar para la producción de energía. Así se cerraría el proceso de aprovechamiento integral de la cáscara de naranja mediante el esquema propuesto de economía circular.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio contó con el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación (España), Proyecto PID2020-112875RB-C21 y el Programa Operativo FEDER Andalucía 2021-2027: EPIT1382023. Además, este trabajo forma parte de la Junta de Andalucía (España) a través de la Beca postdoctoral nº DC 21_00664.

REFERENCIAS

- [1]Baskar, G., Aiswarya, R., Kalavathy, G., Pandey, A., Gnansounou, E., Raman, J. K. (2020). A Biorefinery approach towards development of renewable platform chemicals from sustainable biomass. Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts. Technology, Advances, Life Cycle Assessment, and Economics, pp. 135-147. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818996-2.00006-5>
- [2]Dragone, G., Kerssemakers, A. A. J., Driessen, J. L. S. P., Yamakawa, C. K., Brumano, L. P., & Mussatto, S. I. (2020). Innovation and strategic orientations for the development of advanced biorefineries. *Bioresource Technology*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122847>
- [3]Mandley, S. J., Daioglou, V., Junginger, H. M., van Vuuren, D. P. (2020). EU bioenergy development to 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.109858>
- [4]TAPPI T264 cm-07, (2007). Preparation of wood for chemical analysis. TAPPI Press, Atlanta, GA.
- [5]TAPPI T204 cm-07 (2007). Solvent extractives of wood and pulp. TAPPI Press, Atlanta, GA.
- [6]TAPPI T249 cm-09 (2009). Carbohydrate composition of extractive-free wood and wood pulp by gas-liquid chromatography. TAPPI Press, Atlanta, GA.
- [7]CENT/TS 14918 (2005). Solidbio Fuels—Method for the Determination of Calorific Value.
- [8]JUNE 16001 EX (2005). Solid Biofuels, Method for the determination of calorific value.
- [9]Abida, H., Dolch, L. J., Meï, C., Villanova, V., Conte, M., Block, M. A., Finazzi, G., Bastien, O., Tirichine, L., Bowler, C., Rébeillé, F., Petroustos, D., Jouhet, J., & Maréchal, E. (2015). Membrane glycerolipid remodeling triggered by nitrogen and phosphorus starvation in *Phaeodactylum tricornutum*. *Plant Physiology*, 167(1), pp. 118-136. <https://doi.org/10.1104/pp.114.252395>
- [10]García, J. C., Díaz, M. J., García, M. T., Feria, M. J., Gómez, D. M., & López, F. (2013). Search for optimum conditions of wheat straw hemicelluloses cold alkaline extraction process. *Biochemical Engineering Journal*, 71, pp. 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2012.12.008>
- [11]López, F., García, M. T., Feria, M. J., García, J. C., de Diego, C. M., Zamudio, M. A. M., & Díaz, M. J. (2014). Optimization of furfural production by acid hydrolysis of eucalyptus globulus in two stages. *Chemical Engineering Journal*, 240, pp. 195-201. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.11.073>
- [12]Heggset, E. B., Chinga-Carrasco, G., & Syverud, K. (2017). Temperature stability of nanocellulose dispersions. *Carbohydrate Polymers*, 157, pp. 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.077>
- [13]Manz, K. E., & Carter, K. E. (2017). Investigating the effects of heat activated persulfate on the degradation of furfural, a component of hydraulic fracturing fluid chemical additives. *Chemical Engineering Journal*, 327, pp. 1021-1032. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.168>
- [14]Nezamzadeh-Ejhieh, A., & Moeinirad, S. (2011). Heterogeneous photocatalytic degradation of furfural using NiS-clinoptilolite zeolite. *Desalination*, 273(2-3), pp. 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.12.031>
- [15]García, M. T., Zamudio, M. A. M., Loaiza, J. M., Morales, A. B., Alfaro, A., Lopez, F., & García, J. C. (2019). Characterization and use of southern cattail for biorefining-based production of furfural. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 9(2), pp. 333-339. <https://doi.org/10.1007/s13399-018-0355-1>
- [16]Caparrós, S., Ariza, J., López, F., Nacimiento, J. A., Garrote, G., & Jiménez, L. (2008). Hydrothermal treatment and ethanol pulping of sunflower stalks. *Bioresource Technology*, 99(5), pp. 1368-1372. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.045>
- [17]Carvalho, D. M. de., Sevastyanova, O., Queiroz, J. H. de, & Colodette, J. L. (2016). Cold alkaline extraction as a pretreatment for bioethanol production from eucalyptus, sugarcane bagasse and sugarcane straw. *Energy Conversion and Management*, 124, pp. 315-324. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.029>
- [18]Persson, T., Ren, J. L., Joellson, E., & Jönsson, A. S. (2009). Fractionation of wheat and barley straw to access high-molecular-mass hemicelluloses prior to ethanol production. *Bioresource Technology*, 100(17), pp. 3906-3913. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.063>
- [19]Gašparovič, L., Koreňová, Z., & Jelemenský, L. (2010). Kinetic study of wood chips decomposition by TGA. *Chemical Papers*, 64(2), pp. 174-181. <https://doi.org/10.2478/s11696-009-0109-4>

Evaluación de la resiliencia de plántulas de encina y alcornoque ante estrés térmico y hídrico: un enfoque experimental

Carmen Romero Forte¹, Ana Quevedo Díaz¹, María Luisa Fernández García¹, Genilda Canuto Amaral¹, Manuel Fernández Martínez¹, Alejandro Solla Hach², Beatriz Cuenca Valera³, Felipe Pérez⁴, Raúl Tapias Martín¹.

¹Departamento de Ciencias Agroforestales. ETSI, La Rábida. Universidad de Huelva; ²Departamento Ingeniería Medio Agrónomo Forestal. Escuela de Ingeniería Forestal, Campus de Plasencia. Universidad de Extremadura; ³Vivero de TRAGSA. S. A, Maceda (Ourense); ⁴Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), Madrid, España.

carmen.romero889@alu.uhu.es, ana.quevedo@alu.uhu.es, mluisa.fernandez@alu.uhu.es, manuel.fernandez@dcaf.uhu.es, rtapias@dcaf.uhu.es

Resumen- El cambio climático representa una amenaza significativa para especies emblemáticas de la cuenca mediterránea, como la encina (*Quercus ilex*) y el alcornoque (*Quercus suber*), especialmente debido al estrés térmico e hídrico. Este estudio evaluó la resistencia de ambas especies al estrés combinado de sequía y aumento de temperatura. Se recolectaron bellotas de 9 poblaciones en España, y las plántulas fueron sometidas a ciclos de sequía en condiciones normales de temperatura y simulando el cambio climático. Los resultados mostraron que las plantas bajo estrés hídrico y aumento de temperatura tuvieron un crecimiento nulo, mientras que aquellas sin estrés hídrico crecieron significativamente. Se encontraron diferencias significativas en los días de supervivencia para la combinación estrés hídrico y térmicos en la encina, pero no en el alcornoque. Estos hallazgos subrayan la importancia de identificar genotipos resistentes para mitigar los efectos del cambio climático en estos ecosistemas.

Palabras Clave- *Quercus suber*, *Quercus ilex*, estrés hídrico, estrés térmico, supervivencia.

I. INTRODUCCIÓN

La cuenca mediterránea es una de las regiones más afectadas por el cambio climático, caracterizada por un aumento progresivo de las temperaturas y un proceso continuo de aridificación. Se prevé que en el futuro esta área experimentará un calentamiento aún más intenso y una mayor desecación (Lionelo *et al.*, 2018). Este escenario representa un desafío significativo para la biodiversidad global, especialmente para los ecosistemas forestales, que se ven particularmente impactados por estos cambios (Linder *et al.*, 2007).

Dentro de los bosques mediterráneos, la encina (*Quercus ilex*) y el alcornoque (*Quercus suber*) son dos de las especies arbóreas más emblemáticas y abundantes (Caudullo *et al.*, 2017). Estas especies no solo son fundamentales para la conservación del suelo y la biodiversidad, sino que también juegan un papel clave en la economía local (Marañón *et al.*, 2012).

Con el aumento global de las temperaturas, la encina y el alcornoque se enfrentarán a condiciones climáticas extremas que podrían comprometer su fisiología, afectando negativamente su crecimiento y capacidad de supervivencia, debido a graves déficits hídricos o a una mayor incidencia de

patógenos. (Brasier, 1992, Touhami *et al.*, 2020, Martínez-Vilalta *et al.*, 2012, Camarero *et al.*, 2024). Esta vulnerabilidad podría resultar en una disminución notable de su crecimiento y un aumento en la mortalidad de los individuos menos resilientes.

Por lo tanto, es necesario llevar a cabo investigaciones que evalúen la resistencia de estas especies al estrés térmico e hídrico. Estos estudios no solo facilitarán la identificación de genotipos más resistentes a la sequía y al calor, sino que también contribuirán a la selección y propagación de individuos más resilientes. Este enfoque es fundamental para mitigar los efectos adversos del cambio climático y garantizar la conservación de estos ecosistemas.

II. OBJETIVOS

- Evaluar la variabilidad de resistencia entre especies y poblaciones de encinas y alcornoques al estrés combinado térmico e hídrico.

- Identificar individuos que presenten resistencia al estrés combinado para su propagación.

III. METODOLOGÍA

Se han recogido bellotas de 9 poblaciones de encina y alcornoque de diversas regiones de España (Fig. 1) dentro del “Programa Nacional de Mejora y Conservación de Recursos Genéticos de la Encina y el Alcornoque frente al Síndrome de la Seca” del MITECO. En el vivero del Campus de la Rábida de la Universidad de Huelva, plántulas de un año se han trasplantado a cajas de 50 litros con perlita (2 plantas x 9 poblaciones/caja, 20 cajas por especie). Tras un periodo de establecimiento han sido sometidas a cuatro ciclos de sequía de progresiva intensidad, bajo dos condiciones ambientales: una con temperaturas normales y otra simulando condiciones de cambio climático (aumento de la temperatura, fig. 2).



Fig. 1. Localización de las poblaciones seleccionadas para las distintas especies.

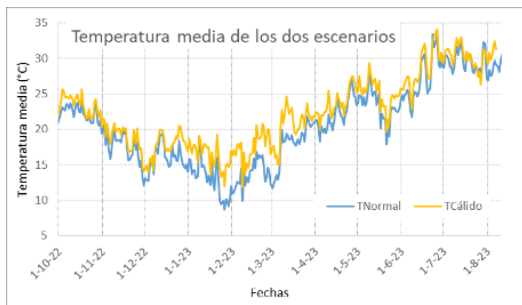


Fig. 2 Temperatura media diaria durante el ensayo de los dos escenarios térmicos.

El diseño experimental constó de 8 cajas de cada especie para las combinaciones de estrés hídrico con y sin incremento de la temperatura y dos cajas de cada especie para la combinación sin estrés hídrico con las dos variantes de temperatura. Esto permitió evaluar el efecto del estrés hídrico en comparación con condiciones óptimas (Fig. 3.A y B).

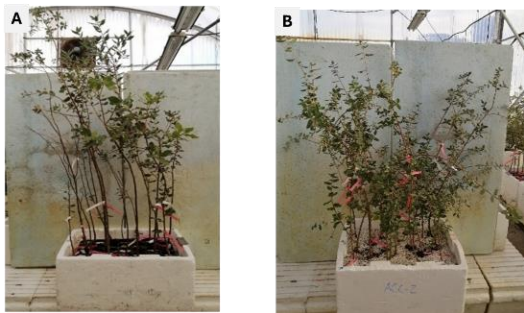


Fig. 1. Plantas sometidas a estrés hídrico (A) y sin estrés hídrico, (controles, B).

Las plantas sin estrés hídrico sufrieron un único ciclo final de sequía hasta conseguir el 90% de mortalidad. Las plantas sometidas a estrés hídrico alcanzaron este porcentaje de mortalidad en el conjunto de los 4 ciclos. Durante todo el ensayo se realizó un seguimiento de parámetros como el crecimiento en altura y diámetro, la supervivencia, la fotosíntesis, el contenido hídrico relativo, la transpiración estomática, la conductancia estomática y la curvas presión- volumen. Por último, se ha determinado la biomasa total de cada planta que no sobrevivió al ensayo. Las supervivientes fueron extraídas en macetas para su posterior propagación vegetativa.

Para el análisis de datos se empleó el modelo lineal generalizado (Ec. 1). El modelo empleado fue:

$$\gamma = \mu + Sp + P(Sp) + T + Ws + T * Ws + Sp * T + P(Sp) * T + Sp * Ws + P(Sp) * Ws + Sp * T * Ws + P(Sp) * T * Ws + \varepsilon \quad (1)$$

Donde γ es el valor de las variables dependientes (crecimiento en altura, crecimiento en diámetro y supervivencia), μ es la media general del ensayo, Sp es el efecto de la especie (alcornoque y encina), $P(Sp)$ es el efecto de las poblaciones de cada especie (1,2,3,4,5,7,8,9 para el alcornoque y 1,3,5,11,11b,11c,12,15,17 para la encina), T es el efecto de las condiciones ambientales (temperatura normal (T_n) e incremento de temperatura(T_c)), Ws es el efecto del estrés hídrico (estrés hídrico (Ws) y ausencia de estrés hídrico(NWs)), $T*Ws$, $Sp*T$, $P(Sp)*T$, $Sp*Ws$, $P(Sp)*Ws$, $Sp*T*Ws$ y $P(Sp)*T*Ws$ son las interacciones entre los mismos, y ε es el termino de error.

Las diferencias significativas entre los distintos efectos fueron evaluadas mediante el test de Tukey-b con $\rho = 0,05$. Los análisis estadísticos realizados se realizaron con el software SPSS.

IV. RESULTADOS

A. Crecimiento en altura y diámetro

Se observó un efecto significativo sobre el crecimiento en altura del tratamiento de estrés hídrico ($\rho < 0,001$, $N_{Ws}=560$ y $N_{NWs}=142$), escenarios ambientales ($\rho < 0,001$, $N=360$) y la interacción entre ambos ($\rho < 0,001$, $N_{NW}=280$ y $N_{NWs}=71$). También fue significativa la interacción $Sp*Ws$ ($\rho =0,008$, $N_{Ws}=280$ y $N_{NWs}=71$) y $Sp*T$ ($\rho =0,004$, $N=90$) pero no la interacción de población con ninguno de los tratamientos. Para el crecimiento en diámetro solo resultó significativo el tratamiento de estrés hídrico ($\rho < 0,001$, $N_{NW}=560$ y $N_{NWs}=142$).

Las plantas bajo estrés hídrico tuvieron un crecimiento prácticamente nulo, tanto en altura como en diámetro, en los dos escenarios climáticos analizados (Fig. 4 y 5). En contraste, las plantas que han experimentado condiciones normales de temperatura y ausencia de estrés hídrico mostraron un crecimiento promedio de $33,6 \pm 2,9$ cm de altura y $0,66 \pm 0,19$ mm de diámetro para los alcornoques (Figura 4 y 5.A) y $47,7 \pm 2,9$ cm de altura y $1,68 \pm 0,19$ mm de diámetro para las encinas (Fig. 4 y 5.B).

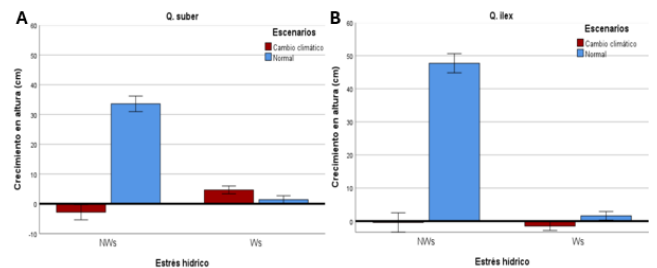


Fig. 4. Crecimiento en altura (cm) de las plantas sometidas a estrés hídrico (Ws) y sin estrés hídrico (Nws) en condiciones normales de temperatura y escenarios simulados de cambio climático para el alcornoque (A) y la encina (B).

Este crecimiento muy superior al registrado en plantas sometidas a simulaciones del cambio climático y estrés hídrico (con valores medios negativos por mortalidad de brotes apicales), pone de manifiesto el impacto negativo de la

combinación de sequía y aumento de la temperatura en el crecimiento de ambas especies.

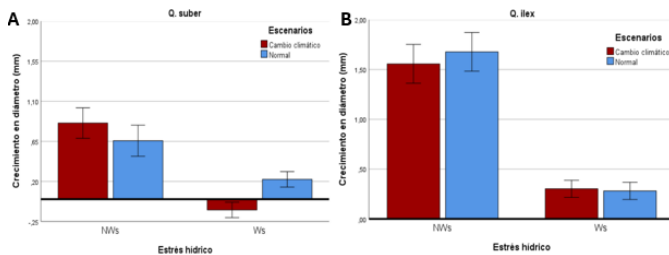


Fig. 5. Crecimiento en diámetro (mm) de las plantas sometidas a estrés hídrico (Ws) y sin estrés hídrico (NWs) en condiciones normales de temperatura y escenarios simulados de cambio climático para el alcornoque (A) y la encina (B).

B. Supervivencia

Se encontró un efecto significativo sobre la supervivencia (días) del tratamiento de estrés hídrico ($\rho < 0,001$, $N_{Ws}=576$ y $N_{NWs}=144$), la interacción T*Ws ($\rho = 0,001$, $N_{Ws}=288$ y $N_{NWs}=72$) y la interacción Sp*T*Ws ($\rho = 0,041$).

Las plantas de alcornoque y encina sobrevivieron en ausencia de estrés hídrico hasta el ciclo final de sequía con el que se concluye el ensayo (386 ± 10 días), sin diferencias significativas entre condiciones de temperatura ni especie. Las plantas de encina sometidas a estrés hídrico y a incremento de temperatura sobrevivieron 18 días menos que las situadas en condiciones normales de temperatura (Fig. 6.B), mientras que en las plantas de alcornoque no se observaron diferencias significativas (Fig. 6.A).

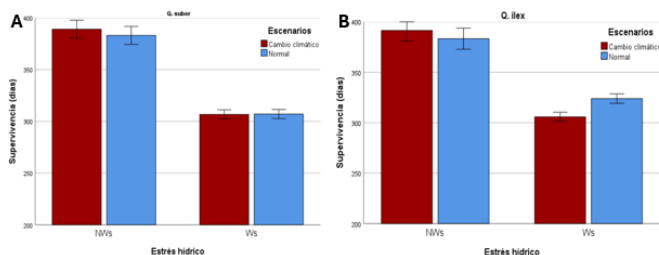


Fig. 6. Días de supervivencia de las plantas sometidas a estrés hídrico (Ws) y sin estrés hídrico (NWs) en condiciones normales de temperatura y escenarios simulados de cambio climático para el alcornoque (A) y la encina (B).

V. CONCLUSIONES

Este estudio confirmó el efecto negativo del estrés hídrico en el crecimiento y supervivencia de encinas y alcornoques. El aumento de temperatura, simulado en un escenario de cambio climático, amplifica los efectos negativos de la sequía en ambas especies, especialmente en el crecimiento en altura, incluso en condiciones de ausencia de estrés hídrico. La encina es más sensible al incremento de la temperatura ya que reduce la supervivencia en condiciones de estrés hídrico y el crecimiento incluso sin sequía.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca dentro del “Programa Nacional de Mejora y Conservación de Recursos Genéticos de la Encina y el Alcornoque frente al Síndrome de la Seca”. Ha sido financiado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y cofinanciado al 75% con fondos

FEADER de la Unión Europea. Respaldado por Next Generation EU.

REFERENCIAS

- [1] Lionello, P., Scarascia, L. The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Reg. Environ. Chang.* 2018, 18, 1481–1493.
- [2] Lindner, M. 2007. How to adapt forest management in response to the challenges of climate change? In: Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors. *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe.* Bioversity International, Rome, Italy. pp. 31–42.
- [3] Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayanz, J (2017) Chorological maps for the main European woody species. *Data Brief* 12:662–666.
- [4] Marañón, T., Ibáñez, B., Anaya-Romero, M., Muñoz-Rojas, M y Pérez-Ramos, IM (2012). “Oak trees and woodlands providing ecosystem services in southern Spain”. *Trees beyond the Wood. An exploration of concepts of woods, forests and trees.* 369-378.
- [5] Brasier, C.M. Oak tree mortality in Iberia. *Nature* 1992, 360, 539.
- [6] Touhami, I., Chirino, E., Aouinti, H., Khorchani, A.E., Elaieb, M.T., Khaldi, A., Nasr, Z. Decline and dieback of cork oak (*Quercus suber* L.) forests in the Mediterranean basin: A case study of Kroumirie, Northwest Tunisia. *J. For. Res.* 2020, 31, 1461–1477.
- [7] Martínez-Vilalta, J., Lloret, F. y Breshears, D. D. (2012). "Drought-induced forest decline: causes, scope and implications". *Biology Letters*, 8, 689-69.
- [8] Camarero, J.J., Gazol, A., Valeriano, C., Colangelo, M., Rubio-Cuadrado, Á. Growth Responses to Climate and Drought in Relict Cork Oak Populations as a Benchmark of the Species Tolerance. *Forests* 2024, 15, 72.

Biorrefinería de cultivos energéticos: fraccionamiento y EAF de “*Paulownia Fortunei*”

Maria Trinidad García ^{**a}, Juan Carlos García ^a, Susana Lozano Calvo ^a, Javier Mauricio Loaiza ^a, Rafel Silva Quintero ^a, Francisco López Baldovín ^a

^a Centro de Investigación en Tecnología de Productos y Procesos Químicos. Pro²TecS - Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales. Universidad de Huelva, Av. 3 de marzo s/n, 21071 Huelva, España.

*Autor de correspondencia: mtrinidad.garcía@diq.uhu.es

Resumen- Este estudio aborda el papel de la biorrefinería en la producción de productos químicos sostenibles a partir de biomasa lignocelulósica, en línea con los objetivos de la agenda 2030. En particular, se explora la *Paulownia fortunei*, una especie de rápido crecimiento, como fuente de biomasa debido a sus beneficios industriales. El proceso se centra en la extracción alcalina en frío con ultrasonidos, que permite separar la fracción de hemicelulosas manteniendo la celulosa intacta. Se realizó un diseño experimental para analizar cómo afectan las variables de operación, siendo estas la concentración de álcali y la temperatura, sobre el rendimiento y la composición del material, dejando el tiempo de proceso fijo en 90 minutos.

Palabras Clave- Biomasa, *Paulownia fortunei*, extracción alcalina en frío, hemicelulosas.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático, impulsado por actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, avanza rápidamente y genera impactos graves, como el aumento de la temperatura global, la pérdida de biodiversidad y la intensificación de eventos climáticos extremos. A medida que la demanda energética crece, el uso de combustibles fósiles también se incrementa, elevando los niveles de gases de efecto invernadero [1]. Para enfrentar esta crisis global, se han establecido acuerdos internacionales como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París. La Unión Europea ha asumido un papel de liderazgo en estos esfuerzos, con metas de reducción de emisiones y promoción de energías renovables, con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática para 2050 y promover una economía sostenible [2].

Como parte de esta transformación, la UE lidera también el desarrollo de una bioeconomía sostenible, basada en el uso de recursos biológicos renovables para producir bienes de valor añadido y bioenergía, impulsando el crecimiento económico y el empleo, especialmente en zonas rurales [3-4]. Esta bioeconomía, junto a la bioenergía, es fundamental para alcanzar la neutralidad de carbono según el Acuerdo de París. Además, la UE promueve la economía circular, que busca maximizar el valor de los productos, minimizar los residuos y optimizar el uso de la biomasa mediante un enfoque en cascada [5].

Dentro de este modelo, las biorrefinerías toman un papel clave, ya que permiten procesar biomasa para generar tanto energía como productos comerciales, reemplazando así el uso de combustibles fósiles, incluidos desechos orgánicos [6-7]. Aunque actualmente las biorrefinerías se centran en sustituir productos existentes, su desarrollo enfrenta desafíos tecnológicos clave, como la optimización de procesos de

catálisis y nuevas técnicas de separación y purificación, que son necesarios para maximizar su eficacia y sostenibilidad [8-9].

El uso de la biomasa se posiciona, en este sentido, como una solución prometedora para mitigar el cambio climático [10]. En particular, la biomasa lignocelulósica se destaca por su valor en la producción de productos químicos y bioquímicos gracias a su bajo impacto ambiental, su abundante disponibilidad y su composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina [11]. Además, de presentar un ciclo de carbono cerrado [12].

Los cultivos energéticos juegan un papel fundamental para desplazar el uso de combustibles fósiles hacia energía renovables, destacan gramíneas perennes como el *miscanthus* y el *switchgrass*, además de especies leñosas de rápido crecimiento como el sauce y el álamo [13-14]. En este contexto, la *Paulownia fortunei* emerge como una especie particularmente prometedora para la bioenergía y la industria maderera, debido a su rápido crecimiento, su resistencia a la sequía y su capacidad para prosperar en suelos marginales o degradados. Además, su potencial dentro de una bioeconomía circular está reforzado por su capacidad para remediar suelos contaminados con metales pesados [15-16]. En conjunto, la *Paulownia* y otros cultivos energéticos representan componentes clave en el avance hacia una economía que, además de ser renovable y neutra en carbono, busca restaurar ecosistemas y optimizar el uso de recursos naturales.

El pretratamiento alcalino de biomasa es eficaz para deslignificar y mejorar la digestibilidad de la celulosa, especialmente a través de variantes como la extracción alcalina en frío (EAF)[17-18]. Este método, que opera a bajas temperaturas bajas y presiones, reduce el consumo energético y permite fraccionar la biomasa en componentes útiles como la lignina y la hemicelulosa. La extracción alcalina en frío asistida por ultrasonido mejora la eficacia del tratamiento con una extracción más selectiva [19-20]. Estos avances son claves en la obtención de derivados de hemicelulosa como los xilooligosacáridos (XOS), la xilosa y el furfural, que se emplean en sectores como la alimentación, agricultura, medicina e industria química, destacando el xilitol como edulcorante saludable y el furfural como precursor en la fabricación de resinas y nuevos polímeros [21-22].

El objetivo principal de este estudio es la valorización de la *Paulownia fortunei* a través de la optimización de las variables de operación de la extracción alcalina en frío con

ultrasonido, con el fin de obtener una fase líquida rica en hemicelulosas.

II. MATERIAL Y METODOLOGÍA.

La materia prima, *Paulownia fortunei*, se obtuvo de los cultivos experimentales del Departamento de Ciencias Agroforestales y Tecnología del Medioambiente de la Universidad de Huelva. Siguiendo los estándares TAPPI, se determinó la composición química inicial de la biomasa. Posteriormente, la biomasa fue sometida al pretratamiento de extracción alcalina en frío con ultrasonido, utilizando un baño de ultrasonido (Power Sonic 510). Tras el tratamiento, la fase sólida se separó por filtración, neutralizándose con ácido acético y lavándola con agua destilada, mientras que las hemicelulosas de la fase líquida se recuperaron mediante neutralización con ácido clorhídrico al 37% y precipitación con etanol. Los sólidos fueron caracterizados químicamente según normas TAPPI para evaluar los efectos del tratamiento sobre las diferentes fracciones.

Para optimizar el pretratamiento, se empleó un diseño de experimentos de composición central, analizando la influencia de las variables independientes de temperatura y concentración de álcali sobre las variables dependientes como el rendimiento, y el contenido en glucano, xilano, arabano, grupos acetilos y lignina Klason. El tiempo de operación, la relación sólido/disolución alcalina (hidromódulo) y la potencia de ultrasonido se fijaron en 90 minutos, 15 y 120 W, respectivamente, mientras que la temperatura y la concentración de hidróxido sódico variaron entre 20-40 °C y 80-120 g/L. Las condiciones se resumen en la tabla I.

Tabla I
CONDICIONES DE OPERACION DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES, NORMALIZADAS PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Condiciones	-1	0	1
Temperatura (X _T), °C	20	30	40
Concentración de álcali (X _C),g/L	80	100	120
Tiempo (X _t), min		90	
Hidromódulo		15	
Intensidad Ultrasonido, W		120	

Finalmente, la optimización del proceso se realizó mediante un análisis de regresión múltiple utilizando el software Statistica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La caracterización química de la *Paulownia fortunei* se presenta en la tabla II, comparándola con los resultados de Caparros [23] y el material de referencia. La biomasa en estudio presenta un contenido superior de glucano y ligeramente inferior de hemicelulosas que los resultados obtenidos de literatura, pero estos resultados son aceptables ya que la composición de la biomasa se ve afectada por el lugar de cultivo, el momento recolecta y las condiciones medioambientales. Mientras que en la tabla III se presentan los modelos polinómicos obtenidos a partir del rendimiento y la composición de cada uno de los sólidos obtenidos de las diferentes condiciones de operación de la extracción alcalina en frío con ultrasonido, estos modelos se han representado para facilitar la comprensión de cómo afecta cada variable independiente sobre las dependientes, y detectar tendencias generales así como puntos críticos en los que se maximiza o minimiza, ayudando así a la optimización del proceso.

Tabla II
CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Composición	Paulownia Fortunei	Paulownia Fortunei [23]	Eucalyptus Globulus [24]
Lignina Klason	21.3	27.2	22.9
Glucano	41.2	34.2	46.8
Xilano	12.8	18.3	16.6
Arabano	1.33	1.1	0.54
Grupos Acetilos	4.51	3.3	3.56
Hemicelulosas	18.64	22.7	20.7
Holocelulosas	56.9	56.9	66.9

Tabla III
MODELOS POLINÓMICOS PARA LAS VARIABLES DEPENDIENTES

Variable Dependiente	Ecuación
Rendimiento	84.45-0.285X _C -0.259X _T +0.572X _T ² -0.428X _C X _T
Glucano	40.273-0.355X _C +0.279X _C X _T -0.297X _T ²
Xilano	11.986+0.037X _C -0.1X _T -0.065X _C ² +0.184X _T ² -0.497X _C X _T
Arabano	1.162-0.021X _T -0.061X _C ² +0.064X _T ² -0.037X _C X _T
Grupos Acetilo	1.191+0.174X _C +0.188X _T -0.076X _C ² +0.078X _C X _T
Hemicelulosas	14.363+0.199X _C +0.083X _T -0.227X _C ² +0.247X _T ² -0.457X _C X _T
Lignina Klason	14.062+0.259X _C +0.674X _C ² -1.345X _T ² +0.093X _C X _T

En la figura 1, se representa la superficie de respuesta del rendimiento respecto al sólido, como se puede observar el rango de variación es estrecho, pero la temperatura y la concentración de álcali tienen un efecto significativo. A niveles altos de ambos variables de operación, el rendimiento disminuye, posiblemente debido a la mayor degradación de los componentes de la biomasa. La temperatura muestra una relación lineal inversa con el rendimiento, sugiriendo que valores intermedios podrían optimizar los resultados. Destacar que valores bajos de rendimiento respect al sólido, significa una mayor extracción a la fase líquida.

Mientras que en la figura 2, que representa la superficie de respuesta del contenido de glucano en los sólidos tras la EAF, se observa dos patrones: primero, al igual que en el rendimiento, el contenido de glucano permanece alto en todo el rango de operación. Segundo, a bajas temperaturas, la concentración de NaOH tiene una mayor influencia, aunque es cierto que la variación es pequeña, entre 39.4 y 40.6 %.

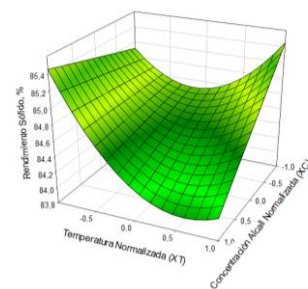


Fig. 1. Variación del rendimiento respecto al sólido en función de la concentración de álcali y la temperatura de operación.

En cuanto al contenido de hemicelulosas totales (xilano, arabano y grupos acetilos) en el sólido tras el tratamiento de EAF se representa en la figura 3, en la cual se observa un comportamiento consistente con los análisis de cada componente individual, lo que confirma a su vez la selectividad de la EAF para conservar glucano y extraer la fracción de hemicelulosas. A altas temperaturas y

concentraciones de álcali, el contenido de xilano y arabano en el sólido disminuye, mientras que el contenido de los grupos acetilos aumenta, lo que indica un ataque más intenso en los enlaces de la matriz de los polisacáridos.

Por último, en cuanto a la variación del contenido de lignina Klason en el sólido tras la EAF con ultrasonido se representa en la figura 4, de forma que se observa que a temperaturas intermedias, la lignina tiende a permanecer en la fracción sólida, lo que implica una menor presencia en la fase líquida y, por ende, una extracción más selectiva y pura de la fracción de hemicelulosas en el licor.

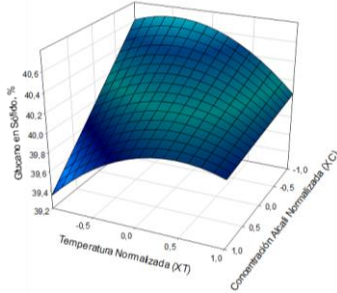


Fig. 2. Variación del contenido en glucano en el sólido en función de la concentración de álcali y la temperatura de operación.

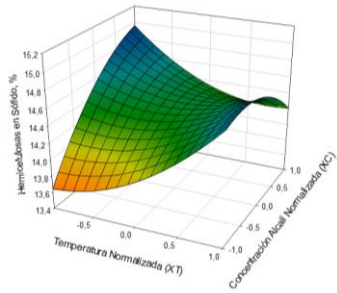


Fig. 3. Variación del contenido en hemicelulosas en el sólido en función de la concentración de álcali y la temperatura de operación.

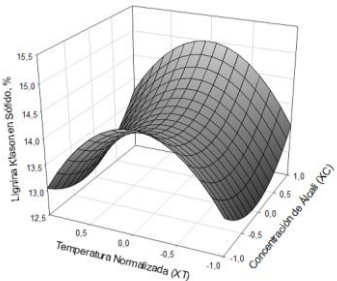


Fig. 4. Variación del contenido de lignina Klason en el sólido en función de la concentración de álcali y la temperatura de operación.

Con el fin de optimizar el proceso de extracción alcalina en frío con ultrasonido sobre la *Paulownia fortunei*, se identificaron concentraciones altas de álcali (alrededor de 120 g/L) y temperaturas moderadas (30 °C) como condiciones más eficaces, logrando una extracción más eficiente de hemicelulosas mientras se conserva el glucano y la lignina en el sólido post-tratamiento.

IV. CONCLUSIONES.

El proceso de Extracción Alcalina en Frío aplicado a *Paulownia fortunei* ha demostrado ser eficaz, logrando una extracción selectiva de hemicelulosas sin afectar significativamente a la fracción de glucano en el residuo sólido. Esto permite maximizar el aprovechamiento de componentes valiosos del material lignocelulósico,

conservando la celulosa para su posible uso en fases posteriores o en aplicaciones industriales adicionales. Los resultados sugieren la importancia de realizar estudios más amplios que exploren un rango mayor de variables de proceso, lo que podría optimizar aún más la extracción de hemicelulosas, incrementando la selectividad y mejorando la eficiencia energética del proceso. Asimismo, los experimentos actuales indican que concentraciones altas de álcali y temperaturas de entre 30 y 40 °C son óptimas para la extracción; en particular, una temperatura intermedia de 35 °C podría ofrecer un equilibrio ideal entre el rendimiento de extracción y la eficiencia energética.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo financiero del Ministerio de Ciencias e Innovación del Gobierno de España (PID2020-112875RB-C21). Agradecer a la UHU y Junta de Andalucía (programa operativo FEDER Andalucía 2021-2027) por la financiación del Proyecto EPIT1382023. Además, este trabajo forma parte de la Junta de Andalucía (España) a través de las Beca postdoctorales nº DC 21_00664.

REFERENCIAS

- [1] P. Yadav. Bioenergy Crops: Recent Advances and Future Outlook. Biomass and Bioenergy. 2019.
- [2] European Commission. The European Green Deal. European Commission. 2019.
- [3] SWD. Key European action supporting the 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals. Eurostat SDGs Monitoring Report. 2016.
- [4] Bugge, M. M., Hansen, T., & Klitkou, A. What is the bioeconomy? A review of the literature. Sustainability. 2016.
- [5] Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling. 2017.
- [6] Aristizábal-Marulanda, V., & Cardona Alzate, C. A. Methods for designing and assessing biorefineries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019.
- [7] Cherubini, F., Ulloa, C., & Ulgiati, S. Towards a comprehensive and integrated framework for assessing the sustainability of biorefineries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020.
- [8] Bozell, J., & Petersen, G. R. Technology developments for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates. Green Chemistry. 2010.
- [9] Takkellapati, S., Li, T., & Gonzalez, M.A. An overview of biorefinery derived platform chemicals from a cellulose and hemicellulose biorefinery. Clean Technologies and Environmental Policy, 20(7), 1615-1630. 2018.
- [10] Fei Wu, & Stefan Pfenninger. Challenges and opportunities for bioenergy in Europe: National deployment, policy support, and possible future roles. Bioresource Technology Reports. 2023.
- [11] Satwika, D., Chandukishore, T., & Ulaganathan, N. Sustainable biorefinery approach by utilizing xylose fraction of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology. 2024.

[12] Junginger, M., Goh, C.S., & Faaij, A. International Bioenergy Trade: History, status & outlook on securing sustainable bioenergy supply, demand, and markets. Springer. 2020.

[13] Heaton, E. A., Dohleman, F. G., & Long, S. P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of Miscanthus. *Global Change Biology*. 2008.

[14] Igwebuike, C.M., Awad, S., & Andrés, Y. Renewable Energy Potential: Second-Generation Biomass as Feedstock for Bioethanol Production. *Molecules*. 2024.

[15] Zhu, Z.H., Wang, L., & Liu, X. Paulownia in China: Cultivation and utilization. Asian Network for Biological Sciences and International Development Research Centre. 1986.

[16] Barbosa, B., Boléo, S., Sidella, S., Costa, J., Duarte, M.P., Mendes, B., Cosentino, S.L., & Fernando, A.L. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils using the perennial energy crops *Miscanthus* spp. and *Arundo donax*. *Industrial Crops and Products*. 2015.

[17] Singh, A., Kumar, S., Patel, A., & Gupta, R. Harnessing microbial wealth for lignocellulose biomass valorization through secretomics: A review. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2023.

[18] Liu, et al. Preparation and applications of carboxymethyl xylan-based hydrogels. *Materials Science Journal*. 2021.

[19] Herrera-Ramírez, J., Meneses-Marentes, N., & Tarazona Díaz, M. P. Optimizing the extraction of anthocyanins from purple passion fruit peel using response surface methodology. *Journal of Food Measure and Characterization*.

[20] Lozano-Calvo, S., Loaiza, J. M., García, J. C., García, M. T., & López, F. Ultrasound-Assisted Cold Alkaline Extraction: Increasing Hemicellulose Extraction and Energy Production from *Populus* Wood. *Forests*, 15(1), 109. 2024.

[21] De Freitas, C., Carmona, E., & Brienzo, M. Xylooligosaccharides production process from lignocellulosic biomass and bioactive effects. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 18, 100184. 2019.

[22] Dahlman, O. Processing of xylan from hardwood spent cooking liquors. *Wood Biorefinery Conference*. 2008.

[23] García, Juan C., et al. Search for optimum conditions of *Paulownia* autohydrolysis process and influence in pulping process. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 30, no 1, p. 92-101. 2011.

[24] Garrote, G., & Parajo, J.C. Non-isothermal autohydrolysis of *Eucalyptus* wood. *Wood Science and Technology*, 36, 111–123. 2003.

Estudio de viabilidad de la tecnología *Power-to-Gas* a partir de la metanización directa de biogás

Uxía Mata Rivas, María José Martín Alfonso, Francisco José Martínez Boza

Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencia de los Materiales

Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Huelva

Campus El Carmen. 21071 Huelva

uxia.mata@alu.uhu.es, mariajose.martin@diq.uhu.es, martinez@uhu.es

Resumen- La digestión anaerobia de los lodos generados en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) es una solución eficaz para gestionar estos residuos, mitigando su impacto ambiental y permitiendo su valorización. A través de este proceso, se obtiene un biosólido, útil como fertilizante, y biogás, una fuente de energía renovable compuesta principalmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

El biogás puede utilizarse para producir electricidad y/o calor, o ser purificado (*upgrading*) para obtener biometano, que puede inyectarse en la red gasista, contribuyendo a la descarbonización de sectores industriales y residenciales. Además, el biometano también tiene aplicación como combustible en vehículos y como precursor en la industria química, disminuyendo así la dependencia de los combustibles fósiles.

Una alternativa prometedora a las tecnologías convencionales de *upgrading*, que implican la separación del CO₂ del CH₄ y, consecuentemente, la captura del CO₂ en etapas posteriores o su emisión a la atmósfera, es la tecnología *Power-to-Gas*, que convierte el excedente de energía renovable en gases renovables, como el hidrógeno verde. Al reaccionar hidrógeno (H₂) con el CO₂ del biogás, se genera más metano, revalorizando el CO₂ y reduciendo las emisiones de las EDAR.

Para avanzar en el conocimiento de esta tecnología, se ha realizado un estudio de viabilidad técnica y económica de la metanización directa catalítica de una corriente de 340 Nm³/h de biogás, caudal representativo de una EDAR de mediano tamaño. El proceso fue diseñado y simulado en Aspen Plus, con el objetivo de inyectar el biometano generado a la red gasista.

Los resultados indican que la viabilidad económica depende de los costes asociados a la electrólisis y a la reacción de metanización. También se identificó la necesidad de optimizar la desulfuración del biogás para evitar la desactivación del catalizador y mejorar la gestión del calor, dado el carácter exotérmico de la reacción.

Actualmente, se sigue trabajando en resolver los desafíos técnicos y económicos del proceso, con el objetivo de hacer competitiva esta tecnología tanto a pequeña, como a gran escala.

Palabras clave: *Power-to-Gas*, biogás, metanización directa.

I. INTRODUCCIÓN

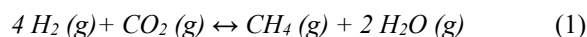
La dependencia energética de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su producción y consumo aún representan un desafío en la Unión Europea. A pesar de los avances hacia fuentes renovables, el gas natural continúa jugando un papel clave en el panorama energético actual, contribuyendo a la crisis climática y a la vulnerabilidad del suministro energético.

Con el fin de reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles de origen ruso e impulsar la transición ecológica hacia un sistema energético más limpio y sostenible, la Comisión Europea ha elaborado el plan *REPowerEU*, que

promueve el desarrollo de gases renovables como el hidrógeno verde, el biogás y el biometano.

Actualmente, el biometano se obtiene mayoritariamente a partir de la purificación del biogás, un gas renovable formado principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), que se produce gracias a la digestión anaerobia de residuos orgánicos, como desechos agrícolas, residuos agroforestales, restos de la industria alimentaria, residuos sólidos urbanos (RSU) o lodos procedentes de la depuración de aguas residuales. Durante la purificación o *upgrading* del biogás se busca separar el dióxido de carbono (CO₂) del biometano (CH₄), siendo necesarias tecnologías de captura y secuestro de carbono para evitar las emisiones de CO₂ a la atmósfera, lo que conlleva a una mayor inversión y a mayores costes operativos [1].

La tecnología *Power-to-Gas* resulta prometedora como alternativa a los métodos convencionales de *upgrading*, especialmente si se realiza mediante una metanización directa del biogás [2]. En este proceso, el CO₂ contenido en el biogás se aprovecha directamente, sin necesidad de separación previa, para reaccionar con hidrógeno verde producido a partir del excedente de energías renovables, de acuerdo con la reacción de Sabatier (Ecuación 1).



De esta forma, es posible revalorizar el CO₂ directamente e incrementar el contenido de metano en la corriente de biogás, evitando los costes de capital y operación de los equipos asociados al *upgrading* de biogás (absorción física/química, destilación criogénica, membranas) y posterior captura y almacenamiento de CO₂. En la Fig. 1 se muestra un esquema del proceso.

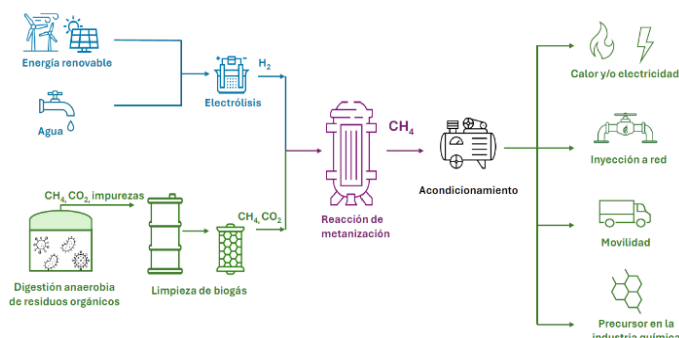


Fig. 1. Esquema del proceso propuesto para la producción de metano renovable.

El metano renovable obtenido puede inyectarse directamente en la red gasista existente, sustituyendo al gas natural y descarbonizando por tanto diversos sectores como la industria, el comercio, el sector residencial o el transporte.

II. CASO DE ESTUDIO

Para evaluar la viabilidad de esta nueva tecnología se ha diseñado y simulado una planta de metanización directa en ASPEN PLUS V14 partiendo de la corriente de biogás procedente de la digestión anaerobia de lodos de la EDAR Murcia Este [3]. En la Tabla I, se presenta la composición del biogás de dicha EDAR, cuyo caudal aproximado es de unos 340 Nm³/h.

Tabla I
COMPOSICIÓN DE LA CORRIENTE DE BIOGÁS DE ESTUDIO.

Compuesto	Concentración	Unidad
Argón	0,095	%
Oxígeno	0,189	%
Nitrógeno	0,852	%
Metano	56,4	%
Dióxido de carbono	37,0	%
Sulfuro de hidrógeno	2743	ppm _v
Total de siloxanos	8,42	ppm _v
Vapor de agua	5,14	%

Se han tenido en cuenta además las siguientes consideraciones:

- La planta de metanización operará en continuo 24 horas al día durante 330 días al año.
- Todo el metano renovable producido será inyectado a la red gasista de distribución.
- La composición de metano renovable producido debe cumplir con las especificaciones de calidad de gas procedente de la Resolución de 8 de octubre de 2018 [4].
- Para la estimación del presupuesto y los costes operacionales se ha empleado *Aspen Process Economic Analyzer* (APEA).
- El coste de los equipos no definidos en APEA se ha estimado por catálogo.

III. DISEÑO Y SIMULACIÓN

La planta de metanización directa se puede dividir en varias secciones, mostradas en la Fig.2: la sección correspondiente a la limpieza de biogás, en la que se llevará a cabo principalmente la desulfuración del biogás; la sección asociada a la producción de hidrógeno verde; la sección de reacción; y finalmente, la sección de acondicionamiento del metano renovable para poder ser inyectado a red.

A continuación, se describen brevemente cada una de ellas.

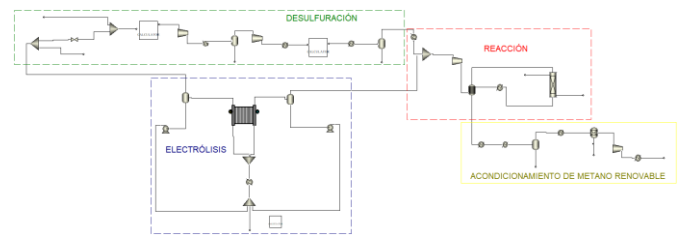


Fig. 2. Diagrama del proceso de metanización directa simulado en ASPEN PLUS V14

A. Acondicionamiento de la corriente de biogás

El biogás procedente de la digestión anaerobia de los lodos es introducido inicialmente en un biofiltro percolador para la remoción simultánea de H₂S y parte de los siloxanos [5]. La desulfuración resulta indispensable para la metanización catalítica, ya que la presencia de azufre puede desactivar el catalizador, siendo necesario alcanzar órdenes de ppb_v [6].

La biodegradación de estos compuestos requiere la aportación de O₂, que procederá de la electrólisis del agua.

En esta primera etapa es posible reducir la concentración del sulfuro de hidrógeno hasta en un 90% de la concentración inicial [7]. Sin embargo, la concentración final resultante todavía es muy elevada (230 ppm_v), por lo que a continuación la corriente se ha alimentado a un lecho de carbón activo impregnado de KI para la eliminación prácticamente total de H₂S.

La corriente de salida del lecho de carbón activo se ha enfriado posteriormente hasta unos 5°C para conseguir retirar los siloxanos restantes por condensación.

El biofiltro percolador y el lecho de adsorción han sido modelados con la herramienta *Calculator* de ASPEN PLUS.

B. Producción de hidrógeno verde

Inicialmente, se ha realizado un dimensionamiento básico del electrolizador alcalino en el que se han determinado parámetros necesarios, como el número de celdas y la potencia del stack de acuerdo con la bibliografía [8], [9], [10], para la simulación del modelo riguroso del electrolizador en ASPEN PLUS V14.

A continuación, se ha simulado el electrolizador a 80°C y 10 atm partiendo de agua desmineralizada y presurizada (FRESH). A la salida del electrolizador se obtienen 2 corrientes:

- COUT (salida del cátodo): compuesta prácticamente por agua e hidrógeno.
- AOUT (salida del ánodo): compuesta prácticamente por agua y oxígeno.

El agua a la salida del electrolizador es separada de los gases mediante tanques flash y se ha recirculado a la entrada del electrolizador para conseguir disminuir el consumo de agua fresca.

En la Fig. 3 se muestra el esquema del proceso para la producción de hidrógeno implantado en el simulador.

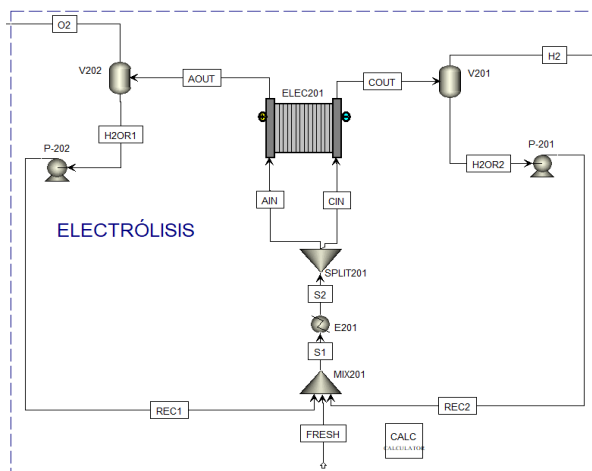


Fig. 3. Esquema del proceso de producción de hidrógeno verde en ASPEN PLUS V14

C. Reacción de metanización

Una vez acondicionada la corriente de biogás y producido el hidrógeno verde, se mezclan y calientan ambas corrientes para ser alimentadas a un reactor catalítico de lecho fijo multitubular refrigerado, que operará en torno a los 200°C-280°C y a una presión de 10 atm, para favorecer la termodinámica de la reacción.

Se ha seleccionado la reacción de metanización catalítica frente a la alternativa biológica gracias a que esta no sólo permite la recuperación de calor, sino que también requiere de menor superficie en comparación con la biológica, que se ve limitada por la baja transferencia de masa y una cinética lenta [11].

El catalizador seleccionado ha sido níquel soportado sobre alúmina (Ni/Al₂O₃) gracias a la alta relación entre la actividad y selectividad hacia al metano respecto a su coste [12].

D. Acondicionamiento del metano renovable

La corriente de salida del reactor se ha enfriado con el fin de retirar el agua por condensación, siendo necesario además incorporar un lecho de adsorción con zeolitas para poder alcanzar una temperatura de rocío inferior a -8°C y, así, poder inyectar a la red de distribución, para lo que se comprimirá el metano hasta unas 16 atm.

IV. RESULTADOS

El estudio de viabilidad técnica ha reafirmado la capacidad del potencial de producción de biometano de España, siendo el tercer país con mayor potencial en la Unión Europea.

A partir del diseño y simulación de la planta de metanización directa se ha obtenido un caudal de 314 Nm³/h de metano renovable a partir de los 340 Nm³/h iniciales de biogás, lo que corresponde a una producción estimada de energía de 27 GWh/año. Este proceso permitiría aumentar la energía producida respecto al proceso de *upgrading* convencional, en el que, para el mismo caso de estudio, se conseguirían producir 17 GWh/año. En la Tabla II se muestra la caracterización de la corriente de metano renovable obtenida, que cumple con las especificaciones de calidad exigidas en la Resolución del 8 de octubre de 2018 [4].

Tabla II
COMPOSICIÓN DE LA CORRIENTE DE METANO RENOVABLE OBTENIDA

Compuesto	Concentración	Unidad
Metano	97,29	mol %
CO	-	mol %
CO ₂	0,04	mol %
O ₂	0,04	mol %
H ₂	1,65	mol %
Compuestos Halogenados: Flúor/Cloro	-	mg/m ³
Amoniaco	-	mg/m ³
Mercurio	-	µg/m ³
Siloxanos	0,41	mg/m ³
Benceno, Tolueno, Xileno (BTX)	-	mg/m ³
H ₂ S+COS (como S)	-	mg/m ³
Microorganismos	-	-
Polvo/ partículas	-	-
Punto de rocío del agua	-32,45	°C

Si bien ya existen algunos proyectos de *Power-to-Methane* que obtienen un metano renovable de alta calidad, todos se encuentran en fase de demostración a escala piloto, con un TRL de entre 6 y 7 [13], siendo el mayor desafío la complejidad de la desulfuración y la gestión de calor de la reacción, altamente exotérmica.

Además de la viabilidad técnica del proyecto, también se ha de tener en cuenta el factor económico. Del estudio de viabilidad económica de la planta se ha obtenido la siguiente distribución de costes operacionales, mostrada en la Fig. 4, siendo el electrolizador, seguido de los costes asociados a la refrigeración, el mayor contribuyente.

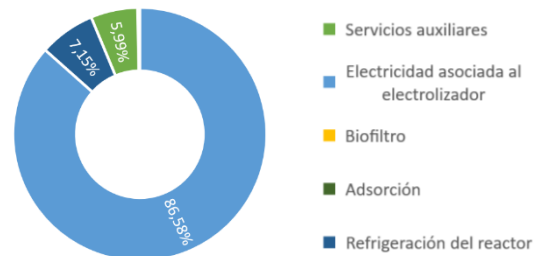


Fig. 4. Distribución de los costes operacionales de la planta de metanización directa

Por otro lado, la inversión estimada del proyecto resultante ha sido de unos 31.540.000 €, siendo necesarios algunos ajustes para garantizar la rentabilidad y competitividad con el gas natural, ya que para que el proyecto fuese rentable en unos 15 años, el precio del metano renovable debería ser de aproximadamente 5,5 €/kg.

V. CONCLUSIONES

Se ha realizado el diseño y la simulación en ASPEN PLUS de una planta *Power-to-Gas* de mediana escala a partir de la metanización directa de una corriente de biogás real procedente de la digestión anaerobia de lodos de EDAR.

Los resultados de la simulación confirman que con este proceso es posible aumentar el metano de la corriente de biogás, revalorizando el CO₂ y simultáneamente almacenar la

energía de forma flexible en la red existente de gas natural sin necesidad de separar previamente el CO₂, cumpliendo con las especificaciones de calidad del gas para inyección a red.

Para el caso de estudio, el proceso no resulta competitivo, ya que la producción de metano es relativamente baja y los ingresos no consiguen compensar el CAPEX y OPEX (economía de escala).

Actualmente, dicho proceso se encuentra en fase de demostración, siendo los mayores retos la desulfuración exhaustiva, la gestión del calor de la reacción y los elevados costes de operación. Por tanto, se debe continuar trabajando en superar los desafíos técnicos y económicos del proceso, con el fin de hacer esta tecnología competitiva tanto a pequeña, como a gran escala.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la licencia de estudios de Aspen de la Universidad de Huelva, financiada por la entidad Moeve.



REFERENCIAS

- [1] C. Bidart, M. Wichert, G. Kolb, y M. Held, "Biogas catalytic methanation for biomethane production as fuel in freight transport - A carbon footprint assessment". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 168, art. no. 112802, 2022.
- [2] J. Witte, J. Settino, S. M. A. Biollaz, y T. J. Schildhauer, "Direct catalytic methanation of biogas – Part I: New insights into biomethane production using rate-based modelling and detailed process analysis". *Energy Conversion and Management*, vol. 171, pp. 750-768, 2018.
- [3] F. J. Navarro, M. Castro, y T. Serna, "Iniciativas para el aprovechamiento energético del biogás generado en una EDAR". *Tecnoaqua*, no. 14, pp. 34-40, 2015.
- [4] "Resolución de 8 de octubre de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se modifican las normas de gestión técnica del sistema NGTS-06, NGTS-07 y los protocolos de detalle PD-01 y PD-02". *BOE*, no. 256, 23 de octubre de 2018.
- [5] Y. Zhang, K. Oshita, T. Kusakabe, M. Takaoka, Y. Kawasaki, D. Minami, y T. Tanaka, "Simultaneous removal of siloxanes and H₂S from biogas using an aerobic biotrickling filter". *Journal of Hazardous Materials*, vol. 391, art. no. 122187, 2020.
- [6] C. Dannesboe, J. B. Hansen, e I. Johannsen, "Removal of sulfur contaminants from biogas to enable direct catalytic methanation". *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 11, pp. 1823–1834, 2021.
- [7] R. Potumarthi, G. A. Rao, G. Mugeraya, y A. Jetty, "Hydrogen Sulfide Removal in Biofilter: Evaluation of a New Filter Material by Immobilization of *Thiobacillus* sp.". *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, vol. 7, no. 1, 2009.
- [8] Z. Abdin, C. J. Webb, y E. M. A. Gray, "Modelling and simulation of an alkaline electrolyser cell". *Energy*, vol. 138, pp. 316-331, 2017.
- [9] S. Niroula, C. Chaudhary, A. Subedi, y B. S. Thapa, "Parametric Modelling and Optimization of Alkaline Electrolyzer for the Production of Green Hydrogen". En *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1279, art. no. 012005, 2023.
- [10] T. Adibi, A. Sojoudi, y S. C. Saha, "Modeling of thermal performance of a commercial alkaline electrolyzer supplied with various electrical currents". *International Journal of Thermofluids*, vol. 13, art. no. 100126, 2022.
- [11] D. Rusmanis, R. O'Shea, D.M. Wall, J.D. Murphy, "Biological hydrogen methanation systems-an overview of design and efficiency", *Bioengineered*, vol. 10, pp. 604-634, 2019.
- [12] M. Tommasi, S. N. Degerli, G. Ramis, e I. Rossetti, "Advancements in CO₂ methanation: A comprehensive review of catalysis, reactor design and process optimization". *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 201, pp. 457-482, 2024.
- [13] C. Wulf, J. Linßen, P. Zapp, "Review of Power-to-Gas Projects in Europe". *Energy Procedia*, vol. 155, pp. 367-378, 2018.

Implementación experimental del control de una microrred eléctrica para la mejora del autoabastecimiento energético

N. Magro, J. R. Vázquez y R. Sánchez-Herrera

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos
ETSI, Universidad de Huelva

nicolas.magro@alu.uhu.es, vazquez@uhu.es, reyes.sanchez@dfaie.uhu.es

Resumen- Una microrred es una buena solución para la autogestión de la generación y el consumo de energía de las cargas eléctricas locales, contribuyendo a reducir emisiones de gases de efecto invernadero y a garantizar la fiabilidad energética de comunidades aisladas o difíciles de abastecer, constituyendo una forma ideal de integrar recursos renovables a nivel comunitario. Las fuentes de energía locales (generalmente renovables) generan una tensión DC (direct current), una batería almacena la energía, y un inversor de potencia (convertidor DC-AC) genera la tensión AC (alternating current) para las cargas de la microrred. En este trabajo se presenta y ensaya una microrred experimental construida en el laboratorio del grupo de investigación TEP-964, que puede trabajar en modo aislado o conectado a la red eléctrica, según la disponibilidad de ésta o el interés del usuario. En la inyección de corriente a la red, además de suministrar la potencia de las fuentes DC, el inversor aporta los armónicos de las cargas presentes en la microrred, mejorando así la calidad de onda en el punto de conexión. La etapa de control del inversor ha sido implementada en una tarjeta DSP (digital signal processor) de bajo coste de Texas Instruments, la TMS320F28335, cuya programación se realizó con la ayuda del código embebido de Matlab/Simulink. Los resultados de los experimentos desarrollados y mostrados en este trabajo permitieron verificar la efectividad del control propuesto

Palabras Clave- Microrred, Smart Cites, Calidad del suministro eléctrico, Matlab/Simulink, DSP

I. INTRODUCCIÓN

En la figura 1 se muestra un esquema básico de una microrred de corriente alterna. Las fuentes locales disponibles se conectan a un bus de corriente continua (DC bus), pudiendo ser la energía generada almacenada en baterías. Un inversor de potencia convierte esa potencia continua en alterna. Al bus de corriente alterna (AC bus) de la microrred se conectan las cargas locales. La microrred puede trabajar en modo aislado o conectada a la red de potencia general. En el primer caso, un control de tensión del inversor de potencia permitirá generar la tensión que necesitan las cargas. Así, una microrred permite la autogestión de la generación y el consumo de energía de las cargas eléctricas locales, garantizando la fiabilidad energética especialmente de comunidades aisladas [1-4]. En el segundo caso, si el sistema de potencia (PS, power system) o red general está presente, ésta proporcionará la tensión de la microrred, debiendo realizarse un control de corriente en el inversor que permita aportar la energía proveniente de las fuentes DC o, en su caso, de la batería.

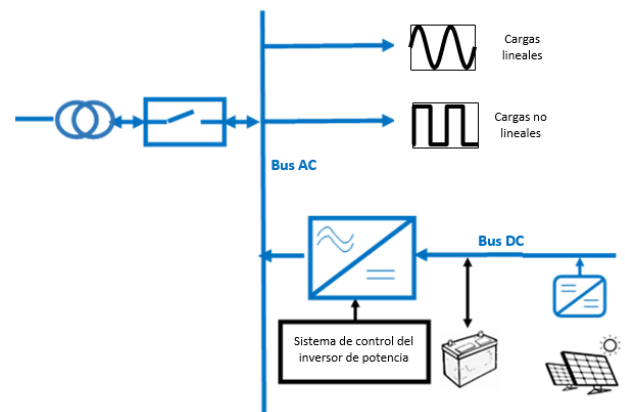


Fig. 1. Esquema básico de una microrred de corriente alterna

En este trabajo se propone una estrategia de control del inversor de potencia que permite, cuando la microrred trabaja conectada al sistema de potencia, además de suministrar la energía de las fuentes DC a las cargas propias y el sobrante a la red general, compensar la distorsión armónica de las cargas presentes, de forma que mejora la calidad de onda en el punto de conexión de la microrred, [5-8].

Una vez diseñada la estrategia de control, es necesario implementarla sobre una microrred real. Para ello, es clave ejecutar en tiempo real el programa de control del inversor. En este trabajo se ha optado por implementarlo en una tarjeta de adquisición y control de propósito general y bajo coste, frente a otras propuestas previas, [9-11].

En definitiva, en este trabajo se presenta y ensaya una microrred experimental construida en el laboratorio del grupo de investigación TEP-964, que puede trabajar en modo aislado o conectado a la red eléctrica. La etapa de control del inversor ha sido implementada en una tarjeta DSP de bajo coste de Texas Instruments, la TMS320F28335, cuya programación se realizó con la ayuda del código embebido de Matlab/Simulink, [12-14]. Los resultados de los experimentos desarrollados y mostrados en este trabajo permiten verificar la efectividad del control propuesto.

En la sección II se presenta la estrategia de control, en la sección III se describe la plataforma experimental construida y en la sección IV se presentan los resultados de experimentos llevados a cabo para contrastar la validez de la estrategia de control diseñada.

II. ESTRATEGIA DE CONTROL DE LA MICRORRED

El sistema de control del inversor de la microrred ha sido diseñado para que ésta pueda funcionar de forma aislada o conectada a la red eléctrica general.

Si la tensión del sistema de potencia es adecuada, (tensión nominal, $V_N \pm 10\%$), el interruptor de conexión microrred-PS estará cerrado (ON) y la tensión de la microrred estará impuesta por la red eléctrica. Un adecuado control de corriente en el inversor de corriente permitirá evacuar la energía DC de la microrred, una vez cargadas las baterías o condensadores de almacenamiento DC, hacia las cargas de la red. Si hay exceso de energía, se inyectará a la red eléctrica. En este trabajo se ha diseñado este control de corriente para suministrar además la potencia reactiva y la potencia armónica y la potencia de desequilibrio consumida por las cargas además de proporcionar la potencia activa. Con esto se mejora el factor de potencia y se disminuye la distorsión armónica total. El sistema sólo aportará la potencia activa de la carga (P), resultando la corriente de red sinusoidal y en fase con la tensión. Para ello, la intensidad de la red debería aportar la intensidad activa de la carga, ecuación (1).

$$i_a = \frac{P}{V_{1+}^2} v_{1+} = G_1 v_{1+} \quad (1)$$

donde v_{1+} es el componente fundamental de secuencia directa de la tensión en el punto de conexión común (PCC, point of common connection). Para lograr que la intensidad de la red o fuente (i_S) coincida con esa intensidad activa, dado que la suma de esa intensidad y la del inversor (llamada corriente de compensación, i_C) es la intensidad de carga (i_L), la referencia para el control de corriente del inversor debe ser la indicada en la ecuación 2.

$$i_C = i_L - i_a = i_L - G_1 v_{1+} \quad (2)$$

Si se considera además la potencia activa procedente de las fuentes de energía renovables de la microrred, el inversor debe proporcionar un segundo componente (i_{RS}), según la ecuación 3.

$$i_{RS} = \frac{P_{RS}}{v_{1+}^2} v_{1+} = G_2 v_{1+} \quad (3)$$

Finalmente, la corriente total del inversor, i_T , será la suma de ambos componentes, como muestra la ecuación 4, obteniéndose así la intensidad de referencia en el control del inversor.

$$i_T = i_{RS} + i_C = i_L - (G_1 - G_2) v_{1+} = i_L - G_T v_{1+} \quad (4)$$

Por otro lado, si la tensión de red está fuera del margen indicado anteriormente, el interruptor de conexión con la red se abre (OFF) y un control de tensión del inversor hará que éste suministre la tensión de la microrred. La tensión de referencia para el control en este trabajo será una onda sinusoidal generada por el propio programa de control.

III. PLATAFORMA EXPERIMENTAL E IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL

La plataforma experimental implementada se muestra en la figura 2. Se ha implementado una microrred monofásica

de AC con un bus de 150 V de DC, un inversor de puente completo Semikron con una reactancia de salida de 25 mH y un transformador de AC 1:2 para conectar dos cargas, una carga lineal y resistiva de 1 kW y una carga no lineal, un regulador de AC, para comprobar el rendimiento del sistema ante la presencia de cargas generadoras de distorsión armónica. El inversor (etapa de potencia y tarjeta DSP de adquisición y control) y las cargas, se han resaltado en la Figura 2.

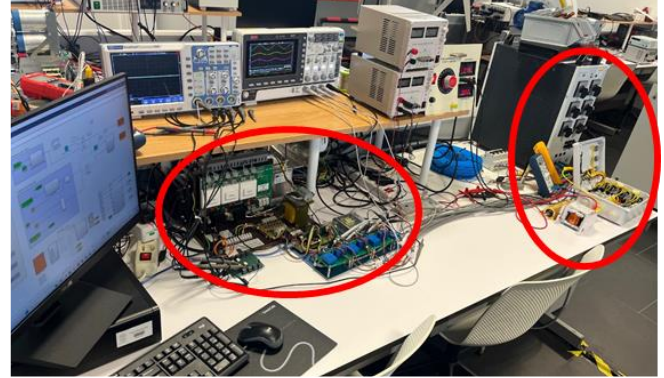


Fig 2. Plataforma experimental

Para ejecutar un control en lazo cerrado se construyó un bloque de adquisición de datos. Los sensores de tensión e intensidad de efecto Hall utilizados (LEM LV25-P y LA55-P), registran las señales AC y DC. Se construyó un circuito electrónico de acondicionamiento para adaptar las salidas de los sensores a las entradas de tensión que requiere la tarjeta de control, esto es, de 0-3 V. La figura 3 muestra con algo más de detalle el bloque de sensores junto a la tarjeta DSP de control y la etapa de potencia del inversor.



Fig 3. Bloque de medida, tarjeta DSP y etapa de potencia del inversor

Los productos de creación rápida de prototipos de MathWorks automatizan la exportación de modelos y algoritmos de control desarrollados dentro de Matlab/Simulink sobre software para ejecutarlos en tiempo real, lo que ahorra tiempo de programación. La Figura 4 muestra una vista general del código programado en Matlab/Simulink, ayudado por la herramienta "Embedded Coder".

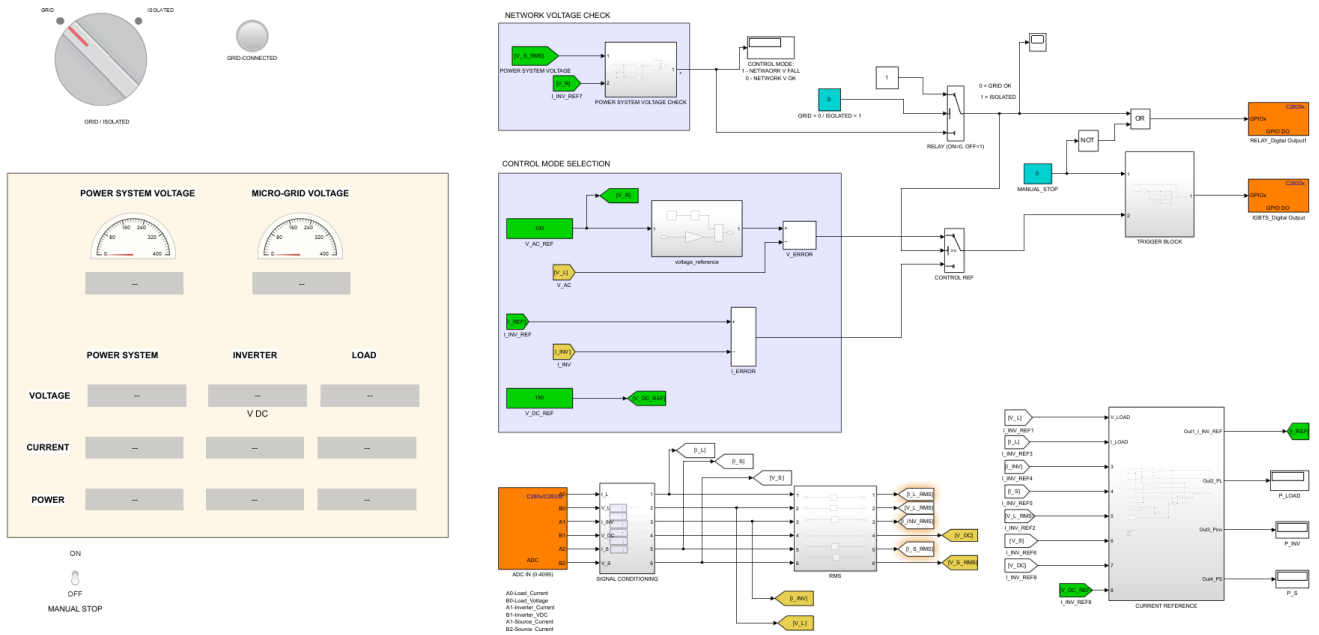


Fig 4. Esquema de bloques del programa desarrollado en Matlab/Simulink

Las señales necesarias para controlar el inversor se reciben en los pines de entrada de la tarjeta, y están disponibles en el bloque ADC (analog digital converter), abajo a la izquierda en la Figura 4. Estas señales son la intensidad y la tensión de la carga, la intensidad del inversor, la tensión del sistema de potencia y la tensión del bus DC. Otras medidas como la intensidad del sistema de potencia son recibidas para supervisar el buen funcionamiento del sistema. A la salida del bloque ADC, otro bloque re-escala las señales recibidas a los valores reales, y el siguiente calcula los distintos valores eficaces de esas señales (RMS, root mean square), lo que es necesario para implementar la estrategia de control.

El bloque de la esquina superior izquierda de la figura 4 (“Network Voltage Check” block) recibe como entradas la tensión del sistema de potencia y la referencia a fijar. Si la tensión está dentro de límites (tensión nominal $\pm 10\%$) la salida del bloque es 0, en caso contrario es 1. Esta salida permite elegir, en el bloque central, si se realiza un control de tensión (microrred trabajando de forma aislada) o un control de corriente (microrred trabajando conectada a la red de potencia). La figura 5 muestra el contenido de dicho bloque.

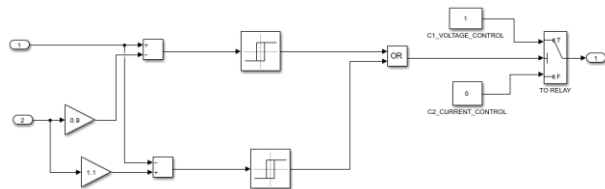


Fig 5. Bloque de comprobación de la tensión de red

Para el control de tensión, la referencia sinusoidal a seguir se genera mediante software (a partir del valor eficaz de referencia fijado por el usuario, 100 V en este trabajo), mientras que para el control de corriente, la referencia a seguir por el inversor se calcula en el bloque inferior derecha de la figura 4, según lo descrito en la sección II. Una vez seleccionado el tipo de control a realizar, la señal medida y

su referencia se comparan, y el error sirve para calcular los disparos de los dispositivos de potencia del inversor.

En este trabajo se usa un inversor monofásico de puente completo, figura 6, con IGBTs (insulated gate bipolar transistors) como dispositivos de potencia. Si la señal medida está por debajo de la referencia, la intensidad de salida del inversor debe aumentar, para lo que se disparan los tiristores T1 y T4, permaneciendo abiertos T2 y T3. Si la señal medida supera la referencia, se disparan T2 y T3 y se abren T1 y T4. Este control PWM (pulse width modulation) implementado es el llamado “bang-bang”. Las señales de los IGBTs se calculan en el bloque superior derecho de la figura 4, cuyo contenido se detalla en la figura 7.

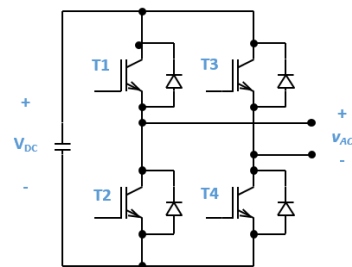


Fig 6. Esquema de un inversor monofásico de puente completo

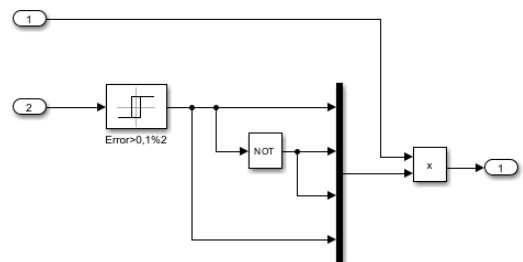


Fig 7. Bloque de cálculo de los disparos de los IGBTs

El tiempo de ejecución del control en tiempo real es crítico, ya que el seguimiento de la referencia del inversor será más eficaz cuanto mayor sea la frecuencia de conmutación de los dispositivos de potencia. En este trabajo

la actualización de las medidas se produce cada 25 μ s, con lo que la frecuencia máxima de conmutación de los IGBTs podrá ser de 20 kHz.

El programa de control del inversor se completa con el diseño de una interfaz de supervisión, según se muestra en la figura 8. Además de contar en todo momento con las tensiones, intensidades y potencias de interés, se incluyen elementos que permiten interactuar con el experimento en tiempo real, pudiendo por ejemplo desconectarse la microrred del sistema de potencia de forma manual.



Fig 8. Interfaz de supervisión

Una vez diseñado el programa de control en Matlab/Simulink, hay que convertirlo a lenguaje de programación C, compilarlo, generar un ejecutable e instalarlo sobre el microprocesador de la tarjeta de control. Este proceso se realiza de forma automática con ayuda de la herramienta “Embedded Code” de Matlab y el software CCStudio. Con este software instalado, es posible seleccionar la opción “Hardware/Build,Deploy&Start” desde Matlab, generándose el código y construyéndose el programa ejecutable. La exportación al microcontrolador y la posterior supervisión se realiza mediante una conexión USB (universal serial bus) entre PC (personal computer) y DSP. Además de poder visualizar los resultados de interés de los experimentos mediante el panel virtual de la figura 6, la interacción es más completa, pudiendo modificarse en tiempo real los valores de los diferentes bloques del programa o visualizarse a través de bloques “scope” de Simulink las señales que se deseen. Esto es especialmente interesante en la fase de ajuste del diseño del control.

Una vez presentada la plataforma experimental, incluyendo la implementación del programa de control sobre la tarjeta DSP de control del inversor, en la sección IV se analiza la validez del control propuesto a través de la presentación de distintos casos prácticos.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En esta sección se valida el funcionamiento del control propuesto analizando la microrred en dos casos, con una carga lineal resistiva y con una carga no lineal (regulador de tensión alterna con carga inductiva). La tensión en el bus DC

es de 150 V y la tensión alterna de la red es de 100 V (se ha utilizado un transformador para conectarse a la red de 230 V del laboratorio). La reactancia de salida del inversor es de 25 mH.

En el primer caso, la microrred funciona en modo conectado a la red con una carga resistiva de 50 Ω . En estas condiciones, la potencia activa de la carga es de unos 200 W. En primer lugar, se considera una potencia activa nula de las fuentes conectadas al bus DC, que luego se incrementa a 250 W y después pasa a 150 W. La Figura 9 muestra las principales formas de onda en las tres situaciones. La tensión es la gráfica rosa, la azul es la intensidad de la red, la verde es la intensidad de la carga y la roja es la correspondiente al inversor. Como se puede observar, en la figura 9a el inversor no inyecta potencia y toda la potencia que necesita la carga la suministra la red. En la figura 9b, toda la potencia de la carga la suministra el inversor y el excedente se inyecta a la red, por lo que la gráfica azul está en contrafase con la tensión. Finalmente, en el caso presentado en la figura 9c, tanto el inversor como la red suministran parte de la potencia que necesita la carga.

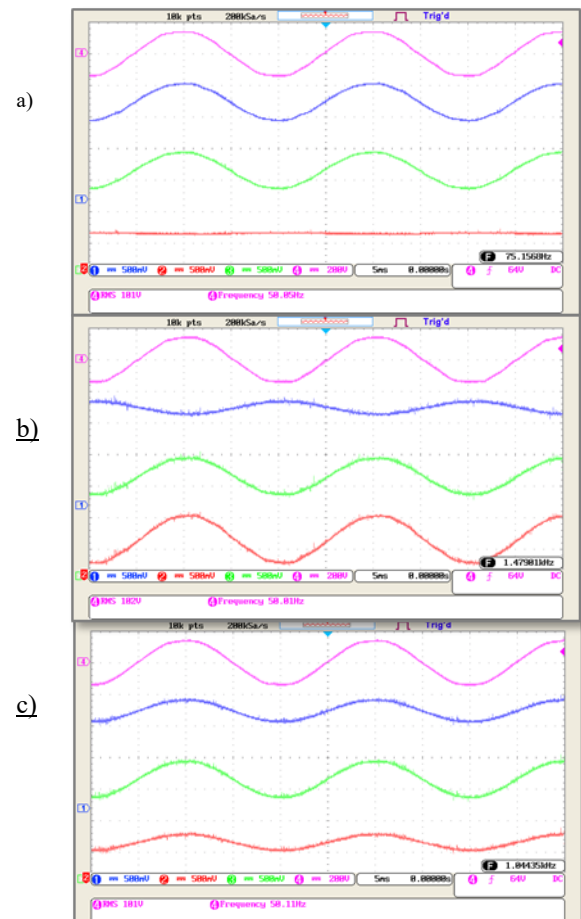


Fig 9. De arriba hacia abajo: tensión, intensidad de red, intensidad de carga e intensidad del inversor, a) $P_{DC}=0$ W, b) $P_{DC} > P_{carga}$, c) $P_{DC} < P_{carga}$. Carga lineal

En el segundo caso, la microrred trabaja en modo conectado a red y existe una carga constituida por un regulador AC con una carga RL de 10 mH y 50 Ω , que es no lineal. La figura 10 muestra las formas de onda principales en las mismas tres situaciones que en el caso anterior. En la figura 10a, el inversor no inyecta potencia activa (no hay presentes fuentes en el bus DC) pero sí aporta los armónicos

presentes en la intensidad de la carga, de forma que la intensidad de la red resulta sinusoidal. En los otros dos casos el inversor, además de los armónicos de la carga, sí aporta la potencia DC proveniente de las fuentes de la microrred. Así, en la figura 10b la intensidad de red es sinusoidal y está en contrafase con la tensión de la red, ya que hay excedente de potencia activa disponible en la microrred. En la figura 10c, la potencia DC es inferior a la que necesitan las cargas, por lo que la red debe aportar el resto de potencia y la intensidad de red estará en fase con la tensión. Estos resultados confirman el adecuado desempeño del control de corriente propuesto.

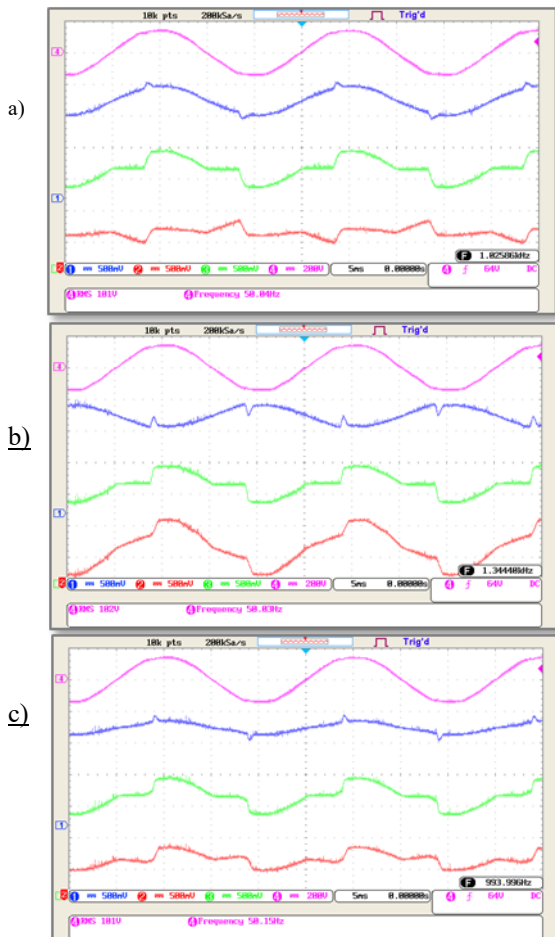


Fig 10. De arriba abajo: tensión, intensidad de red, intensidad de carga e intensidad del inversor, a) $P_{DC}=0$ W, b) $P_{DC} > P_{carga}$, c) $P_{DC} < P_{carga}$. Carga no lineal

Si la tensión de red está fuera del rango permitido ($\pm 10\%$ del valor nominal), el sistema de control lo detecta automáticamente y cambia el control del inversor a un control de tensión. La tensión de referencia se genera por software y el control en tiempo real permite obtener esta tensión para alimentar la carga. La figura 11 muestra las principales formas de onda en esta situación.

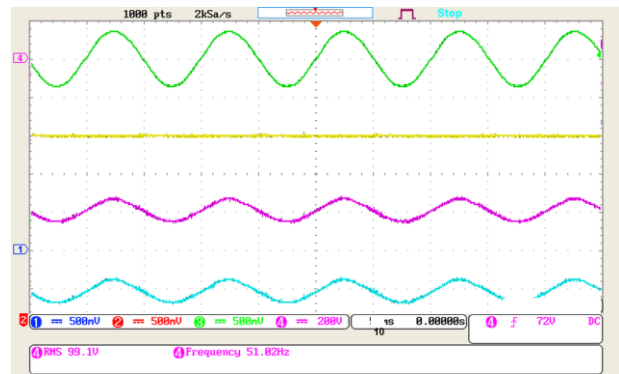


Fig 11. Formas de onda con microrred en modo aislado. De arriba abajo: tensión, intensidad de red, intensidad de carga e intensidad del inversor.

V. CONCLUSIONES

Las microrredes permiten aumentar la penetración de energía renovable en el sistema eléctrico, ya que son útiles para gestionar la oferta y la demanda de energía localmente y son capaces de participar en programas de respuesta a la demanda gestionados por el operador del sistema eléctrico. Para ello, la microrred debe ser capaz de operar en modo conectado a la red y aislado. Además, es valiosa la capacidad de la microrred de no inyectar armónicos y otras no conformidades de la calidad de la energía al sistema eléctrico. El control del inversor presentado en este trabajo presenta las características necesarias para que una microrred funcione como se indica. Además, el inversor es replicable debido al uso de dispositivos no costosos e incluso de bajo costo.

Con el inversor, la microrred puede gestionar el intercambio de potencia con el sistema eléctrico en cualquier momento, haciendo que la potencia intercambiada sea únicamente potencia activa. El inversor puede trabajar en modo conectado a red o en modo aislado cuando sea apropiado. Además, trabajando en modo conectado a red, el inversor puede inyectar o recibir potencia a la red, a la vez que compensa los componentes armónicos de la carga en la microrred, mejorando la calidad de la energía eléctrica en el punto de conexión común. Si el control detecta una tensión de red no adecuada, la microrred y la red se desconectan automáticamente y el inversor impone la tensión adecuada a las cargas de la microrred.

La estrategia de control se ha implementado en el laboratorio y se ha probado en una microrred experimental. El control se ha ejecutado en el microprocesador de una placa de control y adquisición de bajo coste, modelo TMS320F28335 de Texas Instruments. Los resultados obtenidos y presentados en este trabajo muestran el buen rendimiento del sistema propuesto.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Proyecto PID2020-117828RB-100: “Sistema de Control integral para optimizar la demanda energética de microrredes eléctricas. (SOSGED)”, convocatoria del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, España.

REFERENCIAS

- [1] J. Momoh. Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis. Vol. 63. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2012.
- [2] Jackson John Justo, Francis Mwasilu, Ju Lee, Jin-Woo Jung. AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24 (2013), 387–405.
- [3] D. E. Olivares et al. Trends in Microgrid Control. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1905-1919, July 2014, DOI: 10.1109/TSG.2013.2295514.
- [4] P. Paikray, S. C. Swain, R. Dash and P. C. Panda. A review on current control techniques for inverter for three-phase grid connected renewable sources. *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, 2017, pp. 1-6, DOI: 10.1109/IPACT.2017.8245203.
- [5] A. V. Barva and S. Joshi, "A Comprehensive Survey on Hybrid Active Power Filter Topologies & Controller and Application in Microgrid," 2022 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/TENSYP54529.2022.9864377.
- [6] A. V. Shalukho, I. A. Lipuzhin and A. A. Voroshilov, "Power Quality in Microgrids with Distributed Generation," 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Chelyabinsk, Russia, 2019, pp. 54-58, doi: 10.1109/URALCON.2019.8877619.
- [7] S. Adhikari, F. Li and H. Li. P-Q and P-V Control of Photovoltaic Generators in Distribution Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 6, pp. 2929-2941, Nov. 2015, DOI: 10.1109/TSG.2015.2429597.
- [8] M. Singh, V. Khadkikar, A. Chandra and R. K. Varma, "Grid Interconnection of Renewable Energy Sources at the Distribution Level With Power-Quality Improvement Features," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 26, no. 1, pp. 307-315, Jan. 2011, doi: 10.1109/TPWRD.2010.2081384.
- [9] A. M. A. El-Rahim, M. Abd-El-Geliel and A. Helal, "Micro grid energy management using multi-agent systems," 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 2016, pp. 772-779, doi: 10.1109/MEPCON.2016.7836981.
- [10] G. Kaur, A. Prakash Associate and K. U. Rao, "Design and Implementation of Hybrid Microgrid in MATLAB for Fault Current Analysis in Different Modes of Microgrid Operations," 2019 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE), 2019, pp. 368-372, doi: 10.1109/RDCAPE47089.2019.8979096.
- [11] C. Patrascu, N. Muntean, O. Comea and A. Hedes, "Microgrid laboratory for educational and research purposes," 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555682.
- [12] QifanWu, J. Qiu, C. Zhu and Y. Wang, "Automatic Fast Experiment System Design Based on Matlab Embedded Code," 2021 China Automation Congress (CAC), 2021, pp. 7360-7363, doi: 10.1109/CAC53003.2021.9728568.
- [13] A. Elrajoubi, S. S. Ang and A. Abushaiba, "TMS320F28335 DSP programming using MATLAB Simulink embedded coder: Techniques and advancements," 2017 IEEE 18th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/COMPEL.2017.8013418.
- [14] S. Z. M. Noor, A. M. Bin Omar, M. A. Mohd Radzi and A. H. Faranadia, "Design of closed-loop algorithm of single-stage grid inverter using Digital Signal Processor (DSP) TMS320F28335 processors evaluation board," 2019 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technologies (CSUDET), 2019, pp. 290-294, doi: 10.1109/CSUDET47057.2019.9214698.