

Actas de las II Jornadas ScienCity 2019

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

Editores:

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

Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas
Informáticos y Automática

Departamento de Tecnologías de la Información

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Huelva

Universidad de Huelva

Dpto. de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y Automática
Campus de El Carmen
Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)
Huelva, España
Tel: (+34) 959 217380
FAX: (+34) 959 217348
<http://www.uhu.es/diesia/>

Dpto. de Tecnologías de la Información
Campus de El Carmen
Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI)
Huelva, España
Tel: (+34) 959 217364
FAX: (+34) 959 217703
<http://www.uhu.es/dti/>

Copyright © 2020 Universidad de Huelva
Todos los derechos reservados
ISBN: 978-1658694988

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 editor/es sin la autorización de los propietarios del Copyright.

Miércoles - 27 Nov | Agricultura 4.0, Seguridad Vial y Comunicaciones de Datos

TecnOlivo: Aplicación de Redes de Sensores en la Agricultura de Precisión	1
<i>B. Millán, D. Tejada, M. Noguera, A. Aquino, J.M. Ponce, J.M. Andújar Márquez</i>	
Auditoría y Certificación en Seguridad de Vehículos Autónomos y Conectados	5
<i>T.J. Mateo Sanguino, J.M. Lozano Domínguez, P. de Carvalho Baptista</i>	
Detección de Vehículos en Pasos de Peatones Inteligentes Mediante Machine Learning	11
<i>J.M. Lozano Domínguez, F. Al-Tam, N. Correia, T.J. Mateo Sanguino</i>	
Conteo Automático de Olivos mediante Análisis de Imagen a partir de Capturas Aéreas Multiespectrales	15
<i>J.M. Ponce, A. Aquino, R. Sarabia, B. Millán, D. Tejada, M. Noguera, J.M. Andújar Márquez</i>	
Blockchain en el Mundo Sanitario	19
<i>D. Pardo Garrido, L. Rivera Moreno</i>	
Seguridad en Redes Cableadas	21
<i>D. Pardo Garrido</i>	
Evaluación de la Normativa Actual para la Medida de la Transmitancia Térmica.....	23
<i>D. Tejada Guzmán, M.Á. Martínez Bohórquez, J.M. Andújar Márquez</i>	

Jueves - 28 Nov | Gobernanza, Construcción y Turismo

Overtourism: A Challenge for Smart Cities	26
<i>A. Vargas-Sánchez</i>	
Iconos Artísticos y Turismo Sostenible en Ciudades Inteligentes Europeas	30
<i>J.M. Morillas-Alcázar, D. García-Ponce</i>	
Muelle de Levante en Huelva. Revitalización Sostenible de un Muelle Histórico Ligado al Uso Circular de la Energía	34
<i>S. Gómez Melgar, M.J. Carrasco Conejo, J.M. Andújar Márquez, M.Á. Martínez Bohórquez</i>	
Proyecto “Badajoz es Más”	37
<i>Á. Felipe Pulido, U. Gamero, F. Tena, J. Gragera</i>	
Estudio de Viabilidad de Instalación de Microturbinas en Sistemas de Abastecimiento Urbanos de Agua	40
<i>Á. Mariano Rodríguez Pérez, C. Pérez Calañas, I. Pulido Calvo</i>	

Viernes - 29 Nov | Emprendimiento, Energía y Sostenibilidad del Planeta

Aprendizaje Basado en Proyectos para Educación en Sostenibilidad	43
<i>Y. Ceada-Garrido, A.J. Barragán, J.M. Enrique, R. Tirado, J.M. Andújar Márquez</i>	
A User Experience Study for Smart Mobility System with Bikes	47
<i>I. Sofía Brito, L.C. Bruno</i>	
MPPT por Estimación de la Resistencia del Punto de Máxima Potencia en Base a Modelo Hiperbólico vs Método Clásico “P&O”	51
<i>J. Ríos, M. Mesa, J.M. Enrique, A.J. Barragán</i>	
Medición de la Difusividad Térmica de Terrenos (Parámetro α_z) Mediante Sonatas de Temperatura Low Cost, Enterrada con Método Artesanal I	55
<i>J. Pino Fernández, D. Ruiz Castilla, M.A. Martínez Bohórquez, J.M. Andújar Márquez</i>	
Medición de la Difusividad Térmica de Terrenos (Parámetro α_z) Mediante Sonatas de Temperatura Low Cost, Enterrada con Método Artesanal II	59
<i>D. Ruiz Castilla, J. Pino Fernández, M.A. Martínez Bohórquez, J.M. Andújar Márquez</i>	
Redes DC Bipolares: Mejora en Redes de Distribución con Sistemas de Generación Distribuida	62
<i>R. S. Barroso, S. Pérez Litrán, E. Durán</i>	

Contribución Fuera de Sesión

Medio Ambiente y Planificación Urbana	66
<i>J.A. González Duque, P. Palencia García</i>	

Mensaje de Bienvenida

Las jornadas ScienCity nacieron hace tan solo un año con el claro compromiso de fomentar la cultura científica, tecnológica y de innovación en ‘Ciudades Inteligentes’. Para ello, el año pasado nos marcamos un objetivo muy alto reuniendo durante una semana a más de 20 expertos de 17 universidades, empresas públicas y privadas pertenecientes principalmente a la provincia de Huelva, pero también situadas en el marco nacional e internacional. Dichos expertos dieron a conocer las tecnologías emergentes siendo actualmente investigadas, así como informaron de ejemplos reales sobre experiencias, servicios e iniciativas puestas ya en marcha en nuestras ciudades.

Este año, hemos preparado un programa muy completo y ambicioso sobre Agricultura 4.0, Seguridad Vial, Comunicaciones de Datos, Gobernanza, Construcción, Turismo, Emprendimiento, Energía y Sostenibilidad del Planeta a lo largo de 3 días en el que se asistió a una sesión de pósteres, un taller de programación en Android, un concurso de IDEAS para jóvenes y 32 charlas de 21 instituciones distintas de Huelva, Sevilla, Córdoba, Granada, Badajoz, Madrid y Portugal.

Esperamos que la participación de universidades, empresas, entes públicos y privados sirva para suscitar el interés por la salud, el bienestar, el medio ambiente, la gobernanza, la ciberseguridad o el negocio, creando así oportunidades de investigación, desarrollo, transferencia y, en definitiva, de colaboración entre sociedad y universidad en el ámbito de las Ciudades Inteligentes.

Comité Organizador | ScienCity 2019

ScienCity 2019

Comité Organizador Local

Dr. Tomás de J. Mateo Sanguino, *Universidad de Huelva (UHU)*

D. Ramón Gómez González, *Universidad de Huelva (UHU)*

D. Manuel Roque González Pino, *Universidad de Huelva (UHU)*

D. José María Lacruz Pérez, *Universidad de Huelva (UHU)*

Comité Científico Internacional

Dra. Noélia Susana Costa Correia, *Universidade do Algarve (UALg)*

Dr. María Isabel García Arenas, *Universidad de Granada (UGR)*

Dr. Ismael Caballero Muñoz-Reja, *Universidad de Castilla La Mancha (UCM)*

Dr. Iñaki J. Fdez de Viana González, *Universidad de Huelva (UHU)*

Comité de Relaciones Empresariales

Dra. María del Carmen Sánchez Carrillo, *Universidad de Huelva (UHU)*

Dr. Manuel J. Redondo González, *Universidad de Huelva (UHU)*

Dr. Miguel Ángel Rodríguez Román, *Universidad de Huelva (UHU)*

D. José Manuel Lozano Domínguez, *Universidad de Huelva (UHU)*

Patrocinadores de ScienCity 2019

Universidad de Huelva
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y Automática
Cátedra AIQBE
Centro Científico-Tecnológico de Huelva
Departamento de Tecnologías de la Información
Diputación de Huelva
Gonzalo Clemente Ariza, Seguros Axa

TecnOlivo: Aplicación de Redes de Sensores en la Agricultura de Precisión

Borja Millán, Diego Tejada, Miguel Noguera, Arturo Aquino, Juan Manuel Ponce, José Manuel Andújar

Departamento de Ingeniería Electrónica, Sistemas Informáticos y Automática
Universidad de Huelva

La Rábida, Palos de la Frontera, 21819 Huelva

borja.millan@diesia.uhu.es, diego.tejada@diesia.uhu.es, miguel.noguera@diesia.uhu.es,
arturo.aquino@diesia.uhu.es, jmponce.real@diesia.uhu.es, andujar@diesia.uhu.es

Resumen- TecnOlivo es un proyecto de investigación que pretende generar una herramienta para los olivicultores basada en la agricultura de precisión. En los últimos años se está viviendo un fuerte cambio en las técnicas de cultivo del olivo, pasando de olivares extensivos sin riego a olivares super-intensivos con alta densidad de árboles por hectárea. Este nuevo paradigma de cultivo, que tiene como principales ventajas el aumento de la producción por superficie y la posibilidad de una mecanización más intensa, se ve especialmente beneficiada por la monitorización continua del cultivo, lo que permite optimizar los insumos, como el agua o los fertilizantes. La supervisión del estado del olivo se realiza mediante la aplicación de dos tecnologías: los sistemas aéreos pilotados remotamente y las redes de sensores inalámbricos. En este trabajo se describen los nodos y la red diseñada dentro del marco del proyecto para la estimación de las necesidades hídricas y monitorización de las condiciones ambientales.

Palabras Clave- Redes de sensores, Agricultura 4.0, Sigfox

I. INTRODUCCIÓN

La olivicultura juega un papel muy relevante en la Unión Europea, muy especialmente para España, Portugal, Italia y Grecia, donde se concentra el 48% de la superficie mundial dedicada a este cultivo [1]. Durante la última década, los Olivares tradicionales (con menos de 100 árboles · ha⁻¹) están siendo progresivamente sustituidos por olivares super intensivos (SI) [2], de hasta 2000 árboles · ha⁻¹, por las ventajas económicas que estos representan. Este tipo de configuraciones proporciona elevados rendimientos, pero requieren una precisa monitorización y gestión [3–5], además de maquinaria especializada [6]. El cultivo SI tienen altos requerimientos hídricos, por lo que la adopción de sistemas sostenibles de gestión del riego son de gran importancia en la actual situación de escasez de recursos [3, 7].

La supervisión continua de los parámetros ambientales es un factor clave para la monitorización del cultivo. Específicamente, la temperatura del aire y humedad de suelo son los factores de mayor importancia a la hora de determinar la producción [8, 9] y en el caso del olivo, esta relación es especialmente crítica en las fases de crecimiento del fruto y la maduración [10].

Una WSN está compuesta de múltiples dispositivos llamados nodo. Un nodo está compuesto por una placa con microcontrolador, un módulo de comunicación, una batería o cualquier otro sistema de alimentación y varios sensores. El nodo tiene tres funciones básicas: adquisición de datos mediante los sensores; procesado de la información y comunicación. Las WSN se aplican en la agricultura de

precisión para aumentar la eficiencia, productividad y rentabilidad [11]. Son cada vez más utilizadas en diferentes campos, incluyendo el riego [12], fertilización [13] y la gestión de invernaderos [14, 15].

La resolución temporal de la WSN puede ser ajustada incrementando la frecuencia de envío de mensajes, pero con el coste de aumentar el consumo y por lo tanto reducir la autonomía de los nodos [16]. Asimismo, la resolución espacial puede aumentarse mediante la adición de más nodos a la red. Para que esta modificación sea viable, se deben cumplir dos condiciones: el coste de cada uno de los dispositivos debe mantenerse tan bajo como sea posible y la red debe de ser flexible para permitir la adición de nuevos elementos de forma sencilla.

Como respuesta a la problemática presentada, TecnOlivo propone la aplicación de la agricultura de precisión en el ámbito de la olivicultura. El objetivo es el desarrollo de una plataforma tecnológica, autónoma y de fácil uso en campo que permita una gestión integral, ecológica y optimizada del olivar mediante la monitorización no invasiva y masiva de parámetros agronómicos clave. El sistema está compuesto por una plataforma aérea equipada con sensorica remota y una red de sensores inalámbrica (WSN) de bajo coste instalada en el propio olivar. Toda la información obtenida mediante la monitorización de los cultivos será presentada al olivicultor mediante aplicaciones web y de smartphones, de manera fácilmente interpretable mediante mapas ilustrativos. Este proyecto, coordinado por la Universidad de Huelva, está financiado por la primera convocatoria de proyectos INTERREG-POCTEP de cooperación interregional de la Unión Europea.

A continuación, se presentan las características de la red de sensores desarrollada para la monitorización del olivar y los experimentos realizados para evaluar su funcionamiento.

II. NODOS DE LA RED

A. Unidad de control

La unidad de control del nodo se ha diseñado utilizando como elemento principal la placa de desarrollo Arduino MKRFox1200. Esta placa presenta como características principales el bajo coste (<35€), módulo de comunicación con la red Sigfox con 1 año de suscripción incluido y el bajo consumo. Además, la programación se realiza con el entorno de desarrollo Arduino, existiendo multitud de librerías y comunidad de desarrollo, lo que acelera la implementación.

B. Sensores

Para los prototipos iniciales se han seleccionado dos tipos de sensores como prioritarios para su desarrollo, integración y testeo: sensor ambiental (temperatura, humedad relativa y presión atmosférica) y de humedad de suelo. Para medir los parámetros ambientales se ha utilizado un Bosch Sensortec BME280. Este sensor tiene bajo coste, pequeño tamaño, reducido consumo eléctrico y alta precisión. La conexión del sensor a la placa de desarrollo se realiza mediante el protocolo I²C, lo que permite el control de varios sensores esclavos por parte del controlador maestro, facilitando la ampliación si fuera necesario.

En cuanto a los sensores de suelo, al tratarse de una medida de especial interés agronómico, se ha evaluado la eficiencia de diferentes dispositivos mediante un experimento: Se han seleccionado muestras de tierra a las que se les ha retirado la humedad. Posteriormente se ha añadido un 10% (en peso) de agua destilada, y las mismas se han colocado sobre galgas, que permiten monitorizar su peso de forma continua, en el interior de una estufa a 40°C. De esta forma se puede evaluar la sensibilidad de los sensores a la variación del contenido de agua (que se está evaporando de forma continua) en las muestras y que es medida por la reducción de peso. En concreto se han evaluado 4 sensores, dos comerciales que tienen un coste en el rango de los 200-300€ (Decagon 5TE y 10HS) y dos de bajo coste (<10€, uno basado en medidas resistivas y otro de tipo capacitivo).

Los resultados de el experimento se pueden ver en la Fig. 1 donde se pueden comparar las R² de los diferentes sensores. El sensor capacitivo ha demostrado tener una buena sensibilidad (especialmente teniendo en cuenta su coste), por lo que es el seleccionado para ser instalado. El sensor resistivo, cuyo funcionamiento se basa en hacer circular una corriente a través de la tierra, resulta dañado (el cobre se corroe) en un corto periodo de tiempo, por lo que ha sido descartado.

C. Encapsulado

La protección de los distintos elementos que componen la red de sensores es de vital importancia ya que van a estar expuestos a los elementos y deben ser resistentes a las actividades propias de la explotación del olivar (como

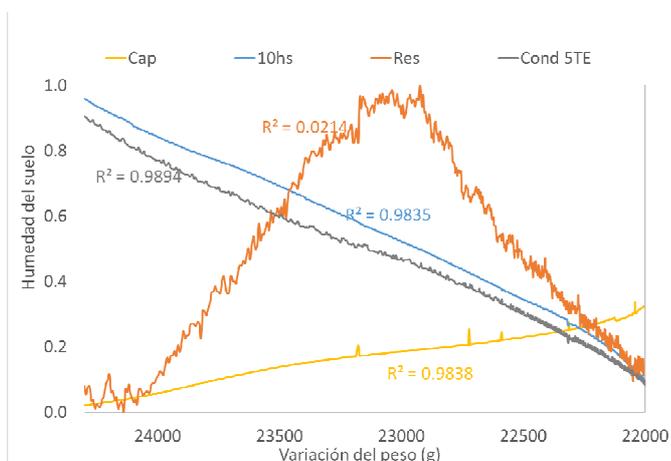


Fig. 1. Experimento de calibración de sensores de humedad de suelo. Se pueden observar las respuestas (normalizadas) de cuatro sensores a la variación de contenido de agua en una muestra de tierra

fumigación o poda). Se han diseñado buscando la reducción del mantenimiento al mínimo, siendo posible que este se realice por personal no cualificado. Es por ello que los módulos deben ser robustos y resistentes, pero al mismo tiempo, mantener un bajo costo.

Para el cuerpo principal se ha utilizado caja eléctrica de conexiones (con certificado IP66), al tratarse de un producto resistente, hermético y de coste reducido. Dentro del mismo se instala la unidad de control y las baterías. Los sensores se sitúan en el exterior, por lo que se han utilizado pasamuros para garantizar la estanqueidad del conjunto. Ni el sensor ambiental ni el de humedad de suelo de bajo coste incluyen una carcasa apropiada, por lo que se han diseñado unas específicas utilizando impresión 3d para su fabricación y resina epoxídica para su sellado.

D. Protocolo de comunicación

Sigfox utiliza una tecnología de “banda ultraestrecha” (UNB) sobre banda ISM con comunicación a una red propia que hace directamente accesible los datos en internet a través del *backend* de Sigfox. Al operar sobre red propia no es necesario contar con un *gateway*, que transfiera los datos a internet. La recepción de los datos y envío a los servidores es realizado por parte de Sigfox, por lo que se depende de la cobertura que ofrece la red (con el coste de suscripción asociado), pero al mismo tiempo, se simplifica el desarrollo e implantación.

La transferencia de la información entre los servidores de Sigfox y los de TecnOlivo se realiza mediante *callbacks*, que se generan cuando se reciben datos desde los sensores. Posteriormente esta información es procesada y se hace disponible al usuario.

III. EVALUACIÓN DE LOS SENSORES EN CONDICIONES REALES

La evaluación de los sensores se realizó en un olivar comercial de variedad Arbequina en Gibraleón (Huelva). El nodo se fija al tronco de un olivo con el sensor ambiental situado en una rama de la copa y el sensor de humedad de suelo enterrado a una profundidad de ~20 cm (Fig. 2).



Fig. 2. Nodo de la red de sensores instalado en un olivar intensivo. Los diferentes componentes (módulo principal, sensor ambiental y de humedad de suelo) se identifican con flechas

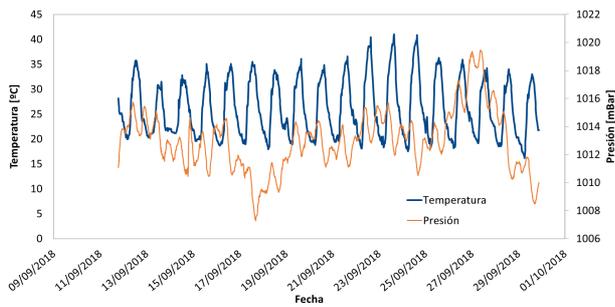


Fig. 3. Mediciones obtenidas por un nodo de la red de sensores a través de la red Sigfox. Se puede ver la variación de temperatura y humedad en el periodo mostrado, especialmente la diferencia entre día y noche

En la Fig 3 se pueden ver los datos recibidos por parte de el sensor ambiental a través de la red Sigfox para los valores de Temperatura y presión. Se puede observar claramente la variación en temperatura correspondiente a los ciclos de noche y día.

Uno de los objetivos principales que han de cumplir los nodos es el bajo consumo para disminuir el mantenimiento y el costo. Los nodos se alimentan mediante baterías AA, fácilmente reemplazables y el programa y la funcionalidad de los sensores se ha optimizado para lograr el menor consumo posible. Se han realizado una serie de tests para evaluar la autonomía, mediante análisis de los consumos durante las diferentes fases de operación (Fig. 4). El modo de espera es el de más bajo consumo ~10mA. La siguiente fase es la de medida de datos, en la que el consumo sube hasta 100mA. La duración de esta fase se ha reducido hasta los 5ms optimizar el gasto de energía. Posteriormente se realiza el envío de información, que se hace en dos paquetes para volver al modo de espera.

La duración de la batería se puede ajustar teniendo en cuenta no solo el consumo, sino también ajustando la frecuencia de envío de mensajes, así, con las baterías instaladas, se puede tener una autonomía de 125 días enviando mensajes cada 10 minutos, o ampliar hasta los 150 si se envían mensajes cada 2 horas.

IV. CONCLUSIONES

Se ha evaluado la funcionalidad del prototipo para la red de sensores y se ha comprobado la idoneidad del hardware seleccionado, tanto a nivel de su uso como herramienta de monitorización, como su adaptabilidad y facilidad de instalación y mantenimiento.

Se ha diseñado un experimento para evaluar la sensibilidad de distintos sensores de humedad de suelo con el fin de instalar el de mejor relación calidad/precio para la aplicación.

El bajo consumo conseguido en todas las fases (adquisición de datos, procesado, transmisión y reposo) resulta en una autonomía de los dispositivos de varios meses utilizando baterías comerciales. La utilización de esta fuente de alimentación ofrece la gran ventaja de su bajo coste de adquisición, facilidad de adquisición y son fácilmente sustituibles por personal no técnico.

La red de sensores desarrollada en el proyecto TecnOliveo es una herramienta de gran utilidad para el olivicultor, que permite optimizar los costes maximizando la calidad y cantidad de cosecha. Esta solución es especialmente

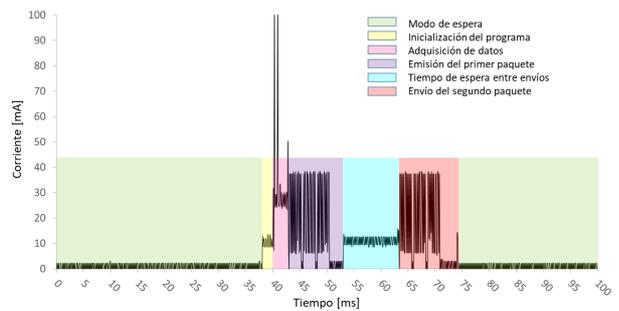


Fig. 4. Fases de consumo del nodo desarrollado para la red de sensores inalámbrica del proyecto TecnOliveo

importante en el actual escenario de cambio climático y escasez de recursos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el contexto del proyecto TecnOliveo, aprobado en la primera convocatoria del Programa Interreg V-A España - Portugal (POCTEP) 2014-2020, y cofinanciado con fondos FEDER. Borja Millán cuenta con un contrato Juan de la Cierva Formación financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (FJCI-2017-31824).

REFERENCIAS

- [1] A. Vibhute and S. K. Bodhe, "Applications of image processing in agriculture: a survey," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 52, no. 2, pp. 975–8887, 2012.
- [2] F. Duarte and N. Jones, "Traditional olive orchards on sloping land: Sustainability or abandonment?," *J. Environ. Manage.*, vol. 89, no. 2, pp. 86–98, Nov. 2008.
- [3] T. A. Paço *et al.*, "Evapotranspiration and crop coefficients for a super intensive olive orchard. An application of SIMDualKc and METRIC models using ground and satellite observations," *J. Hydrol.*, vol. 519, pp. 2067–2080, Nov. 2014.
- [4] G. Egea, A. Diaz-Espejo, and J. E. Fernández, "Soil moisture dynamics in a hedgerow olive orchard under well-watered and deficit irrigation regimes: Assessment, prediction and scenario analysis," *Agric. Water Manag.*, vol. 164, pp. 197–211, Jan. 2016.
- [5] J. E. Fernández *et al.*, "A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density," *Plant Soil*, vol. 372, no. 1–2, pp. 279–295, Nov. 2013.
- [6] J. M. Ponce, A. Aquino, B. Millán, and J. M. Andújar, "Olive-Fruit Mass and Size Estimation Using Image Analysis and Feature Modeling," *Sensors*, vol. 18, no. 9, p. 2930, Sep. 2018.
- [7] A. M. Tarquis and L. Rodríguez-Sinobas, "Soil and irrigation sustainability practices," *Agric. Water Manag.*, vol. 120, pp. 1–4, Mar. 2013.
- [8] J. R. Porter and M. A. Semenov, "Crop responses to climatic variation," *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, vol. 360, no. 1463, pp. 2021–35, Nov. 2005.
- [9] G. Bellocchi, M. Rivington, M. Donatelli, and K. Matthews, "Validation of biophysical models: issues and methodologies. A review," *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 30, no. 1, pp. 109–130, Mar. 2010.
- [10] C. Galán, H. García-Mozo, L. Vázquez, L. Ruiz, C. Díaz De La Guardia, and E. Domínguez-Vilches, "Modeling olive crop yield in Andalusia, Spain," *Agron. J.*, vol. 100, no. 1, pp. 98–104, 2008.
- [11] M. Srbinovska, C. Gavrovski, V. Dimcev, A. Krkoleva, and V. Borozan, "Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks," *J. Clean. Prod.*, vol. 88, pp. 297–307, Feb. 2015.
- [12] Y. Kim and R. G. Evans, "Software design for wireless sensor-based site-specific irrigation," *Comput. Electron. Agric.*, 2009.
- [13] J. A. López Riquelme, F. Soto, J. Suardíaz, P. Sánchez, A. Iborra, and J. A. Vera, "Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 68, no. 1, pp. 25–35, Aug. 2009.

- [14] T. Ahonen, R. Virrankoski, and M. Elmusrati, "Greenhouse monitoring with wireless sensor network," in *2008 IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications, MESA 2008*, 2008.
- [15] Y. E. M. Hamouda and B. H. Y. Elhabil, "Precision Agriculture for Greenhouses Using a Wireless Sensor Network," in *2017 Palestinian International Conference on Information and Communication Technology (PICICT)*, 2017, pp. 78–83.
- [16] T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuvanshi, "Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 118, pp. 66–84, Oct. 2015.

Auditoría y Certificación en Seguridad de Vehículos Autónomos y Conectados

T.J. Mateo Sanguino[†], J.M. Lozano Domínguez[†], P. de Carvalho Baptista[‡]

[†] Departamento de Ingeniería Electrónica, Sistemas Informáticos y Automática
Universidad de Huelva, Av. De las Artes s/n, 21007 Huelva, España

[‡] IN+ Center for Innovation, Technology and Policy Research, Instituto Superior Técnico, University of
Lisbon, Portugal

tomas.mateo@diesia.uhu.es, jose.lozano@diesia.uhu.es, patricia.baptista@tecnico.ulisboa.pt

Resumen- Los avances técnicos de los vehículos autónomos y conectados (CAV) brindan enormes ventajas a conductores y pasajeros al mejorar tanto funcionamiento como capacidades. Una gran parte de los sensores y dispositivos que los conectan a Internet, o entre sí, no tienen seguridad ni la posibilidad de agregarla. Los CAV aumentan su vulnerabilidad ya que son “redes sobre ruedas”, siendo esto ampliamente conocido y explotado por los ciberdelincuentes. La protección de datos y sistemas de posibles intrusiones externas es uno de los principales desafíos en la actualidad. Por tanto, la seguridad cibernética debe ser considerada por las empresas como una inversión y no como un gasto, especialmente teniendo en cuenta factores adicionales a la seguridad personal tales como el daño a la reputación o la confianza en la tecnología cuando se sufre una violación de datos. El cibercrimen como servicio (CaaS) podría generar pérdidas millonarias para la industria automotriz, justificando nuevos enfoques en materia de ciberseguridad. Para ello, se requieren soluciones de colaboración que superen la inversión en tiempo y dinero, así como cambios organizativos más amplios que deberían incluir toda la cadena de producción y la vida útil de los CAV.

Palabras Clave- auditoría; certificación; cibercrimen como servicio; vehículos autónomos conectados; seguridad

I. INTRODUCCIÓN

Los CAV han evolucionado significativamente desde los primeros sistemas básicos de estabilización dinámica de vehículos de los años 80 hasta opciones mucho más inteligentes implementadas actualmente. Algunos hitos tecnológicos al respecto han sido las primeras funciones del sistema e-Call desarrollado en 1996, la capacidad de diagnóstico remoto introducida en 2001, la introducción de un dispositivo de acceso a la red utilizado para obtener informes del estado del vehículo y ofrecer navegación paso a paso en 2003, la telemetría utilizada por Continental y la comunicación 4G/LTE con acceso WiFi incluidos por Audi, Volvo o General Motors desde 2014 [1]. Así por ejemplo, un vehículo moderno en 2015 (e.g., Ford GT) tenía en promedio más de 30 microprocesadores, 50 sensores, 6 buses CAN, 10 millones de líneas de código y 3000 señales diferentes que entregan el equivalente a 100 GB/hora de datos para implementar funciones críticas como navegación, asistencia durante el aparcamiento, control de cruceo adaptativo, visión nocturna, salida de carril, mitigación y evasión de colisiones, conducción automatizada en baja y alta velocidad o maniobras cooperativas, entre otras [2].

La conectividad inalámbrica a Internet y la ubicuidad de los teléfonos inteligentes están abriendo el camino para los automóviles conectados, considerado como el siguiente paso

hacia la conducción autónoma. En consecuencia, cuanto mayor sea la complejidad del vehículo a medida que aumentan sus funcionalidades, mayores serán los desafíos técnicos de los sistemas integrados. Las estrategias tradicionales de ciberseguridad heredadas de las redes de datos clásicas no son suficientes para salvaguardar los CAV, ya que además proteger la tecnología deben proteger a las personas (e.g., privacidad o fuga de datos personales). Todas las infracciones de seguridad de un vehículo y sus dispositivos personales asociados pueden abordarse fácilmente. Sin embargo, los fabricantes lo están haciendo lentamente o no lo están haciendo en absoluto. Las principales razones detrás de esto son la falta de conocimiento (i.e., los fabricantes de automóviles son nuevos en el manejo de amenazas de seguridad sobre hardware / software) y la falta de adaptabilidad (i.e., hardware, software y servicios están diseñados principalmente para cumplir con su funcionalidad). Como resultado, millones de automóviles en el mercado están siendo llamados debido a las vulnerabilidades y riesgos para la seguridad personal de sus conductores y pasajeros. Tales son los ejemplos sufridos por Jeep [3], grupo Volkswagen [4] y BMW [5].

Al referirse a la ciberseguridad, la investigación primaria incluye una literatura muy rica orientada principalmente a amenazas y ataques de seguridad, pero apenas se menciona la auditoría y certificación en ciberseguridad de la industria automotriz. La razón principal es que la ciberseguridad no se ha abordado suficientemente en ninguna de las normas sobre automoción anteriores como ISO 26262, la cual no ha sentado las bases para el desarrollo armonizado de este sector. También, por ejemplo, SAE J3061 se publicó tan solo recientemente en 2016 como el primer estándar de ciberseguridad para la industria de la automoción [6]. Por ello, la cuestión de investigación que este artículo pretende examinar es: cuáles son los intereses presentes pasados y futuros sobre ciberseguridad en vehículos autónomos y conectados. Más detalles sobre el trabajo y sus resultados pueden encontrarse en [7].

II. ESTADO DEL ARTE

El propósito de esta sección es presentar el estado actual de los estándares regulatorios en el área de ciberseguridad que pueden aplicarse a los CAVs, evaluar qué grupos internacionales están desarrollando estándares en combinación con organismos certificadores, así como

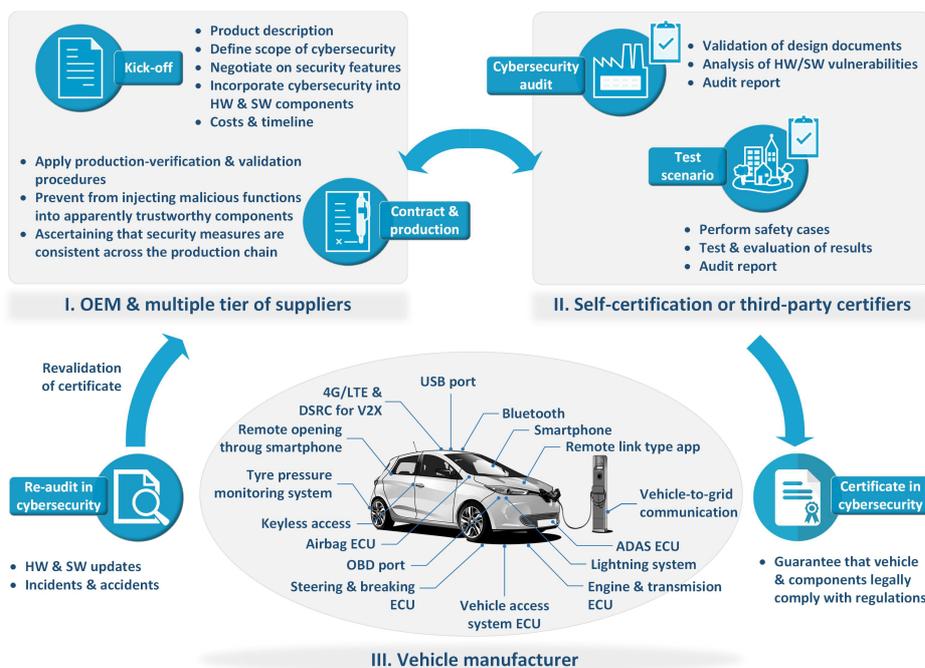


Fig 1. Tres pasos hacia la certificación y auditoría de ciberseguridad de la industria de la automoción

identificar qué herramientas se están utilizando para auditorías de ciberseguridad (ver Fig. 1).

A. *Certificación en Ciberseguridad*

La Organización Internacional de Estandarización (ISO) estableció el estándar ISO 26262 en 2011. El propósito de este estándar era proteger contra ataques en sistemas críticos de vehículos con una complejidad técnica creciente, como las diferentes unidades de control electrónico (ECU). Actualmente, las ECU admiten casi todas las funcionalidades de un vehículo, siendo puntos críticos en seguridad y protección. Para facilitar la comprensión de ISO 26262, la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) estableció una guía con recomendaciones sobre el diseño de sistemas de ciberseguridad a través del estándar SAE J3601™. SAE J3601™ cubre el diseño de sistemas de ciberseguridad a través de un proceso estructurado para garantizar el ciclo de vida de un producto (i.e., fase conceptual, desarrollo de software, hardware y sistema, producción, operación y servicio). Además, recomienda que cada producto desarrollado se analice con una serie de herramientas de ciberseguridad y se verifique que esté razonablemente libre de vulnerabilidades [8]. ISO & SAE también están

desarrollando actualmente un nuevo estándar destinado a extender la ciberseguridad de los vehículos en la carretera, llamado ISO/SAE 21434, que se publicará en 2020 [9].

Además de eso, hay organizaciones distribuidas por zonas geográficas responsables de establecer regulaciones y recomendaciones de ciberseguridad en sus áreas de acción. Los certificados pueden variar desde acreditaciones personales para ingenieros hasta certificados corporativos sobre todo el sistema del vehículo (i.e., hardware y software). En este sentido, existe una colaboración entre EEUU y Canadá para autocertificar los vehículos por parte de los fabricantes [10]. Para ello, los fabricantes de automóviles deben seguir las buenas prácticas propuestas por la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras (NHTSA) de EEUU [11]. En Europa y China, la industria debe certificar u homologar vehículos mediante pruebas físicas y virtuales en circuitos cerrados y vías públicas. Un ejemplo de certificación obligatoria es la marca electrónica (e-mark), para la cual terceras partes deben garantizar que un vehículo —y todos sus componentes— cumplen legalmente con las regulaciones relevantes de la Comisión Económica Europea para ser vendidos libremente en la UE. En la revisión realizada en 2018, se requieren

Tabla I
ORGANISMOS CERTIFICADORES EN ESTÁNDARES DE CIBERSEGURIDAD PARA VEHÍCULOS AUTÓNOMOS Y CONECTADOS

Organización	Certificaciones empresariales para fabricantes de vehículos	Certificaciones personales para ingenieros	Certificaciones adicionales en otras tecnologías relacionadas
SGS	e-mark (Europa)	No	No
TÜD SÜD	e-mark (Europa)	No	AI & aprendizaje automático en vehículos
CERTX	ISO 26262, ISO 21448 & ISO 21434	ISO 26262 & ISO 21448	No
Ernest & Young, GIGATRONIK, Code White	ISO 26262 & ISO 27001	No	No
DEKRA	e-mark (Europa), TCB (USA), FCB (Canadá), e-Call	No	Bluetooth SIG, ULE Alliance, Mirrolink, NFC, AllJoyn, LoRa, AirFuel & Sigfox
Bureau Veritas	ISO 2701	No	No
The Open Group consortium	ISO/IEC 20243	No	No

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DE HERRAMIENTAS PARA AUDITAR LA CIBERSEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS Y CONECTADOS

Nombre	Tipo de auditoría	Metodología	Técnica	Objetivo	Año
STRIDE	Análisis de amenazas y vulnerabilidades, evaluación de riesgos	No invasiva	-	Arquitectura del vehículo	2002
EVITA	Análisis de amenazas y vulnerabilidades, evaluación de riesgos	No invasiva	-	Comunicaciones V2V y V2I	2008
Peach	Pruebas de penetración	Invasiva	Fuzz test	Bus CAN	2013
HEAVENS	Análisis de amenazas y vulnerabilidades, evaluación de riesgos	No invasiva	-	Electrónica del vehículo	2016
CANSPY	Pruebas de penetración	Invasiva	Inyección y monitorización	Bus CAN	2016
PASTA	Pruebas de penetración	Invasiva	Monitorización	Bus CAN	2018
Can Fuzzer	Pruebas de penetración	Invasiva	Fuzz test	Bus CAN	2018
Attacks tree	Análisis de amenazas y vulnerabilidades, evaluación de riesgos	No invasiva	-	Arquitectura del vehículo	-

nuevos aspectos de seguridad para obtener este certificado como la necesidad de usar funciones seguras para acceder a los sistemas de diagnóstico en el vehículo (e.g., HTTPS, SSL/TLS o claves privadas) [12].

Finalmente, la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) está trabajando en un marco legal para tratar cómo los vehículos certificados se ven afectados por las actualizaciones de software que pueden realizar los fabricantes. De acuerdo con esto, los fabricantes de automóviles deben indicar e iniciar un proceso con una entidad autorizada para extender o generar una nueva certificación que refleje cualquier cambio producido [13]. La Tabla 1 resume los principales organismos de certificación existentes en este campo.

B. Auditoría en Ciberseguridad

Antes de recibir un certificado de ciberseguridad de un organismo certificador como los mencionados anteriormente para los fabricantes de automóviles, los sistemas del vehículo deben ser auditados. Este proceso consiste en analizar que la producción del vehículo ha cumplido con las indicaciones del estándar y que los vehículos no presentan vulnerabilidades razonables. Para realizar una auditoría centrada en la ciberseguridad del vehículo, J3061™ recomienda dividir el procedimiento en dos aspectos principales: *i)* análisis de amenazas, evaluación de riesgos y análisis de vulnerabilidad; y *ii)* métodos de prueba basados en penetración [14]. Como resumen, la Tabla 2 enumera las características principales de varias herramientas utilizadas para la auditoría de vehículos.

III. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Un análisis bibliométrico exhaustivo y sistemático fue llevado a cabo considerando el servicio de indexación y de resúmenes en línea proporcionado por Scopus®. El rango de

búsqueda considerado en el estudio se centró en el período comprendido entre 1989 y 2018. Las publicaciones se recopilaron para comparar períodos anuales completos (por tanto, se descartó 2019), se filtraron para evitar el mal uso de términos pertenecientes a otras disciplinas (i.e., acrónimos con varios significados) y luego se procesaron usando hojas de cálculo para ordenar los resultados.

A. Evolución de la Ciberseguridad

La muestra analizada en este trabajo incluyó 2238 manuscritos dentro de la categoría de “vehículos autónomos y conectados”, 768 para “comunicación V2X”, 235 para “seguridad cibernética en CAV” y 8 para “auditoría y certificación en CAV”. Estos valores se mostraron en la Figura 2 junto con los hitos tecnológicos más importantes en torno a los CAV. El análisis resultó en una producción científica con el 64,8% de los artículos publicados en “vehículos autónomos y conectados”, el 24,11% de los artículos sobre “comunicación V2X”, el 7,16% sobre “seguridad cibernética en CAV” y el 0,24% sobre “auditoría y certificación en CAV” (ver Tabla 3). El estudio sugiere que las amenazas y vulnerabilidades de ciberseguridad están significativamente relacionadas con las tecnologías de comunicación y, en consecuencia, con los CAVs.

Un análisis de las publicaciones por territorio centrado específicamente en la ciberseguridad en CAVs (ver Fig. 3) muestra una actividad significativa principalmente en América del Norte (38,49%) y Europa (35,84%) seguido de Asia (19,91%), y América del Sur, África y Oceanía en menor medida (5,75%). Además, se realizó un estudio sobre los países más productivos y su relación. Con este fin, VOSviewer fue elegida como herramienta software para crear, visualizar y explorar mapas de datos basados en red [15]. Los resultados se resumen en la Tabla 4 y la Figura 4

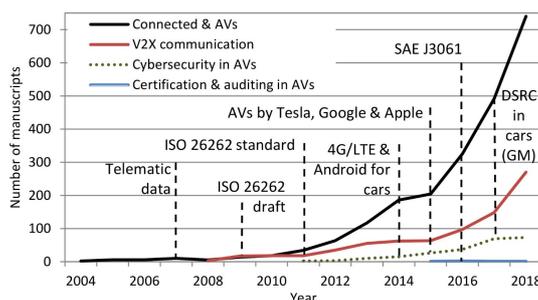


Fig 2. Evolución bibliográfica de los principales aspectos sobre seguridad en vehículos autónomos y conectados

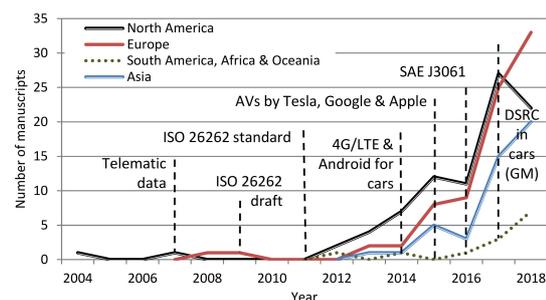


Fig 3. Evolución bibliográfica de las contribuciones por territorio en ciberseguridad en vehículos autónomos y conectados

TABLA III
PAÍSES MÁS PRODUCTIVOS EN CIBERSEGURIDAD ENTRE 2004-2018

RP	País	MP	MP (%)	CA	IC	CR	CR (%)	Año Pub. Promedio
1	USA	84	33,6	25	12	361	54,69	2016
2	UK	27	10,8	6	4	88	13,33	2016
3	China	20	8,0	13	13	30	4,54	2017
4	Alemania	15	6,0	15	6	18	2,72	2017
5	Austria	11	4,4	5	5	51	7,72	2016
6	India	10	4,0	8	4	7	1,06	2017
7	Japón	8	3,2	6	2	10	0,90	2016
8	Francia	8	3,2	11	9	6	1,51	2017
9	Singapur	7	2,8	4	2	11	1,66	2017
10	Corea del Sur	7	2,8	3	3	6	0,90	2016

RP: posición; MP: manuscritos publicados; CA: Fortaleza en la coautoría con otros investigadores; IC: colaboraciones internacionales; CR: citas recibidas

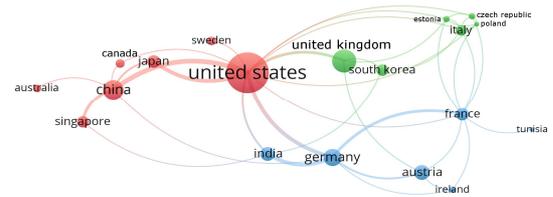


Fig 4. Cooperación entre países basada en la coautoría de publicaciones de 2004 a 2018

para los cuales se utilizaron archivos de sinónimos y la técnica de agrupamiento Lin-Log para filtrar inconsistencias sobre un total de 38 países. Los resultados sugieren que Estados Unidos ha sido el país más productivo considerando el primer año de publicación (2004), número de manuscritos (33,6%), fortaleza en la coautoría con otros investigadores (25), número de colaboraciones con otros países (12) y el total de citas recibidas (54,69%). El estudio también confirmó la tradición y la estrecha cooperación entre estos territorios desde 2004 hasta 2018.

Un análisis sobre la contribución científica de las organizaciones en ciberseguridad de vehículos autónomos y conectados encontró que las universidades llevaron a cabo una investigación más significativa y constante que las otras organizaciones (ver Fig. 5 y Fig. 6). Este estudio muestra el liderazgo de las universidades (63,50%) sobre las empresas privadas (22,28%) y otros centros de investigación (14,20%). Un análisis de la correlación bibliográfica encontró una relación significativa en la investigación realizada entre 2004 y 2018, lo que confirma la estrecha cooperación entre las diferentes organizaciones.

B. Palabras Clave en Ciberseguridad

En la Figura 7 y la Figura 8 se muestra un análisis comparativo en profundidad sobre la coincidencia de las palabras clave entre las publicaciones sobre “ciberseguridad en CAV” vs “certificación y auditoría en CAV”. La frecuencia con la que aparecen los términos nos permite evaluar el peso de la investigación en estos campos. La visualización en la red de la Figura 7 corresponde a los 40 términos más populares sobre un total de 1666 palabras clave indexadas por autores y editores dentro de 234 manuscritos. Por otro lado, la visualización de la Figura 8 corresponde a los 40 términos más populares en 8 manuscritos.

Por un lado, la investigación sobre ciberseguridad en

CAVs se desplazó desde los sistemas de control, sistemas de seguridad, seguridad de datos y gestión de riesgos en 2016 a la seguridad de la red, sistemas de detección de intrusos, vehículos autónomos, comunicación V2V e Internet de las cosas (IoT) en 2018. Por otro, la investigación sobre auditoría y certificación en CAVs se centró principalmente en ingeniería de costes, certificación de seguridad, software adaptativo, fusión de datos en 2012, mientras que los sistemas integrados distribuidos, sistemas colaborativos, monitoreo de condiciones, sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) y homologación fueron los términos clave durante 2017 y 2018, respectivamente.

IV. DISCUSIÓN EN CIBERSEGURIDAD

Los CAVs pueden aportar numerosos beneficios como la mejora de la eficiencia energética y del sistema de transporte. Aunque una regulación muy restrictiva podría ralentizar su desarrollo y despliegue en el mundo real, es necesario proporcionar un marco legal —buscando el equilibrio— que evite que la seguridad sea sacrificada por los intereses comerciales. La realidad es que existe el peligro de presentar vehículos con funcionalidades atractivas antes de pensar en todas sus implicaciones con la certeza de que la seguridad absoluta no existe. El hecho es que la mayoría de los automóviles usan componentes basados en hardware y software antiguo desarrollado hace años y con fallos básicos inherentes al diseño, por lo que los errores y vulnerabilidades se transfieren a las nuevas generaciones de vehículos. Esto requeriría procesos de re-auditoría y re-certificación para enfrentar situaciones en las que, por ejemplo, se modifica una línea de código produciendo esencialmente un nuevo vehículo como resultado de una actualización de software [16].

Los hackers siempre encuentran nuevas formas de violar los sistemas, destacando que las prácticas de seguridad

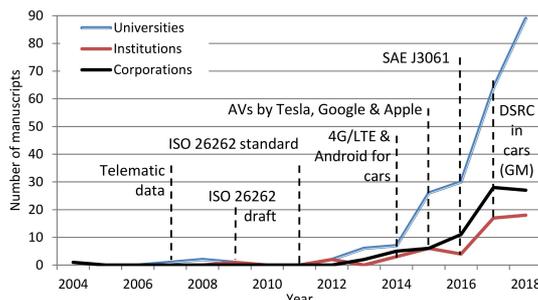


Fig 5. Evolución bibliográfica de las contribuciones por organización en ciberseguridad de CAVs

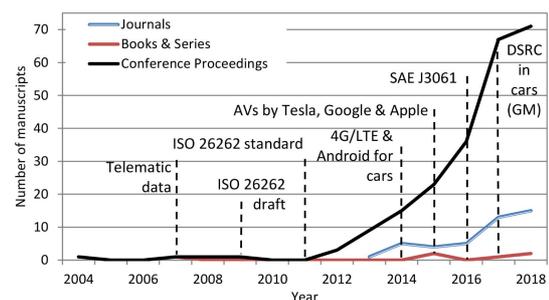


Fig 6. Evolución bibliográfica de las contribuciones por tipo de fuente en ciberseguridad de CAVs

actuales son débiles e insuficientes. Un programador típico comete entre 10-30 errores por cada 1,000 líneas de código según estudios, lo que resulta en un número significativo de vulnerabilidades de ciberseguridad [17]. Las pruebas más comunes solo detectan las infracciones más fáciles de encontrar y los hackers lo saben. Sin embargo, ellos tienen la motivación y el tiempo suficiente para evaluar todos los casos, incluidos los más atípicos. La principal preocupación para los fabricantes de automóviles hasta hace poco era cómo minimizar las vulnerabilidades en la arquitectura del vehículo. Este ha sido el juego para muchos aficionados, hacktivistas, investigadores y entusiastas a lo largo del mundo que han jugado manipulando el software del vehículo (e.g., para alterar sus prestaciones). Sin embargo, la opinión de los fabricantes con respecto a los hackers profesionales es bastante diferente, especialmente si nuestras vidas dependen de ello. Sus amenazas pueden variar desde desactivar las funciones del vehículo (e.g., piratear los frenos del automóvil simplemente enviando un SMS a los sistemas de acceso de la ECU) hasta bloquear el arranque del vehículo y luego exigir un pago para desbloquearlo (i.e., ransomware). En consecuencia, la preocupación actual por la seguridad debería también dirigirse hacia soluciones de protección contra intrusos dentro de la propia red del vehículo. Por tanto, los fabricantes deberían pensar en soluciones similares a las redes tradicionales. Esto puede incluir enfoques de varias capas basadas en cortafuegos, sistemas de detección de intrusos / sistema de protección contra intrusos (IDS/IPS) e incluso antivirus típicos o copias de seguridad en la nube para prevenir, detectar y responder a ataques en tiempo real en vehículos [18].

El escenario más preocupante es una actividad creciente en torno al cibercrimen como servicio (CaaS), a través de la cual los delincuentes han cambiado el panorama tradicional de la industria en los últimos años. La principal motivación detrás de los atacantes es la económica, correspondiendo sus acciones con el cibercrimen (77,40%), el ciberespionaje (14,50%), el hacktivismo (4,70%) y la guerra cibernética (3,40%). Según un informe sobre la actividad en el año 2017, la atención del CaaS se dirigió principalmente a los Estados Unidos (23%), Europa (19%) y China (9%) sobre otros territorios [19]. Pero sin duda, lo que hace que el CaaS sea la mayor amenaza es que los perpetradores cometen delitos cibernéticos con fácil acceso a kits de herramientas sofisticadas de bajo coste con impunidad y pocas habilidades técnicas. Es decir, los atacantes ya no necesitan confiar en sus propias habilidades para cometer delitos cibernéticos

[20]. Es cuestión de tiempo que la atención se dirija a la industria automotriz, tanto consumidores como fabricantes, incluidos modelos específicos de automóviles, empresas de alquiler, flotas corporativas o competidores extranjeros [21]. En este sentido, las pérdidas millonarias para los fabricantes de automóviles podrían ser significativas, cuyo costo por hora de inactividad es alrededor de 22,000 \$ además del daño a la reputación [22].

Dado que la industria automotriz tiene una sólida historia en la mejora de la seguridad personal contra accidentes de manera colaborativa, esta filosofía de trabajo debería extenderse a la implementación de estándares de ciberseguridad en vehículos para reducir el riesgo de seguridad. Esto incluye compartir información para facilitar respuestas rápidas a nuevas amenazas (e.g., inteligencia sobre vulnerabilidades y ataques), así como adoptar las mejores prácticas ya aprendidas y enfrentadas por otros campos tales como en infraestructuras críticas, ferrocarriles o la industria de la aviación [23]. Esto significa no solo aplicar enfoques tradicionales basados en soluciones de redes tradicionales en torno a la autenticación, encriptación e integridad, sino también integrar los procesos de certificación y auditoría a intervalos apropiados como una rueda de seguridad. Dichas soluciones van desde aprender a negociar sobre las características de ciberseguridad de los componentes hasta verificar que las medidas de seguridad se hayan implementado de manera consistente en toda la cadena de producción (i.e., procedimientos de verificación y validación de la producción). Por tanto, los procedimientos de calificación deberían extenderse a productos de terceros y otros proveedores para incorporar el aspecto de ciberseguridad en hardware y software, y evitar la inyección de funciones maliciosas en componentes aparentemente confiables, como en la clonación de circuitos integrados, introducidos en primeras etapas de producción [24]. Desde el punto de vista del fabricante de automóviles, aplicar este enfoque antes de llegar a la cadena de suministro tiene el beneficio de evitar costes adicionales, complejidad o incluso peso como resultado de las correcciones de seguridad implementadas como medidas de autoprotección durante la etapa posterior a la venta (e.g., actualizaciones OTA parcialmente ofrecidas a vehículos para partes limitadas del software). Diseñado como un proceso auditable y certificable, permitiría a los fabricantes de automóviles obtener control, transparencia y confianza en la ciberseguridad favoreciendo la transición hacia los CAVs (ver Fig. 1).

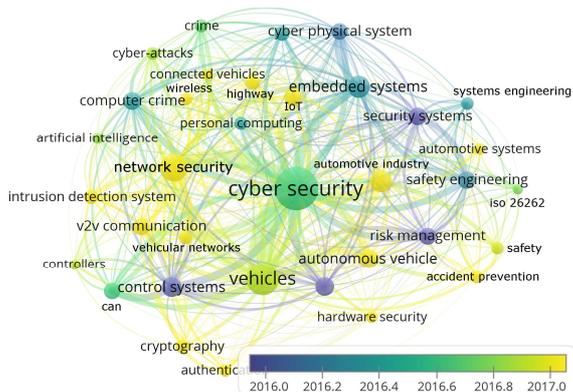


Fig 7. Co-ocurrencia de palabras claves en publicaciones sobre ciberseguridad en CAVs

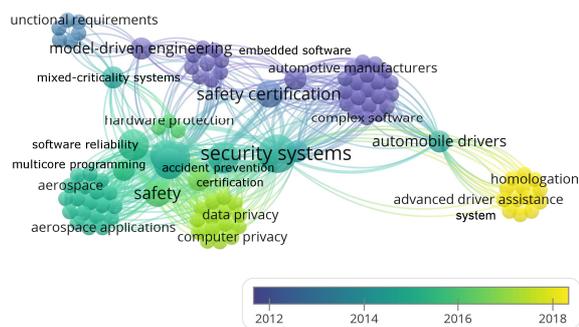


Fig 8. Co-ocurrencia de las palabras claves en publicaciones sobre auditoría y certificación en CAVs

CONCLUSIONES

Los nuevos avances logrados en la industria automotriz en torno a los CAVs permiten ofrecer a los usuarios una mejor experiencia, así como crear nuevos paradigmas y servicios relacionados con la movilidad y el transporte. Tanto la industria como los gobiernos de todo el mundo están trabajando intensamente en soluciones de ciberseguridad para evitar que los ciberdelincuentes interesados en beneficiarse o causar daños a los usuarios puedan acceder y explotar los vehículos. Con este fin, diferentes organismos como ISO y SAE están desarrollando estándares para ofrecer recomendaciones y buenas prácticas para hacer autos seguros y resistentes. Con este objetivo, los gobiernos están exigiendo a los fabricantes de vehículos que certifiquen sus vehículos a través de certificados propios o de terceros. La búsqueda de automóviles seguros y resistentes es fundamental para brindar confianza al consumidor en este innovador concepto de vehículos autónomos y conectados. La asociación de ataques cibernéticos a los CAVs puede dificultar la aceptación y la adopción de esta solución por parte de los consumidores, lo que justifica las inversiones de la industria automotriz desde una etapa temprana.

A partir de la revisión del estado del arte, se puede afirmar que las certificaciones y auditorías basadas en estándares y regulaciones desarrolladas en ciberseguridad para los CAVs es un campo en aumento. La contribución de la ciberseguridad en los vehículos desde 1989 a 2018 representa el 7,16% del total de publicaciones, mientras que las relacionadas con la auditoría y certificación de vehículos representan el 0,24%. La mayor actividad observada en la última década en comparación con los primeros años coincide con la inclusión de los sistemas de datos telemáticos en los vehículos, la aprobación de las normas ISO y SAE, las tecnologías de acceso basadas en Internet (e.g., 4G/LTE o DSRC), así como los anuncios de varias compañías como Tesla, Google y Apple que trabajan en CAVs. Como resultado de la revisión, se identificó que una mayor cantidad de publicaciones estaba firmada principalmente por universidades (63,50%) en comparación con empresas privadas (22,28%) y otros centros de investigación (14,20%). Teniendo en cuenta la ubicación geográfica, la actividad se centró principalmente en América del Norte y Europa (38,49% y 35,84%).

Por último, la industria automotriz puede ser un objetivo para el CaaS en el futuro cercano, el cual utiliza los ataques cibernéticos para explotar las vulnerabilidades de los CAV. Los ataques podrían estar destinados a deshabilitar o bloquear las funcionalidades de los vehículos para ganar dinero después de restaurar el sistema o con el fin de dañar la imagen pública de empresas y países. Estas vulnerabilidades generalmente son causadas por fallos de programación o por el uso de hardware y software heredado, que tienen vulnerabilidades bien conocidas por los piratas informáticos. Para evitar estas infracciones de seguridad, los fabricantes de vehículos deben comprender el esfuerzo de proporcionar seguridad cibernética como una inversión en tiempo y dinero. También deben actuar contra las amenazas en forma de consorcios en lugar de empresas aisladas, como lo han hecho tradicionalmente las infraestructuras críticas, las industrias ferroviarias o de aviación. Los consorcios no solo deberían incluir a los fabricantes de vehículos, sino también a los proveedores de los fabricantes para garantizar la

ciberseguridad en todos los componentes del vehículo y en toda la cadena de fabricación. Siguiendo esta forma de trabajo, se puede diseñar un mecanismo auditable y certificado para aumentar el control, la transparencia y la confianza en la seguridad cibernética a lo largo de la vida útil del automóvil, lo que facilita la transición de los vehículos tradicionales a los CAVs.

REFERENCIAS

- [1] British Columbia Freedom of Information and Privacy Association (FIPA), 2015. The Connected Car: Who is in the Driver's Seat? Technical Report.
- [2] Frost & Sullivan, 2017. Vehicle-to-Everything Technologies for Connected Cars. DSRC and Cellular Technologies Drive Opportunities. Technical Report, D7BA-TV.
- [3] Miller, C., Valasek, C., 2015. Remote Exploitation of an Unaltered Passenger Vehicle. Technical Report.
- [4] Garcia, F.D., Oswald, D., Kasper, T., Pavlidès, P., 2016. Lock It and Still Lose It - on the (In)Security of Automotive Remote Keyless Entry System. In: Proceedings 25th of the USENIX Security Symposium.
- [5] Keen Security Lab, 2018. Experimental Security Assessment of BMW Cars: A Summary Report. Technical Report.
- [6] Schmittner, C., Ma, Z., Reyes, C., et al., 2016. Using SAE J3061 for Automotive Security Requirement Engineering. International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security, pp. 157–170.
- [7] Mateo Sanguino, T.J., Lozano Domínguez, J.M., Carvalho Baptista, P. Cybersecurity Certification & Auditing of Automotive Industry. Advances in Transport Policy and Planning, Elsevier. In press, 2020.
- [8] SAE International, 2016. J3061 Cybersecurity guidebook for cyber-physical vehicles systems. Technical Report.
- [9] Barber A., 2018. Status of Work in Process on ISO/SAE 21434 Automotive Cybersecurity Standard. Technical Report.
- [10] Transport Canada, 2019. Canada's safety framework for automated and connected vehicles. Technical Report.
- [11] National Highway Traffic Safety Administration, 2016. Cybersecurity best practices for modern vehicles. Technical Report.
- [12] European Commission, 2018. Regulation of the European parliament and of the council on the approval and market surveillance of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, amending regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009 and repealing Directive 2007/46/EC. Technical Report.
- [13] United Nations, 2019b. Draft Recommendation on Software Updates of the Task Force on Cyber Security and Over-the-air issue. Document ID: ECE/TRANS/WP.29/GRVA/2019/3. Technical Report.
- [14] Boran, L., Ward, D., Mira, H., Czerny, B.J., 2016. Overview of recommended practice - SAE J3061™. Cybersecurity guidebook for cyber-physical vehicle systems. Technical Report.
- [15] Van Eck, N.J., Waltman, L., 2014. Visualizing bibliometric networks. Measuring scholarly impact: Methods and practice, pp. 285–320.
- [16] Gowling WLG, 2017. Connected and Autonomous Vehicles: a Hacker's Delight? Technical Report, pp. 1–17.
- [17] Jansen, P., 2018. The TIOBE Quality Indicator - A pragmatic way of measuring code quality. TIOBE, Technical Report, pp. 1–16.
- [18] Automotive World, 2018. Special report: How do you secure the autonomous vehicle? Technical Report, pp. 1–30.
- [19] Ernst & Young, 2018. Confronting the new-age cyber-criminal: Disrupting the web of crime. Technical Report, pp. 1–25.
- [20] IBM, 2017. Ransomware Response Guide - IBM Incident Response Services, Technical Report, pp. 1–20.
- [21] Brown, D. A., Cooper, G., Gilvarry, I., Rajan, A., Tatourian, A., Venugopalan, R., Wheeler, D., Zhao, M. Automotive Security Best Practices. Intel Security, White paper, pp. 1-16.
- [22] Acronis, 2018. Technology Solutions: Friend or Foe to the Auto Industry? Technical Report, pp. 1–2.
- [23] Lanctot, R. 2018. Argus Helps Automakers Answer the Global Call for Automotive Cybersecurity Regulation. Automotive Multimedia and Communications, pp. 1–25.
- [24] Goldberg, J. 2018. Traditional IT Cyber Security vs. Automotive Cyber Security Explained. GuardKnox Executive Summary, pp. 1-2.

Detección de Vehículos en Pasos de Peatones Inteligentes Mediante Machine Learning

José Manuel Lozano Domínguez¹, Faroq Al-Tam², Noelia Correia², Tomás de J. Mateo Sanguino¹

¹ Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y Automática

Universidad de Huelva

Av. De las Artes s/n, 21007 Huelva, España

² Centro de Electrónica, Optoelectrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Ciencias y Tecnología

Universidad del Algarve

Faro 8005-139, Portugal

jose.lozano@diesia.uhu.es, ftam@ualg.pt, ncorreia@ualg.pt, tomas.mateo@diesia.uhu.es

Resumen- En España durante el año 2018 se produjeron 3.338 atropellos cuando el peatón cruzaba por el lugar adecuado de la calzada. Anteriormente se desarrolló un sistema de señalización vial inteligente que permitía reducir la siniestralidad en los pasos de peatones. Con el objetivo de independizar la detección de vehículos de la ubicación, se ha estudiado el uso de técnicas de machine learning para sustituir a las técnicas de lógica difusa anteriormente utilizadas. Era necesario calibrar la lógica difusa para detectar vehículos en función de la ubicación del sistema. Mediante el uso de técnicas de machine learning se ha conseguido independizar la detección de vehículos de la ubicación del sistema. Siendo la técnica de red neuronal long short-term memory, aquella que mejores resultados ha ofrecido de las diversas técnicas empleadas, ofreciendo una tasa de acierto del 97,87%, una tasa de verdaderos positivos del 96,26% y una exactitud del 99,41%.

Palabras Clave- Smart Cities, Vehículos, Paso de Peatones, Machine Learning, Accidentes de tráfico

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente las ciudades inteligentes están comenzando a ser una realidad gracias al apoyo de las tecnologías de la comunicación, las tecnologías de la información, así como al Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things en inglés), ofreciendo la combinación de estas tecnologías nuevos servicios a las ciudades inteligentes como son gestión energética, gestión del tráfico, así como el análisis de fenómenos atmosféricos entre otros servicios [1]. Para la gestión del tráfico en las ciudades inteligentes se están empleando actualmente técnicas de aprendizaje automático o machine learning. Un ejemplo es el recogido en [2] que consiste en un predictor de tráfico para conocer a que horas del día pueden producirse atascos en los semáforos. Otros autores utilizan técnicas de aprendizaje automático para optimizar y gestionar los servicios de transporte de las futuras ciudades [3]. Otras propuestas proponen utilizar los datos obtenidos por diversas fuentes (cámaras, smartphones, etc.) para detectar mediante técnicas de aprendizaje automático cuando se produce un atasco y poder o bien generar nuevas rutas optimizadas para llegar al destino o bien alertar a los conductores para que estos tomen una vía alternativa, a su destino [4 - 6].

Como puede observarse en el párrafo anterior, en relación a la gestión y predicción de atascos existen diversas soluciones, mientras que no se encuentran muchas aplicaciones de gestión de tráfico a un aspecto fundamental

como es la reducción de la siniestralidad entorno a pasos de peatones para conseguir que las ciudades inteligentes sean lugares seguros y habitables para los seres humanos [7], siendo el número actual de accidentes entorno a pasos de peatones en vías urbanas en España para el año 2018 de 13.545, de los cuales un total de 3.338 peatones –24,65% de los peatones involucrados en accidentes– han sido atropellado cuando cruzaban la calzada por el lugar habilitado para ello [8].

Con el objetivo de contribuir a la reducción de la siniestralidad entorno a los pasos de peatones se desarrolló y patentó un sistema de señalización vial inteligente con capacidad para discernir entre vehículos y peatones [9]. Dicho sistema incluía un clasificador difuso que le permitía realizar fusión sensorial a partir de los sensores que componían al sistema, siendo estos sensores, sensores de ultrasonidos orientados a la detección de los elementos que puedan estar cruzando el paso de peatones, sensores magnéticos y sensores RADARs orientados a detectar los vehículos que se aproximan al paso de peatones, ofreciendo dicho clasificador difuso una tasa de acierto del 94,64% y una exactitud del 100%. Este tipo de clasificador difuso ofrece una desventaja importante. Dicha desventaja es la necesidad de ajustes de las etiquetas difusas en función de la colocación del sistema en un punto de la vía pública u otro, debido a que dichas etiquetas se veían seriamente alteradas, especialmente las etiquetas relacionadas con el campo magnético, debido normalmente a la presencia de cables de suministro eléctrico, tuberías y otros elementos ferromagnéticos que pueden encontrarse en la vía pública, siendo estas etiquetas utilizadas principalmente para la detección de vehículos que se aproximan a un paso de cebra o que están estacionados sobre un paso de peatones.

La solución propuesta mediante este documento persigue: (1) utilizar técnicas de aprendizaje automático para crear un modelo que permita detectar los vehículos que se aproximan o que estacionan sobre un paso de peatones sin la necesidad de tener que reajustar las etiquetas del sistema difuso en función de la ubicación del sistema y/o fecha del año; (2) permitir que el sistema pueda ser instalado en cualquier lugar sin la necesidad de ajustar las etiquetas del controlador difuso. Para ello el documento ha sido estructurado como sigue: Sección 2 descripción del procedimiento utilizado para tomar los datos, descripción de los datos obtenidos y descripción de los métodos de machine learning utilizados

para clasificación. Sección 3 muestra la experimentación llevada a cabo y sus resultados. Finalmente, Sección 4 recoge las conclusiones obtenidas, así como los trabajos futuros de las técnicas propuestas.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Para llevar a cabo esta investigación, se partió como se comentó anteriormente de un prototipo desarrollado con antelación. Dicho sistema tenía la capacidad de clasificar los elementos que se aproximaban al paso de peatones como “Peatones” o como “Vehículos”, así como existía una clase “reposo” para cuando no existía ningún elemento en la proximidad de paso de peatones. Este documento persigue exponer el procedimiento seguido para sustituir las técnicas de lógica difusa por técnicas de aprendizaje automático que evite tener que recalibrar las etiquetas difusas para detectar vehículos en cada ubicación.

A. Descripción de la estructura del conjunto de datos

Para optimizar la detección de vehículos sin necesidad de calibrar las etiquetas del controlador difuso, lo primero es conocer el tipo de datos y como son los datos con los que trabaja el sistema anterior (Tabla 1). Los datos ofrecidos por el sensor de ultrasonido indican a que distancia se encuentra el elemento que se encuentra sobre el paso de peatones, teniendo un rango de medida desde los 60 cm hasta los 5 metros; los datos ofrecidos por el sensor magnético son los valores del campo magnético terrestre en cada momento, cuando un vehículo se acerca este dato se altera frente al valor en reposo, ofreciendo dicho sensor los valores para los ejes X, Y y Z, el valor viene representado en complemento a dos con enteros de 16 bits. Por último, el sensor RADAR ofrece medidas en función de la velocidad del objeto percibido, así como el RADAR ofrece también un valor dimensionado entre 0 – 1 en función de la potencia reflejada por el objeto que se aproxima al paso de peatones. Los datos recogidos en el campo Etiqueta de clase tomará el valor 0 cuando no existe ningún elemento perturbador en las cercanías del paso de peatones (clase *reposo*) y el valor 1 cuando el elemento perturbador es un vehículo (clase *vehículo*).

El primer tratamiento al que se someten los datos es la etiquetación de manera adecuada, asignando a cada tupla de datos el valor de 0 representando a la clase *reposo* y el valor de 1 representando a la clase *vehículo* en función de lo percibido en cada instante de tiempo por el sistema, así como es necesario eliminar aquellas tuplas incompletas. Posteriormente, se sigue un procedimiento de normalización de los datos que permite establecer de los campos entre los valores 0 y 1, para ello se ha utilizado el método de normalización Min-Max [10], el resultado puede observarse en la Tabla I observando la columna “Valor normalizado”.

Finalmente, en este punto se conoce el número total de datos que componen el conjunto de datos. El total de datos disponibles es de 86.960 datos. Observando la agrupación de los datos en función de la clase anteriormente asignada se determina que los datos estaban claramente desbalanceados, siendo los datos que representaban a la clase *reposo* un total de 80.915 (93,05% del total de datos), mientras que la clase *vehículo* estaba representada por un total de 6.045 datos (6,95% del total de datos). El siguiente paso es balancear los datos para que el aprendizaje sea lo más homogéneo posible,

Tabla I
TIPO DE DATOS DEL DATASET

Campo	Valor	Valor normalizado
Distancia local	60 – 500	0 – 1
Magnético X	-32.768 – 32.767	0 – 1
Magnético Y	-32.768 – 32.767	0 – 1
Magnético Z	-32.768 – 32.767	0 – 1
Voltaje RADAR	0 – 1	0 – 1
Velocidad RADAR	0 – infinito	0 – infinito
Etiqueta de clase	0 – 1	0 – 1

para ello se ha utilizado la herramienta NearMiss de la librería *imbalanced-learn* de Python [11]. Una vez aplicada dicha técnica, el conjunto de datos sigue una distribución balanceada, siendo la distribución para la clase *reposo* un total de 6.362 y para *vehículo* de 6.045 (51,27% y 48,73%, respectivamente) como puede observarse en la Fig. 1, siendo el número total de datos útiles para la clasificación por parte de las técnicas de aprendizaje automático de 12.407 datos.

La toma de datos se ha llevado a cabo en diferentes lugares de Portugal y España. Para tomar los datos cada nodo del sistema anteriormente desarrollado tomaba los datos en función de los campos establecidos en la Tabla I y se enviaban en tiempo real. Dichos datos se enviaban mediante el uso del protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) a un servidor ubicado dentro de la misma red inalámbrica de área local (WLAN), siendo recibidos los datos por parte de un servidor HTTP y posteriormente almacenados en una base de datos MySQL.

Los lugares de toma de datos en Portugal se encuentran en el núcleo urbano Gambelas (Faro), siendo los puntos de recogida (1) recinto universitario de la Universidad del Algarve en cuatro puntos, (2) la Rua Manuel Gomes Guerreiro en dos puntos, (3) la Rua Comandante Sebastiao da Costa en un punto y (4) la Praceta Orlando Sena Rodriguez en un punto. En total en Portugal se han tomado datos en 8 puntos. Mientras en España se han tomado datos en un punto en la localidad de Bollullos Par del Condado (Huelva). La totalidad de sitios donde se han tomado las imágenes se encuentra en la Fig. 2.

B. Descripción de las técnicas de machine learning

Una vez los datos fueron recogidos en cada uno de los puntos establecidos en el punto anterior y tratados de la manera descrita en los apartados anteriores, se procedió a seleccionar las técnicas de machine learning, las cuales se encargarán de clasificar los datos en las clases *reposo* y *vehículo*. La clasificación se basa solo en las clases *reposo* y *vehículo*.

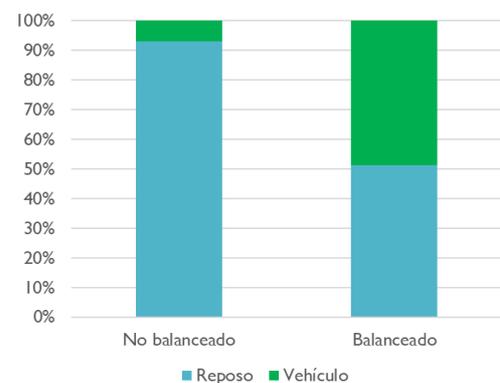


Fig. 1. Distribución de las clases Reposo y Vehículo, inicialmente a la izquierda y posterior al balanceo en la derecha



Fig. 2. Ubicación de los puntos de recogida de los datos. España viene reflejada en la imagen inferior izquierda y Portugal en la imagen de la derecha

vehículo debido a que solo se ha propuesto sustituir aquella parte del controlador difuso encargada de la detección de vehículos. Con el objetivo de conseguir clasificar los datos obtenidos en las clases *vehículos* y *reposo* se seleccionaron las técnicas: (1) regresión logística; (2) máquina de soporte vectorial utilizando one-class (SVM-OneClass); (3) random forest; (4) red neuronal perceptrón multicapa (MLP); y (5) red neuronal long short-term memory (LSTM). Utilizando la implementación de las cuatro primeras técnicas por parte de la librería scikit-learn de Python [12] y para la quinta técnica se utilizó la implementación de LSTM de Keras [13]. Para ajustar los parámetros de cada técnica se ha utilizado la herramienta Grid Search de la librería scikit-learn, siendo los ajustes finales alcanzados para cada técnica recogida en la Tabla II.

III. EXPERIMENTACIÓN

La experimentación llevada a cabo consiste en someter a los datos anteriormente tratados y balanceados a las técnicas descritas en el apartado anterior. Para ello se ha hecho uso de la herramienta validación cruzada [14] con una división de cinco vectores, utilizando siempre cuatro vectores para entrenar y uno para validar o testear el modelo. Este método obtiene el valor promedio de los valores intermedios obtenidos en cada iteración (Fig. 3). De este modo se consigue que el valor promedio sea un valor más real y ajustado a la tasa de acierto y la exactitud de cada uno de los modelos desarrollados. Para este caso en concreto se ha utilizado la implementación de validación cruzada llamada StratifiedKfold que permite mantener una proporcionalidad de ambas clases en los diferentes vectores que se van a utilizar para el entrenamiento y para la evaluación.

Una vez todos los datos han sido sometidos a las diferentes técnicas anteriormente indicadas, se han obtenido los resultados recogidos en la tabla III. Siendo de estos datos los más destacables los obtenidos por la técnica long short-term memory que ha obtenido una tasa de aciertos del 0,9788, una tasa de verdaderos positivos (TPR) de 0,9626 y una exactitud de 0,9942; seguida de la técnica random forest con una tasa de acierto de 0,9499, una TPR de 0,9742 y una exactitud de 0,9267; mientras que el peor valor ha sido obtenido por la técnica de SVM-OneClass obteniendo una tasa de aciertos del 0,7594, una TPR de 0,6638 y una exactitud de 0,8601.

Tabla II
PARÁMETROS SELECCIONADOS PARA CADA TÉCNICA

Técnica	Parámetro	Valor
Regresión logística	C	0,01
	Penalty	L2
	Random state	1
SVM One-Class	Solver	newton-cg
	Nu	0,5
	Kernel	Rbf
Random Forest	Gamma	0,65
	Random state	1
	Num estimadores	15
Perceptrón Multicapa	Solver	Adam
	Número neuronas capa oculta	4
Long short-term memory	Porcentaje para validación	20%
	Núm de instantes de tiempo	5
	Núm. neuronas capa intermedia	8
	Núm. neuronas capa de salida	1
	Optimizador	Adam
	Tasa de aprendizaje	0,0001
	Épocas	35
	Porcentaje para validación	30

Tabla III
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPERIMENTACIÓN

Técnica	Tasa de acierto	TPR	Exactitud
Regresión logística	0,9089	0,8147	0,9984
SVM One-Class	0,7594	0,6638	0,8601
Random Forest	0,9499	0,9742	0,9267
Perceptrón Multicapa	0,8923	0,7846	0,9947
Long short-term memory	0,9788	0,9626	0,9942



Fig. 3. Ubicación de los puntos de recogida de los datos. España viene reflejada en la imagen inferior izquierda y Portugal en la imagen de la derecha

IV. CONCLUSIONES

La gestión del tráfico es una de las áreas en las que más interés está generando el uso de las técnicas de aprendizaje automático en ciudades inteligentes. En este aspecto mediante el presente documento se han aplicado técnicas de machine learning a un sistema de señalización vial inteligente desarrollado con antelación. Dichas técnicas de señalización ofrecen una alternativa viable a las anteriores técnicas de fusión sensorial mediante lógica difusa aplicadas para detectar vehículos en las cercanías de pasos de peatones. Además, el uso de técnicas de machine learning permite al sistema detectar a los vehículos independientemente del lugar de donde se ubique el sistema a diferencia de lo que ocurriría con el uso de lógica difusa, siendo la técnica más útil para el sistema aquella compuesta por una red neuronal Long short-term memory, la cual ofrece una tasa de acierto del 97,87%, una tasa de verdaderos positivos del 96,26% y una exactitud del 99,41%. Esto permite detectar en un amplio rango los

vehículos que se aproximan y con una altísima exactitud. Debiéndose a que dicha técnica se basa en varios instantes anteriores de tiempo para indicar que está ocurriendo en el instante actual en el paso de peatones.

En cambio, hay que destacar que la complejidad del problema viene derivada debido a que el mismo valor para el sensor magnético puede indicar para una ubicación el estado de reposo y en otra ubicación el estado de presencia de vehículo. Debido a esto, las técnicas de máquinas de soporte vectorial, redes neuronales de perceptrón multicapa y regresión logística no obtienen valores muy destacables con este conjunto de datos.

Por último, indicar que entre los trabajos futuros que se pueden generar a partir de este documento es la aplicación en tiempo real de la técnica y/o técnicas más eficaces en conjunto con la fusión sensorial utilizada en el dispositivo previo, sustituyendo las técnicas de machine learning a la detección de vehículos por parte del controlador difuso para seleccionar que técnica se comporta mejor en un microcontrolador.

REFERENCIAS

- [1] K. Soomro, M. N. M. Bhutta, Z. Khan, M.A. Tahir, "Smart city big data analytics: An advanced review". En WIREs Data Mining Knowl Discovery, vol. 9, n. 5, pp. 1-25, 2019.
- [2] B. Zavala, G.H. Alférez, "Proactive control of traffic in smart cities". En Proceedings of the 2015 International Conference of Artificial Intelligence ICAI 2015, pp. 604-609, 2015.
- [3] A.M. Nagy, V. Simon, "Survey on traffic prediction in smart cities". En Pervasive and Mobile Computing, vol. 50, pp. 148-163, 2018.
- [4] B. Pawlowicz, M. Salach, B. Trybus, "Smart traffic monitoring system based on 5G cellular network, RFID and machine learning". En Advances in Intelligent System and Computing, vol. 830, pp. 151-165, 2019.
- [5] R.W. Thomas, J.M. Vidal, "Toward detecting accidents with already available passive traffic information". En IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and conference CCWC 2017, pp. 1-4, 2017.
- [6] L.R. Frank, Y.M. Ferreira, E.P. Julio, F.H.C Ferreira, B.J. Dembogurski, E.F. Silva, "Multilayer Perceptron and Particle Swam Optimization Applied to Traffic Flow Prediction on Smart Cities". En Lecture Notes in Computer Science and Its Applications, vol. 11622, pp. 35-47, 2019.
- [7] C. Rodríguez-Porrero, S. Gil Conzález, "Ciudades amigables con la edad, accesibles e inteligentes", 2014. Informe técnico, disponible en <http://www.ceapat.es/InterPresent2/groups/imsero/documents/binario/ciudadesinteligentes.pdf> accedido a fecha de 23/11/2019.
- [8] Dirección General de Tráfico, Gobierno de España, "Tablas estadísticas 2018, Grupo 5. Peatones, Víctimas e Infracciones 2018", 2018. Informe técnico, disponible en <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/accidentes-30dias/tablas-estadisticas/2018/> accedido a fecha de 23/11/2019.
- [9] J.M. Lozano Domínguez, T. J. Mateo Sanguino, "Design, modelling and implementation of a fuzzy controller for an intelligent road signalling system". En Complexity, vol. 2018, pp. 1-14, 2018.
- [10] L.A. Shalabi, Z. Shaaban and B. Kasasbeh, "Data Mining: A Preprocessing Engine". En Journal of Computer Science, vol. 2, n. 9, pp. 735-739, 2006.
- [11] G. Lemaître, F. Nogueira, C.K. Áridas, "Imbalanced-learn: A Python Toolbox to Tackle the Curse of Imbalanced Datasets in Machine Learning". En Journal of Machine Learning Research, vol. 18, n. 17, pp. 1-5, 2017.
- [12] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderrplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, E. Cuchesnay, "Scikit-learn: Machine Learning in Python", vol. 12, pp. 2825-2830, 2011.
- [13] F. Chollet y otros, "Keras", 2015. Informe técnico, disponible en <https://keras.io> accedido a fecha de 23/11/2019
- [14] P. Refaeilzadeh, L. Tang, H. Lui, "Cross-Validation". En Encyclopedia of Database Systems, Springer, 2019.

Conteo Automático de Olivos mediante Análisis de Imagen a partir de Capturas Aéreas Multiespectrales

Juan M. Ponce¹, Arturo Aquino¹, Ricardo Sarabia², Borja Millan¹, Diego Tejada¹, Miguel Noguera¹, José M. Andújar¹

¹ Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y Automática, Universidad de Huelva Escuela Superior de Ingeniería, Campus de "El Carmen", Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n. 21007, Huelva (Huelva), España

² Universidad Autónoma de Chapingo, 56230 Texcoco, Méx., México
jmponce.real@diesia.uhu.es; arturo.aquino@diesia.uhu.es; ricardo.sarabia.20@gmail.com; borja.millan@diesia.uhu.es; diego.tejada@diesia.uhu.es; miguel.noguera@diesia.uhu.es; andujar@diesia.uhu.es

Resumen- Se propone una metodología para la automatización del conteo del número de olivos presentes en un área de cultivo a partir del procesamiento de capturas aéreas, obtenidas por un vehículo aéreo no tripulado (RPAS) equipado con una cámara multiespectral. Estas capturas iniciales fueron utilizadas para generar un modelo digital de superficie (DSM), que tratado como una imagen en escala de grises, fue procesado mediante técnicas de análisis morfológico con el fin de segmentar las regiones de píxeles correspondientes a los olivos, haciendo así posible su detección y conteo. De los 3918 árboles presentes en el sitio de estudio, el método logró identificar correctamente 3906, alcanzando una *Precisión* del 99.92%, una *Sensibilidad* del 99.67%, y un *F_{score}* del 99.75%. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la viabilidad de la metodología propuesta como herramienta de apoyo en tareas de fenotipado.

Palabras Clave- Agricultura de Precisión, Análisis de Imagen, Conteo de Plantas, Imágenes Aéreas, Olivo, RPAS, Sensórica Multiespectral

I. INTRODUCCIÓN

El número de plantas presentes en una parcela o área de cultivo supone un elemento de información de gran interés en el contexto de la agricultura de precisión. Su conocimiento no sólo es indispensable para los técnicos responsables del fenotipado de las mismas, sino que resulta ser también un indicativo de gran valor para el propio agricultor. Así, la población de plantas determina la densidad de siembra, esto es, el número de plantas por hectárea cultivada. Esta estadística está directamente relacionada con diversos factores, como la gestión eficiente del agua y los fertilizantes, o la susceptibilidad del cultivo a distintos patógenos [1]. También desempeña un papel fundamental en la estimación de la producción en cultivos basados en árboles, o en el diseño de los sistemas de riego [2]. Además, es un factor determinante en la solicitud de subsidios y ayudas públicas [3], para estimar el precio de una plantación, o para valorar las pérdidas ocasionadas por incendios, plagas o desastres naturales [4].

A pesar de su manifiesta relevancia, y al igual que ocurre con otras tareas relacionadas con el fenotipado de los cultivos, el conteo de plantas se realiza en muchas ocasiones de forma manual, lo que supone una actividad laboriosa, costosa en tiempo y dinero y propensa al error humano. Es por ello que en los últimos años ha proliferado el uso de vehículos aéreos no tripulados, y pilotados de forma remota (RPAS, del inglés *Remotely Piloted Aircraft Systems*), para la captura de imágenes aéreas con el objetivo de realizar el conteo de

plantas a partir de éstas, pudiéndose encontrar a día de hoy una considerable cantidad de publicaciones que desarrollan esta idea aplicada a distintos tipos de cultivo [5]–[12]. Atendiendo al olivo, igualmente pueden encontrarse investigaciones relacionadas con el uso de este tipo de vehículos aéreos y diversos sistemas de sensórica para la detección, caracterización y/o conteo de árboles de olivo [4], [13]–[15].

En el presente artículo se propone una metodología para la detección y conteo de olivos a partir del procesamiento y análisis de imágenes aéreas multiespectrales. Con ese objetivo, estas capturas fueron procesadas para generar una nube tridimensional de puntos. Ésta, una vez interpolada, fue aproximada como una imagen en escala de grises donde el nivel de intensidad de cada píxel se hizo corresponder con la información de elevación de su correspondiente localización en el DSM. Esta imagen fue transformada mediante procedimientos morfológicos hasta obtener una binarización de la misma, segmentando así las regiones de píxeles correspondientes a los árboles. Finalmente, se desarrolló un algoritmo para realizar la detección y conteo de los árboles a partir de dicha segmentación. Contrariamente a otras propuestas de la bibliografía, la metodología propuesta demostró ser robusta frente a agregaciones intra-fila de árboles o orografías con cambios de altitud de cualquier magnitud.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Sitio de Estudio

La adquisición de las imágenes se realizó en un olivar ubicado en Gibraleón (Huelva, Andalucía, España). En concreto, la parcela de estudio, mostrada en la Fig. 1, puede localizarse centrada en las coordenadas DMS 7°02'48.44"W, 37°20'39.80"N. Tiene un área de aproximadamente 17.5ha. La



Fig. 1. Sitio de estudio. Nótese resaltado en azul el área de interés para el estudio

variedad cultivada en la misma es Picual, y el patrón de siembra es intensivo, con un marco de plantación de 5.5x7m.

B. Adquisición de Imágenes

Para la adquisición de las imágenes aéreas se utilizó un cuadricóptero. En concreto, el modelo utilizado fue el DJI Matrice 100 (SZ DJI Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, China). La toma de imágenes fue realizada con la cámara multispectral MicaSense RedEdge-M (MicaSense, Inc., Seattle, WA, EEUU), que permite la captura en 5 bandas espectrales distintas: azul, verde, rojo, rojo frontera, e infrarrojo cercano. Para su calibración, ésta fue equipada con un sensor DLS (Downwelling Light Sensor), y también se utilizó una tabla de referencia de reflectancia. Este equipamiento se muestra en la Fig. 2.



Fig. 2. Equipamiento para la adquisición de imágenes aéreas

La planificación del vuelo se realizó a través de la aplicación DJI Flight Planner (SZ DJI Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, China), definiendo mediante un polígono el área a sobrevolar (ilustrado en azul en la Fig.1). El vuelo se configuró para ser realizado de forma autónoma por el RPAS, a 70m de altura y con una velocidad de 15km/h. Con estas características de vuelo, y especificando un tiempo entre capturas de 1.5s, se persiguió un solapamiento entre imágenes en la trayectoria de vuelo del 85%, y uno lateral del 65%, junto con un GSD (Ground Sampling Distance) de 0.05cm/píxel.

La misión de vuelo tuvo lugar el 13 de junio de 2019, entre las 11am y la 1am. Para su ejecución y monitorización se utilizó la aplicación Litchi (VC Technology, Ltd., Londres, Reino Unido).

C. Metodología de Procesamiento y Análisis de Imagen

Como primer paso, se generó una nube de puntos tridimensional de alta densidad donde, para ello, cada punto fue correctamente re-proyectado en al menos tres imágenes. Cada punto fue caracterizado por una tripleta de coordenadas, con las dos primeras referidas a la localización relativa de éste, y la tercera a su elevación respecto al nivel del mar. La generación de esta nube de puntos se realizó con la aplicación Pix4D Mapper (Pix4D S.A., Lausanne, Suiza).

Seguidamente, se obtuvo un DSM representativo del terreno sobrevolado mediante interpolación IDW (Inverse Distance Weighting) [16] de la nube de puntos. Para ello, se utilizó el software ArcGis 10.3 y su extensión Geostatistical Analyst Tools (Esri, Inc., Redlands, CA, USA). A continuación, este DSM fue aproximado como una imagen en escala de grises. Esto es, la estructura de datos correspondiente a este modelo fue tratada a partir de este momento como una matriz de intensidad, donde cada elemento fue visto como un píxel, con un nivel de gris referido al nivel de elevación ofrecido por el DSM en el punto correspondiente. En la Fig. 3

se muestra la representación del modelo DSM como imagen en escala de grises.

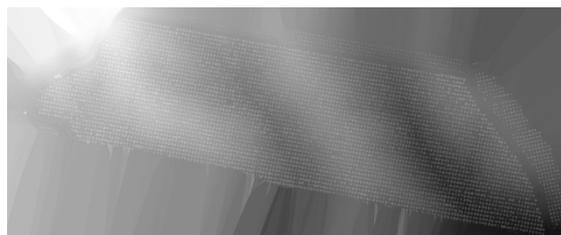


Fig. 3. Representación del DSM como imagen en escala de grises

Entonces, esta imagen fue procesada, principalmente mediante la aplicación de transformaciones basadas en su mayoría en operadores morfológicos [17], con el objetivo de mejorar sus condiciones de partida para su posterior binarización. Con esta binarización, se pretendía la segmentación de los píxeles correspondientes a los olivos con respecto a los del resto de la imagen, para así poder identificarlos y llevar a cabo su conteo.

La principal transformación abordada durante esta etapa se correspondió con una estimación de fondo y su consecuente sustracción. Esto, con el objetivo de homogeneizar los valores de gris del fondo de la imagen, haciendo así posible afrontar su binarización mediante un método de umbralización global. La estimación de fondo se obtuvo mediante la aplicación iterativa de aperturas morfológicas, buscando siempre capturar el filtro de mejor respuesta de acuerdo con los distintos tamaños de árbol presentes en la imagen. En la Fig. 4 se muestra la estimación de fondo obtenida, así como el resultado de extraer ésta misma de la imagen en escala de grises inicial.

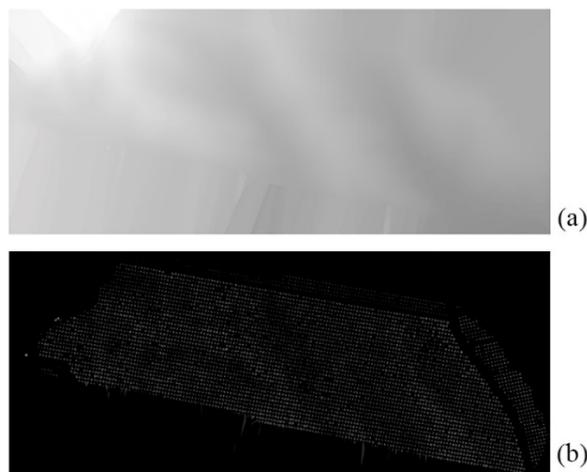


Fig. 4. (a) Estimación de fondo de la imagen en Fig.3; (b) imagen resultante tras la sustracción de (a) a la imagen en Fig.3

A continuación, se procedió a la binarización de la imagen, mediante el método de umbralización de Otsu [18]. Su aplicación permitía determinar el valor de gris más apropiado (de acuerdo con un análisis estadístico de la varianza) para separar las dos potenciales clases de píxeles existentes en la imagen. A partir de este umbral, la binarización se hizo posible asignando el mayor nivel de intensidad posible (255) a todos aquellos píxeles con un valor de gris mayor a dicho umbral, y el mínimo (0) al resto. Sobre la imagen binaria obtenida, se aplicó un procedimiento para la eliminación de ruido, y se aplicó la máscara correspondiente al polígono trazado para la planificación del vuelo, con el fin de delimitar la zona de

interés para el estudio. Esta máscara y la imagen binaria final se muestran en la Fig. 5.

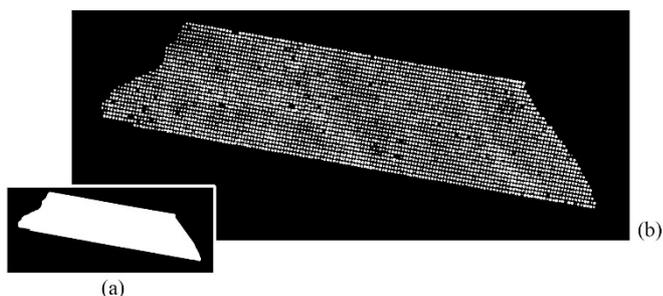


Fig. 5. (a) Máscara delimitadora de la zona de interés; (b) imagen binaria final

Alcanzada la segmentación de los olivos respecto del resto de la imagen, la idea inicial era la de estimar su población con el conteo de las componentes conexas (agrupaciones de píxeles con mismo valor de intensidad y relación de vecindad) presentes en la binarización. Sin embargo, se observó cómo algunas de estas componentes abarcaban más de un árbol. Esto se debía a olivos próximos entre sí, cuyas coronas entraban en contacto, apareciendo superpuestas en las capturas aéreas, y provocando la fusión de sus regiones de píxeles correspondientes. Este fenómeno es ilustrado en la Fig.6.



Fig. 6. (a) Imagen aérea donde se observan árboles con sus respectivas copas en contacto; (b) sub-imagen de la imagen binaria final correspondiente al área representada en (a), donde aparecen fusionadas las componentes conexas de dos árboles distintos

Para solventar esta problemática, en primer lugar se computó, para cada componente conexas, la elipse de igual segundo momento central normalizado [19]. Este proceso es ilustrado en la Fig. 7.

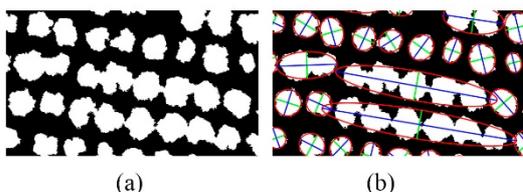


Fig. 7. (a) Sub-imagen de la imagen binaria; (b) elipses (en rojo) y sus respectivos ejes mayores (en azul) y menores (en verde) de las componentes conexas que aparecen en (a)

Con el fin de estimar el número de árboles contenidos en cada componente conexas, se estudió la relación entre los ejes mayores y menores de las correspondientes elipses. Así, se tomó como valor de referencia el mayor de todos los ejes menores obtenidos, MAX_{MinAX} . Con esto, dada una componente conexas cc_i de la imagen binaria, el número de plantas contenidas en ésta se estimó matemáticamente como sigue:

$$TreeNumber(cc_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } MajAx(cc_i) \leq MAX_{MinAX} \times 1.20 \\ \lceil MajAx(cc_i) / MAX_{MinAX} \rceil, & \text{en cualquier otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

donde $MajAx(cc_i)$ se refiere a la longitud en píxeles del eje mayor de la elipse correspondiente a la componente cc_i . Por

tanto, siendo I_{BIN} la imagen binaria a analizar, y $CC_{I_{BIN}}$ el conjunto de componentes que la integraban, la estimación de la población total de árboles se calculó según lo mostrado a continuación:

$$TotalTreePopulation = \sum_{\forall cc_i \in CC_{I_{BIN}}} TreeNumber(cc_i) \quad (2)$$

Una vez obtenido el número total de plantas, como último paso se acometió la estimación de los puntos de localización de cada olivo dentro de la imagen. Para ello se trabajó a nivel de componente conexas, en concreto sobre los ejes mayores de las elipses de la mismas. Estableciendo un salto basado en el cociente entre la longitud del eje mayor y el número de árboles contenidos más uno, se iteró desde el centro de dicho eje y en ambos sentidos, proponiendo los potenciales puntos de localización de cada olivo. El resultado final es el mostrado en la Fig. 8.

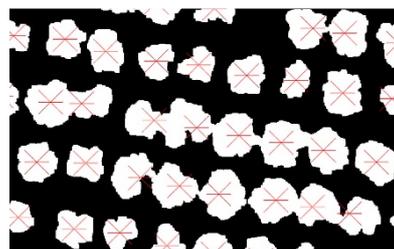


Fig. 8. Puntos de localización (en rojo) computados para la sub-imagen binaria representada

D. Evaluación de la Metodología

Con el objetivo de valorar los resultados obtenidos por la metodología propuesta, se establecieron las siguientes métricas:

- *Precision:*

$$P = TP / (TP + FP) \quad (3)$$

Donde TP se refiere al número de árboles correctamente detectados, y FP al de aquellos identificados como tales por el algoritmo de forma errónea.

- *Sensitivity:*

$$S = TP / (TP + FN) \quad (4)$$

Donde FN se corresponde con el número de olivos no detectados por la metodología.

- *Fscore:*

$$Fscore = 2 \times (P \times S) / (P + S) \quad (5)$$

III. RESULTADOS

En la Tabla 1 se recopilan los resultados obtenidos para las métricas anteriormente propuestas, con las que se pretende valorar el rendimiento de la metodología propuesta.

Estos resultados respaldan la viabilidad de la metodología propuesta como herramienta eficaz para automatizar el conteo

Tabla I
VALORACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA, SEGÚN LAS MÉTRICAS PROPUESTAS EN (3), (4) Y (5)

Árboles totales	Árboles estimados	TP	FP	FN	Precision	Sensitivity	Fscore
3919	3909	3906	3	13	99.92%	99.67%	99.75%

de olivos, y la posibilidad de ser extendida a otros tipos de cultivos de carácter arbóreo. A destacar la alta tasa de acierto, del 99.67%, detectándose de forma correcta 3906 plantas de un total de 3919. Además, hay que destacar la solvencia del algoritmo de análisis propuesto tratando aquellas situaciones en las que las copas de distintos árboles aparecían solapadas en las capturas aéreas, debido a la cercanía de éstos. En este sentido, cabe destacar que, de un total de 3524 componentes conexas obtenidas durante la segmentación de la imagen, 293 fueron correctamente identificadas como contenedoras de más de una planta. A la hora de calcular el número de olivos contenidos en éstas, sólo hubo un caso de error, donde en una determinada componente se sobrestimó el correspondiente número de plantas en una unidad.

IV. CONCLUSIONES

Esta investigación fue realizada con el objetivo de diseñar y evaluar una metodología para la automatización del conteo de árboles presentes en un olivar, a partir del procesamiento y análisis de un conjunto de capturas aéreas obtenidas mediante una cámara multiespectral, montada en un RPAS. Los resultados obtenidos apoyan la validez de dicha metodología como herramienta de valor para el agricultor, dentro del contexto de la agricultura de precisión.

En efecto, la alta tasa de acierto reportada, junto con la capacidad de los algoritmos propuestos para afrontar escenarios complejos, con copas de árboles superpuestas y una alta variabilidad del terreno, en términos de elevación, densidad de maleza y composición, son indicadores con los que respaldar la confianza en la generalidad de la solución propuesta.

Para acabar, destacar que en futuros trabajos sería interesante utilizar los procedimientos desarrollados en el presente manuscrito con otros tipos de árbol, con el objetivo de evaluar su potencial aplicabilidad en distintos cultivos, más allá del olivo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el contexto del proyecto TecnOlivo (0155_TECNOLIVO_6_E), aprobado en la primera convocatoria del Programa Interreg V-A España - Portugal (POCTEP) 2014-2020, y cofinanciado con fondos FEDER.

REFERENCIAS

- [1] X. Jin, S. Liu, F. Baret, M. Hemerlé, and A. Comar, "Estimates of plant density of wheat crops at emergence from very low altitude UAV imagery," *Remote Sens. Environ.*, vol. 198, pp. 105–114, Sep. 2017.
- [2] A. P. H. MP, H. Sounder, N. K. V. P. V, and R. Hebbar, "CNN Based Technique for Automatic Tree Counting Using Very High Resolution Data," in *2018 International Conference on Design Innovations for 3Cs Compute Communicate Control (ICDI3C)*, 2018, pp. 127–129.
- [3] S. Malek, Y. Bazi, N. Alajlan, H. AlHichri, and F. Melgani, "Efficient Framework for Palm Tree Detection in UAV Images," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 7, no. 12, pp. 4692–4703, Dec. 2014.
- [4] E. Salamí, A. Gallardo, G. Skorobogatov, and C. Barrado, "On-the-Fly Olive Trees Counting Using a UAS and Cloud Services," *Remote Sens.*, vol. 11, no. 3, p. 316, Feb. 2019.
- [5] Y. Bazi, S. Malek, N. Alajlan, and H. AlHichri, "An automatic approach for palm tree counting in UAV images," in *2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2014, pp. 537–540.
- [6] J. Ribera, Y. Chen, C. Boomsma, and E. J. Delp, "Counting plants using deep learning," in *2017 IEEE Global Conference on Signal*

- and Information Processing (GlobalSIP), 2017, pp. 1344–1348.
- [7] F. Gnädinger and U. Schmidhalter, "Digital Counts of Maize Plants by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)," *Remote Sens.*, vol. 9, no. 6, p. 544, May 2017.
- [8] S. Sankaran, J. J. Quirós, N. R. Knowles, and L. O. Knowles, "High-Resolution Aerial Imaging Based Estimation of Crop Emergence in Potatoes," *Am. J. Potato Res.*, vol. 94, no. 6, pp. 658–663, Dec. 2017.
- [9] H. Jiang, S. Chen, D. Li, C. Wang, and J. Yang, "Papaya Tree Detection with UAV Images Using a GPU-Accelerated Scale-Space Filtering Method," *Remote Sens.*, vol. 9, no. 7, p. 721, Jul. 2017.
- [10] D. Koc-San, S. Selim, N. Aslan, and B. T. San, "Automatic citrus tree extraction from UAV images and digital surface models using circular Hough transform," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 150, pp. 289–301, Jul. 2018.
- [11] Z. Fan, J. Lu, M. Gong, H. Xie, and E. D. Goodman, "Automatic Tobacco Plant Detection in UAV Images via Deep Neural Networks," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 11, no. 3, pp. 876–887, Mar. 2018.
- [12] R. Kestur, A. Angural, B. Bashir, S. N. Omkar, G. Anand, and M. B. Meenavathi, "Tree Crown Detection, Delineation and Counting in UAV Remote Sensed Images: A Neural Network Based Spectral-Spatial Method," *J. Indian Soc. Remote Sens.*, vol. 46, no. 6, pp. 991–1004, Jun. 2018.
- [13] R. Díaz-Varela, R. de la Rosa, L. León, and P. Zarco-Tejada, "High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials," *Remote Sens.*, vol. 7, no. 4, pp. 4213–4232, Apr. 2015.
- [14] J. Torres-Sánchez, F. López-Granados, N. Serrano, O. Arquero, and J. M. Peña, "High-Throughput 3-D Monitoring of Agricultural-Tree Plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology," *PLoS One*, vol. 10, no. 6, p. e0130479, Jun. 2015.
- [15] J. Torres-Sánchez, F. López-Granados, I. Borra-Serrano, and J. M. Peña, "Assessing UAV-collected image overlap influence on computation time and digital surface model accuracy in olive orchards," *Precis. Agric.*, vol. 19, no. 1, pp. 115–133, Feb. 2018.
- [16] D. Shepard and Donald, "A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data," in *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference on -*, 1968, pp. 517–524.
- [17] P. Soille, *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [18] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, Jan. 1979.
- [19] A. K. Jain, *Fundamentals of digital image processing*. Prentice Hall, 1989.

Blockchain en el Mundo Sanitario

David Pardo Garrido, Leticia Rivera Moreno

DXC FDS (Administrador de Sistemas Externo, Servicio Andaluz de Salud)

Sierra de Huelva-Andévalo Central (Enfermera, Servicio Andaluz de Salud)

davidpardo82@gmail.com, leticiarivera81@hotmail.com

Resumen- Este documento expone la utilidad de la tecnología Blockchain en el mundo sanitario partiendo de una breve definición de Blockchain, enumerando los tipos y mostrando una ilustración de su funcionamiento. Para un mayor entendimiento se exponen varias aplicaciones en el mundo sanitario como es la gestión de historial médico, la trazabilidad de los medicamentos o la investigación clínica. Gracias al uso de esta tecnología se esperan multitud de avances ya que permitirá en muchos de sus casos la compartición de datos para su estudio con tecnología Big Data.

Palabras Clave- Blockchain, Sanidad, Salud, Smart Contract

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología Blockchain dota a los objetos de identidad digital permanente en el tiempo. Aunque inicialmente ha irrumpido con fuerza en diversos campos financieros como el de la criptomoneda, existe una gran cantidad de aplicaciones. El propósito de este documento es difundir sus aplicaciones en el ámbito sanitario.

II. ¿QUÉ ES BLOCKCHAIN?

Literalmente significa cadena de bloques y consiste en una base de datos distribuida donde se pueden guardar transacciones digitales seguras, encriptadas y firmadas digitalmente en una red de nodos distribuidos.

- Cada nodo contiene una copia de la información y todos los miembros tienen que validar cualquier actualización de forma conjunta.
- Las entradas son permanentes, transparentes y accesibles a través de un buscador, lo que permite a los miembros de la comunidad ver el historial de las transacciones realizadas en su totalidad.
- Con Blockchain, la criptografía sustituye a cualquier intermediario o tercero, facilitando así su uso.

A. Smart Contracts

Son contratos inteligentes entre dos o más partes que se ejecutan a través de un programa informático y se hacen cumplir a sí mismos de manera automática y autónoma, facilitando así la negociación.

III. TIPOS

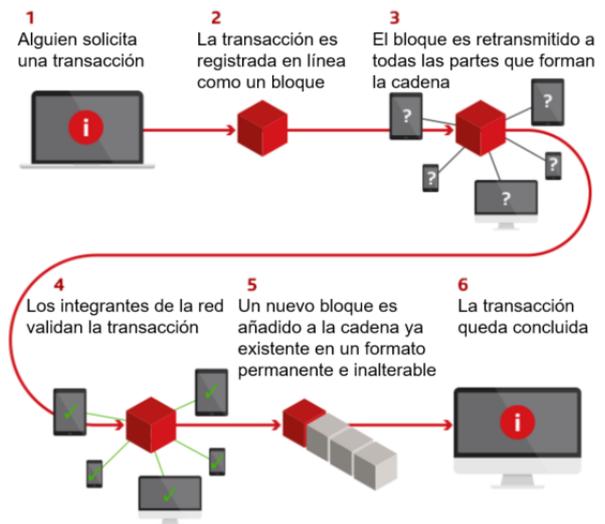
A. Públicas

Se caracterizan por que cualquier persona puede acceder, crear y participar en el proceso de consenso o validación así como realizar transacciones de forma anónima. Un ejemplo muy claro es aquellas que trabajan con criptomonedas.

B. De Consorcio

El proceso de consenso está controlado por un conjunto de nodos preseleccionados. La lectura puede ser pública o

Como funciona Blockchain



Fuente de la Imagen: Financial Times, PwC Estados Unidos

Fig. 1. Cómo funciona Blockchain

restringida a los participantes. Son más rápidas, tienen una mayor escalabilidad y privacidad y podrían considerarse parcialmente descentralizadas.

C. Privada

En este caso, los permisos de escritura se mantienen restringidos a una organización. Un ejemplo sería la administración de una base de datos o una auditoría.

IV. POSIBLES APLICACIONES

A. Gestión de historial médico con Blockchain

Si Blockchain controlase la gestión de historiales médicos cambiaría y mejoraría sustancialmente la forma en que se realiza la gestión.

El paciente podría acceder cuantas veces quisiera y decidir quién podría conocer su información.

Esta relación se organizaría mediante Smart Contracts, eliminando intermediarios y ahorrando costes.

El Smart Contract tiene validez, es un código visible por todos y no puede ser modificado gracias a la tecnología Blockchain.

Se trata de un nuevo modelo enfocado al usuario que ofrece servicios personalizados y adaptados a sus necesidades.

B. Trazabilidad de los Medicamentos

Cada vez que un agente interactuare con el medicamento añadirá información en el Blockchain, lo que permitiría mantener una trazabilidad total, fiable y transparente.

C. Investigación Clínica

Permitiría el seguimiento, el intercambio y la protección de datos. Los usuarios podrían compartir con grupos de investigación parte de sus datos para que sean utilizados en sus estudios. Así sería más fácil agrupar pacientes con las mismas patologías y buscar datos que permitan llegar a nuevas curas o procedimientos.

Existen factores limitadores como la dificultad para obtener, gestionar e intercambiar información sensible de los pacientes. Esto se debe a las leyes de protección de datos LOPD/RGPD y el carácter sensible de la información médica de los usuarios.

RESULTADOS

La tecnología Blockchain permitirá a las organizaciones e instituciones de la salud, tanto públicas como privadas, consultar directamente la información a través de una interfaz de programación de aplicaciones (APIs). Los datos médicos de los pacientes, como por ejemplo la edad, las enfermedades que padecen o hayan padecido, o las operaciones a las que hayan sido sometidos, podrán ser consultadas sin necesidad de desvelar la identidad de la persona, respetando así su privacidad en todo momento. No obstante, los pacientes podrán, solo si así lo desean, romper su anonimato con estas organizaciones e instituciones de la salud. Para ello será necesario un Smart Contract que facilitará una clave privada con la que únicamente se podrá acceder a dicha identidad.

CONCLUSIONES

La utilización de la tecnología Blockchain en el mundo sanitario permitirá avanzar en el uso, el análisis y el tratamiento de la información en este sector, al mismo tiempo que simplificará los procedimientos. Además, hay que destacar que los pacientes siempre serán los únicos propietarios de sus datos, pero podrán ceder libremente su uso a los diferentes especialistas y grupos de investigación, ayudando de esta forma al avance científico. Así mismo, otro de sus beneficios será la mejora de la transparencia y la trazabilidad de la información.

REFERENCIAS

- [1] Publicación: "Los Ejes de la Transformación Digital". Revista de la Sociedad Española de Informática y la Salud, Junio 2019. Autores: Elvira Alonso Suero y Marcos Redondo Fonseca. ISSN: 1579-8070
 - [2] Artículo: "Blockchain y sus aplicaciones". Autor: Benjamín Yahari Navarro. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Asunción. Paraguay
 - [3] Artículo: "Cadena de bloques. Guía básica para entender de una vez qué es eso del 'blockchain'". Suplemento Retina-El País Economía, Julio 2017. Autores: Guillermo Vega y Olivia López Bueno.
 - [4] Libro: «Blockchain, bitcoin y criptomonedas». ISBN: 978-84-17209-73-5. Autor: Luz Parrondo. UPF- Barcelona School of Management.
- Fuente de la Imagen «Cómo funciona la cadena de bloques» Financial Times, PwC Estados Unidos.

Seguridad en Redes Cableadas

David Pardo Garrido

DXC FDS (Administrador de Sistemas Externo, Servicio Andaluz de Salud)

davidpardo82@gmail.com

Resumen- El propósito de este documento es dar a conocer un mecanismo de seguridad para dispositivos conectados a redes mediante conexión por cable. Utilizando el protocolo RADIUS se pretende controlar el acceso a la red utilizando usuario y contraseña o de forma automática para dispositivos que estén dentro de un mismo dominio de trabajo. El uso de estos mecanismos permitirá reducir en gran medida la posibilidad de acceso no autorizado a la red, lo que implica un menor riesgos para las entidades que lo apliquen, además de tener un registro de su uso.

Palabras Clave- Radius, 802.1x, Seguridad, Redes, LAN

I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones LAN son una herramienta clave en cualquier organización pero pueden convertirse en un arma de doble filo cuando dejan de ser un medio seguro.

En la esfera de la seguridad en redes, y más concretamente, en el terreno de las conexiones, una de las medidas principales es garantizar la conexión de los dispositivos y usuarios de la organización, permitiendo controlar además, cuándo y dónde se ha conectado.

II. OBJETIVO

Definir un método de configuración de una red cableada que permita gestionar un entorno seguro garantizando la conexión solo a los miembros pertenecientes a la organización.

III. FUNDAMENTOS

802.1x, protocolo de acceso al medio por administración de puertos que proteger redes mediante autenticación.

Radius, Remote Authentication Dial-in User Service, es un servicio de Autenticación Remota para Usuario de Acceso telefónico. Es utilizado para identificar usuarios por nombre y contraseña. Si los usuarios son autenticados exitosamente se les deberá autorizar los recursos. Realiza un registro con la finalidad de obtener una control del consumo de los recursos del usuario en la red.

A. Arquitectura AAA

Autenticación (Authentication), mecanismo de verificación de la identidad. Consta de dos paso: en primer lugar proporciona una prueba de la autenticidad de la información que se ha entregado y en segundo lugar se prueba la autenticidad de la información que se ha recibido.

Autorización (Authorization) es el proceso donde se evalúa a qué se tiene permiso.

Registro (Accounting) recopila información y el consumo de recursos.

IV. DISEÑO

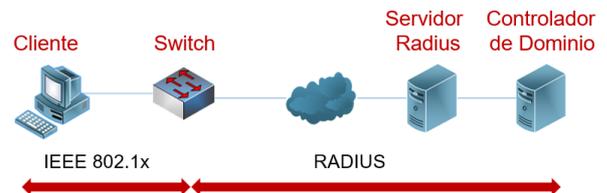


Fig. 1. Esquema de funcionamiento

V. IMPLEMENTACIÓN

Servidor Radius: Depende del sistema operativo del servidor. Algunos ejemplos de este servicio son Network Policy Server (NPS) para Windows Server o Free Radius para Linux.

Contiene un listado de dispositivos de red que tienen permitido aceptar solicitudes Radius.

Se configura una clave secreta en cada dispositivo de red para el encriptado de la comunicación entre Servidor y dispositivo de red.

Controlador de Dominio (Directorio Activo o LDAP): Contiene las cuentas de usuario de la organización, los grupos y permisos de acceso a recursos.

Dispositivos de red Switch/Access Point: Se configura el uso de seguridad Radius en los puertos y se añade la clave secreta para la comunicación entre Servidor y dispositivo de red. Intente no variar de manera notable el aspecto y tamaño de la zona.

VI. CONFIGURACIÓN DEL CLIENTE

En clientes Windows, iniciar servicio "dot3svc" denominado Configuración Automática de Redes Cableadas. Habilitar autenticación de IEEE 802.1x en las propiedades de la NIC.

Clientes Linux o Mac activar en la configuración de la NIC la opción 802.1x. Se requiere usuario y contraseña. Si el cliente pertenece al dominio de trabajo podrá validar automáticamente con la cuenta de usuario o guardar las credenciales en la configuración de la NIC.

RESULTADOS

Solo estarán conectados los equipos pertenecientes a la organización.

Aumenta el nivel de seguridad de la LAN.

Todas las conexiones son registradas por el servidor Radius con información de la MAC del cliente, hora de conexión y desconexión, dispositivo de red e interface.

CONCLUSIONES

La implementación de un mecanismo de seguridad en redes cableadas permite tener un control preciso del acceso a la red. Además de incrementar la seguridad, almacena información de su uso reconociendo anomalías.

REFERENCIAS

- [1] Fundamentos y aplicaciones de seguridad. Autores: Fernando Andreum Izaskun Pellejero, Amaia Lesta. ISBN: 84-267-1405-6
- [2] Seguridad en redes inalámbricas de área local (WLAN) <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/18804/6/jluacesTFC0113memoria.pdf>
- [3] Análisis de desempeño y evaluación de requerimientos AAA en protocolos de seguridad sobre redes inalámbricas IEEE 802.11. Autores: Ramiro Alberto Chaparro, Marcela Mejía Fajardo ISSN-e 0124-8170

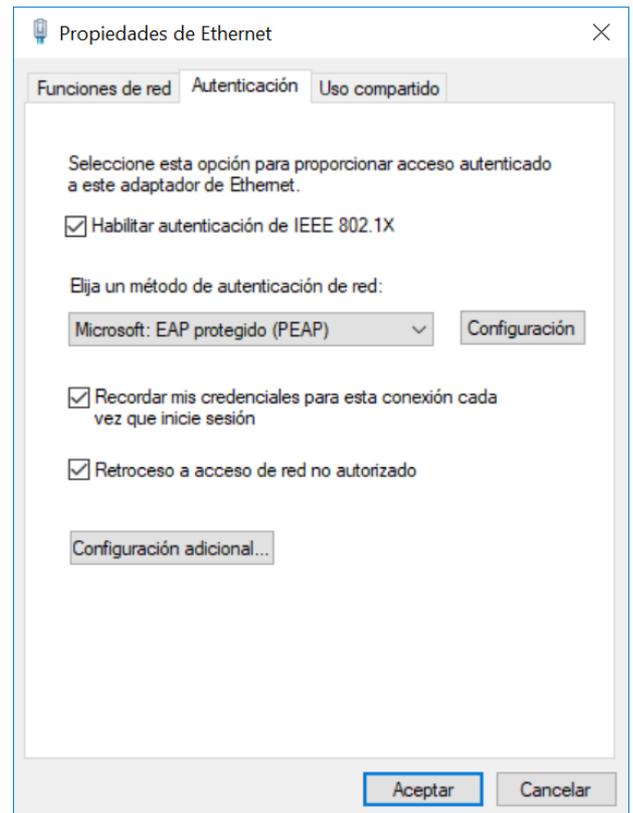


Fig. 1. Configuración de la NIC en Windows

Evaluación de la Normativa Actual para la Medida de la Transmitancia Térmica

Normativa actual, limitaciones e inconvenientes

Diego Tejada Guzmán, Miguel Ángel Martínez Bohórquez, José Manuel Andújar Márquez
Departamento de Ingeniería Electrónica, Sistemas Informáticos y Automática
Universidad de Huelva

Ed. Vicente Rodríguez Casado, campus de La Rábida, ctra. Huelva- Palos de la Frta. s/n, 21813 Palos de la Frontera (Huelva).

diego.tejada@diesia.uhu.es, bohorquez@uhu.es, andujar@uhu.es

Resumen- En todas las acciones diarias del ser humano, se persigue un claro objetivo de reducción de pérdidas y costes innecesarios, así como el aumento de rentabilidades y rendimientos. Se están llevando a cabo planes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ayudaría no solo a paliar el cambio climático sino a revertirlo. Un buen ejemplo que se tiene es en el ámbito de la edificación. No debemos olvidar que el sector de la edificación representa el 40% del consumo total de energía por sectores productivos en la Unión Europea (UE) [1]–[3]. Uno de los parámetros más importantes para la evaluación del estado actual de la vivienda y encaminar una posible reforma es el parámetro de transmitancia térmica (U). En este documento se pretende poner en conocimiento de la normativa actual, sus ventajas e inconvenientes a la hora de aplicarla para obtener la transmitancia térmica.

Palabras Clave- U-value, Thermal Transmittance, Energy Efficiency.

I. INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de la energía se aplica a todos los ámbitos de la vida diaria del ser humano, desde los procesos más complejos hasta los más simples y cotidianos. Un aumento de dicha eficiencia lleva asociado una reducción de las necesidades energéticas -tanto consumos como producción-, a su vez, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

De cara a los edificios, estos representan un 40% de la demanda energética total en la Unión europea[1]–[4]. Un aumento de la eficiencia energética del parque inmobiliario no solo ahorra consumo energético, sino que ayudaría a frenar las emisiones de gases de efecto invernadero y, por consiguiente, el cambio climático.

Los consumos de cada edificio se verán afectados tanto por los detalles constructivos durante la fase de diseño y construcción, como el -buen o mal- mantenimiento de las diferentes instalaciones en caso de que la vivienda esté ya construida[5].

En el caso del aislamiento térmico, debe prestarse especial atención en ambas fases. Pueden tomarse distintas decisiones adecuadas a las distintas necesidades de cada fase, es decir, en fase de diseño, es importante elegir bien los materiales a usar y que respondan a los requerimientos de cada caso, posteriormente realizar una instalación correcta evitando la aparición de puentes térmicos ni debilidades y una vez construido el edificio, tras cierto tiempo la

evaluación del envejecimiento de los materiales aislantes y la sustitución en caso de que sea necesario[4].

A la hora de evaluar el estado en el que se encuentran los elementos que componen una envolvente térmica y así poder tener conocimiento de la medida en que aíslan el interior de los edificios con el exterior, el indicador más usado es el de la transmitancia térmica. Para medir este parámetro se aplican principalmente tres estándares. Este documento se centra en recoger los tres estándares y evaluar sus puntos fuertes y debilidades a la hora de medir el parámetro de transmitancia térmica.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Las tres principales regulaciones usadas para evaluar el aislamiento térmico en los elementos que componen la envolvente térmica de un edificio se resumen a continuación.

A. ISO 6946: 2007

Esta norma se basa en el cálculo teórico del valor total de aislamiento térmico[6]. Las distintas propiedades térmicas son obtenidas en el laboratorio en condiciones ideales mediante técnicas como “guarded hot box”, “calibrated hot box” o “guarded hot plate”.

Para evaluar las condiciones de aislamiento térmico de un elemento debe dividirse en las distintas capas en función de los materiales empleados para la construcción del elemento, tal y como se muestra en el ejemplo de la figura 1.

Las propiedades térmicas de cada capa conformarán las distintas variables de la Ec. 1.

$$U = \frac{1}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} \quad (1)$$

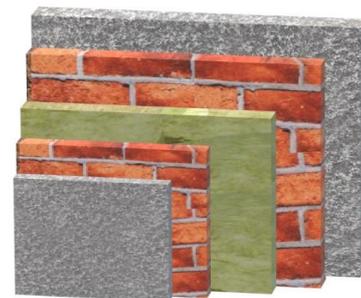


Fig. 1. División en capas de un muro

Donde:

U es la transmitancia térmica real

R_n son las resistencias térmicas de cada capa y donde la primera y la última resistencia térmica es referida a la superficial interior y exterior respectivamente.

B. ISO 9869: 2014 parte 1

Para medir la transmitancia térmica según dicta esta normativa, es necesario que el elemento haya alcanzado las condiciones de estado estacionario, es decir, que las temperaturas interiores y exteriores permanezcan constantes y que además el flujo de calor sea unidireccional y uniforme. Estas condiciones deberán mantenerse durante el mayor tiempo posible en el transcurso de la prueba[7].

El proceso de medida se lleva a cabo mediante un sensor de temperatura ambiente exterior, un sensor de temperatura ambiente interior y un medidor de flujo de calor como se indica en la figura 2. la norma establece ciertas condiciones bajo las que debe hacerse la toma de los datos. Estas condiciones, entre otras, son:

- Duración de la prueba superior a 72 horas.
- Velocidad del viento inferior a 3m/s.
- Salto térmico superior a 10° entre el interior y el exterior.

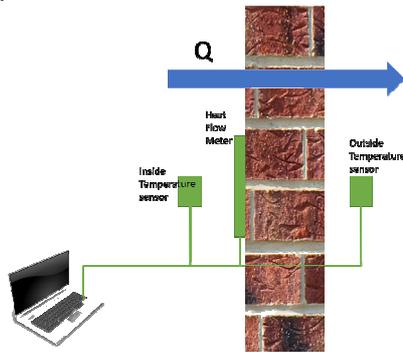


Fig. 2. Ejemplo de test de transmitancia térmica

La norma prevé que estas condiciones de estado estacionario puedan no alcanzarse y establece criterios con los que se pueda aproximar la medida del parámetro de transmitancia térmica. Estos criterios son:

- Forzar las condiciones mediante una caja caliente y otra fría enfrentadas a cada lado del elemento a medir.
- Tomar una ventana temporal en la toma de los datos en la que las temperaturas se mantengan constantes durante un tiempo prudencial.
- Implementar un análisis dinámico mediante ecuaciones diferenciales que describan el comportamiento térmico del sistema para, posteriormente mediante simulación, determinar el valor de transmitancia térmica en estado estacionario.

Una vez tomados los datos y establecidos los criterios oportunos, el cálculo que debe llevarse a cabo viene dado mediante la ecuación (2).

$$U = \frac{q}{T_i - T_e} \quad (2)$$

Donde:

U es el parámetro de transmitancia térmica.

q es la cantidad de calor que atraviesa el elemento y que es medido mediante el sensor de flujo de calor.

T_i y T_e son las temperaturas ambiente interiores y exteriores respectivamente.

C. ISO 9869: 2018 parte 2

Esta norma establece que es posible medir la transmitancia térmica mediante cámara térmica y un medidor de coeficiente de transferencia de calor[8].

La medida de las temperaturas mediante la cámara térmica requiere que los parámetros de emisividad y temperatura reflejada sean conocidos, para ello deben incluirse un medidor Lambert y, al menos, un sensor de temperatura.

El proceso de medida, según dicta la norma, debe hacerse bajo las mismas condiciones que su primera parte, es decir, bajo condiciones de estado estacionario de conducción de calor, no obstante, la cámara enfocará al elemento bajo test a una zona donde la medida no se vea afectada por los elementos colindantes. En el mismo encuadre deben colocarse tanto el medidor Lambert, un cuerpo de emisividad conocida y un sensor de temperatura. De esta forma será posible fijar los parámetros de emisividad y temperatura reflejada en las opciones de la cámara, incluso a posteriori, en fase de procesamiento de las imágenes, en caso de que se necesitara una calibración de las temperaturas más ajustada.

la ecuación 3 relaciona las temperaturas medidas mediante la cámara térmica y las medidas del medidor de coeficiente de transferencia térmica con la transmitancia térmica.

$$U = \frac{h(\theta_{ni} - \theta_s)}{(\theta_{ni} - \theta_{ne})} \quad (3)$$

Donde:

θ_{ni} es la temperatura ambiente interior.

θ_s es la temperatura superficial interior.

θ_{ne} es la temperatura ambiente exterior.

h es el coeficiente de transferencia de calor medido mediante sensor específico.

III. CONCLUSIONES

La reducción de consumos es perseguida en cualquier ámbito de la vida cotidiana del ser humano. Para trabajar en esta línea y alcanzar los objetivos se deben realizar continuos análisis para comprobar el estado actual del proceso y poder emprender acciones que dirijan los esfuerzos para la consecución de dichos objetivos. Todas estas acciones se traducen en un futuro, en un consumo responsable y más eficiente de los distintos recursos energéticos.

En el sector de la edificación, estos consumos ascienden a casi un 40% de la producción total de energía, y producen una tercera parte de los gases de efecto invernadero. Si se llevan a cabo acciones ya extendidas en el sector de la construcción, se puede alcanzar un ahorro de entre un 50 y un 80% en la demanda energética[1], [5], [9].

A la hora de evaluar la transmitancia térmica para conocer el estado del aislamiento térmico de los elementos que componen la envolvente térmica deben seguirse uno de los tres estándares citados anteriormente, aunque cada uno de ellos presentan ciertos inconvenientes.

En el caso de la norma ISO 6946 de 2007 se trata de un método de cálculo teórico en el que se requiere conocer la

composición de los materiales que componen el elemento. Una estimación poco precisa o errónea de los materiales puede provocar grandes errores en la medida del parámetro U. Por esta razón en determinadas ocasiones, aplicar este estándar se vuelve inviable debido a que para asegurar la buena elección de los parámetros térmicos asociados a los materiales es necesaria la toma de una muestra del elemento en cuestión destruyéndolo parcial o totalmente.

En el caso de la norma ISO 9869 de 2014, en su primera parte, a pesar de tratarse de un método con bastante fiabilidad, al establecer como condición necesaria el estado estacionario del elemento, se hace un proceso bastante tedioso a la hora de la toma de los datos, ya que en algunos casos no es posible alcanzar dicho estado y la duración de la prueba se ve prolongada en el tiempo. En las zonas cálidas, en las que los inviernos son más suaves, a esta complicación se suma la cantidad de energía y tiempo necesario para alcanzar el gradiente térmico. Otro de los problemas que presenta esta norma es que, al tratarse de una prueba puntual, sólo se estará midiendo una pequeña parte del elemento que es considerada representativa y que no tiene en cuenta la no homogeneidad -existencia de puentes térmicos, debilidades etc.- del mismo. Por otro lado, para tomar dicho punto representativo es necesario realizar una primera vista general mediante cámara térmica para evitar dichos puntos débiles. A todos estos problemas se le suman los costes de adquisición de los equipos, así como la complejidad de análisis en caso de que se requiera el modelado dinámico del sistema.

Por último, la norma ISO 9869 de 2018, la cual supone la segunda parte de la normativa anterior, incluye la cámara térmica como elemento medidor principal. En este caso la cámara agiliza significativamente el proceso de medida ya que, una vez calibrada, la cámara es capaz de tomar las temperaturas del elemento completo, y según algunos autores, es posible reducir la duración de las pruebas a un par de horas con una baja incertidumbre en las medidas [10], [11]. El principal inconveniente que presenta esta regulación reside en la propia calibración del instrumento, ya que cada vez que cambie el elemento de medida se deberá llevar a cabo el proceso de recalibración mediante el radiador Lambert y un sensor de temperatura o un cuerpo con emisividad conocida. A esta norma se suman los contratiempos asociados a las condiciones térmicas a las que se deben realizar las medidas -condiciones de estado estacionario, gradiente térmico, etc.- y los problemas asociados al análisis de las imágenes térmicas.

La necesidad de llegar a un resultado fiable y de una forma relativamente inmediata se hace cada vez más notable a la hora de evaluar el aislamiento térmico en la edificación actual. Desde el Grupo de Control y Robótica TEP-192 de la universidad de Huelva se están llevando a cabo estudios y experimentos encaminados a resolver este tipo de necesidades evitando las limitaciones de la normativa actual.

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo se ha realizado en el seno del grupo de Control y Robótica TEP-192 en la Universidad de Huelva.

REFERENCIAS

- [1] T. y A. D. Ministerio de Energía, "PLAN NACIONAL DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017-2020," Madrid, 2017.
- [2] M. J. Andújar Márquez, Á. M. Martínez Bohórquez, and S. Gómez

- Melgar, "A New Metre for Cheap, Quick, Reliable and Simple Thermal Transmittance (U-Value) Measurements in Buildings," *Sensors*, vol. 17, no. 9, 2017.
- [3] Parlamento Europeo y El Consejo De La Unión Europea, "DIRECTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios," 2002.
- [4] S. Melgar, M. Bohórquez, J. Márquez, S. G. Melgar, M. Á. M. Bohórquez, and J. M. A. Márquez, "uMEB: Design, Construction, and Management Methodology of Minimum Energy Buildings in Subtropical Climates," *Energies*, vol. 11, no. 10, p. 2745, Oct. 2018.
- [5] Comunidad de Madrid, *Guía para reducir el gasto en calefacción central manteniendo el confort*. Madrid, 2016.
- [6] I. S. Organization, "UNE-EN ISO 6946: Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo." 2012.
- [7] I. S. Organization, "ISO 9869-1: 2014 Thermal insulation, building elements, in-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance, part 1: Heat flow meter method," 2017.
- [8] I. S. Organization, "Norma ISO 9869-2:2018." [Online]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso?c=067673>. [Accessed: 21-Jun-2019].
- [9] C. Morón, P. Saiz, D. Ferrández, and R. Felices, "Comparative analysis of infrared thermography and CFD modelling for assessing the thermal performance of buildings," *Energies*, vol. 11, no. 3, Feb. 2018.
- [10] B. Tejedor, M. Casals, M. Macarulla, and A. Giretti, "U-value time series analyses: Evaluating the feasibility of in-situ short-lasting IRT tests for heavy multi-leaf walls," *Build. Environ.*, vol. 159, Jul. 2019.
- [11] V. Tzifa, G. Papadakos, A. G. Papadopoulou, V. Marinakis, and J. Psarras, "Uncertainty and method limitations in a short-time measurement of the effective thermal transmittance on a building envelope using an infrared camera," *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 28–46, Jan. 2017.

Overtourism:

A Challenge for Smart Cities

Alfonso Vargas-Sánchez
 Management and Marketing Department
 University of Huelva
 Faculty of Business Studies and Tourism. Plaza de la Merced, 11. Huelva (Spain)
 vargas@uhu.es

Abstract- Major tourism destinations are facing increasing difficulties to tackle overcrowding, which seriously affect the quality of the tourists' experience and undermine the residents' quality of life. As a result, some cases of tourismphobia are starting to emerge. Therefore, dealing with this trouble is becoming a hot topic for tourism managers, particularly in urban destinations. To this respect, smart tourism initiatives can help to address this problem, facing the following questions: Is the disproportionate growth of tourism (too many tourists) the issue or, instead, a poor tourism management? Or both? A variety of approaches will be presented as possible remedies to this illness. Within them, technological solutions have a relevant role to play, having shown a significant capacity to be helpful. The compendium of best practices released by the European Commission in occasion to the "2019 European Capital of Smart Tourism competition" is also examined, particularly with regard to tourism dispersal.

Keywords: smart tourism; smart cities; overtourism.

I. INTRODUCTION

The development of smart cities has been the cradle of what we know today as smart tourism destinations (STDs), particularly in Europe, where "many of the smart tourism initiatives were born out of smart city projects, and their focus is more on innovation, competitiveness and developing smart end-user applications that support enriched tourism experiences" [1].

In general, smartness (or intelligence) represents the ability for a better understanding and solving problems (such as those related to overtourism) using knowledge, that is, based on data and information.

In the specific field of STDs, a literature review can be found in [2]. In addition, the following definition of this concept is suggested: "A STD is one that, from a shared vision by the actors involved in it, is based on an extensive use of cutting edge technologies in order to create an advanced digital space ... able to improve the whole management of the destination and, therefore, its differentiation and competitiveness. A STD is built on the values of innovation and sustainability, working to improve the tourist's experience and enhance the quality of life of local communities".

Overtourism problems, although not new, have definitely come into stage in the last few years, gaining momentum as tourism flows intensify: "overtourism volcanoes erupted all over the world and the issues associated with the industry's unmanaged and unsustainable growth were thrust into the media and the public spotlight" [3].

In order to have shared understanding of concerns arising from it, a situation of overtourism can be defined as "destinations where hosts or guests, locals or visitors, feel

there are too many visitors and that the quality of life in the area or the quality of the experience has deteriorated unacceptably. It is the opposite of Responsible Tourism which is about using tourism to make better places to live in and better places to visit" [4]. Major tourist destinations around the world, urban and others, are suffering this phenomenon and are struggling to minimize its negative impacts, which are becoming more and more noticeable. Thereby, how to address this challenge (consequence of a quantitative success) has emerged rapidly as a priority for both public and private tourism managers in an increasing number of destinations.

Without effective measures to offset this "tsunami" and the subsequent disaffection, the consequences of overtourism will get worse and worse, since "there are 300 million people from China and India getting ready to travel the world. We are in a hurry to do something", in Eberhard van der Laan's words, Mayor of Amsterdam [5].

But problems are not only caused by excessive quantities of tourists/excursionists. Its complexity is also affected by changes in how people behave. What is known as "Millennials Instagrammability" is an example. To this respect, Justin Francis, chief executive of Responsible Travel, declared that "years ago, tourism was about experience seeking. Now it's about using photography and social media to build a personal brand. In a sense, for a lot of people, the photos you take on a trip become more important than the experience" [6]. Therefore, social media has been also blamed as one of the catalysts of overtourism.

As a result, more and more experts are claiming for a new metric of success. One of them is André Gerondeau, Meliá Hotels' Chief Operating Officer: "I think it has to do a lot with quality over quantity and how do you segment correctly" [7]. This has favoured a perverse approach of tourism development rooted in the maximization of the quantity of visitors, along with the short term visions of business people and politicians, neglecting the need of "having a tourism industry that thrives rather than grows. Without this clear distinction, problems will continue" [8].

Around this multidimensional and complex phenomenon, as described by [9], a couple of critical questions arise, which should be answered in order to find the most convenient approach for each particular case:

*Is the disproportionate growth of tourism (too many tourists) the issue or, instead, a poor tourism management? Or both? In general, destinations need to push tourists beyond the bucket-list spots, and use everything (from local artists and technology) to push tourists to less-visited places.

*But firstly, do we know our market? Not everyone is keen to set off the beaten track. If it's a first-time visit to a popular city, then the big sights are going to be a must. Therefore, it's essential a proper evaluation of who are visiting, where they are from, how long they are staying and what attracted them to visit in the first place. Only then you can start to work out which travellers to target, and how to do it.

In the next section a number of approaches to overtourism will be synthesized.

II. APPROACHES TO OVERTOURISM

Starting with the consultancy company McKinsey [10], it has established its own framework composed of five "tactics for addressing overcrowding": smooth visitors over time (establish arrival limits, deploy reservations and ticketing systems, use technology to nudge visitors in real time, extend seasons and shift the focus of promotions); spread visitors across sites (promote less-visited attractions, develop new routes and attractions); adjust pricing to balance supply and demand (implement specific taxes and fees, charge the "actual" cost, shift to variable or tiered pricing); regulate accommodation supply; limit access and activities.

Secondly, the media company Skift, Inc. -through its site Skift.com devoted to offer reporting and analysis on the travel industry- proposes the following five lines of actions to struggle against the adverse effects of overtourism [11]: limiting transportation options (such as the access of low-cost carriers to airport terminals or cruise ships); make it more expensive (adjusting price policies); better marketing and education (sometimes de-marketing); better collaboration among stakeholders (favouring their coordination); protect overcrowded areas (with new and tighter regulations).

Thirdly, the organization specialized in responsible tourism "Conserve Tourism" contemplates seven solutions in its own proposal [12]: complete destination closure; time restrictions; segregation of tourists from the local population; taxing tourists (including visas to control the number of entries); reducing (or even suspending) the granting of new accommodation licenses; encouraging a more responsible behaviour when travelling through education; creating alternative routes and destinations.

Fourthly, the recommendations from the World Travel & Tourism Council [13] are listed next:

*Planning: solutions require long-term planning; public sector, private companies and local communities must work together.

*Product: diversify the product away from mainstream; encourage visits to different places at different times to experience different things.

*Technology: use technology to improve visitor experience /offer and to communicate with communities.

Fifthly, the World Tourism Organization (UNWTO) has identified 11 strategies (deployed in 68 measures) to help understand and manage visitors' growth in cities [14]. These strategies are: 1. Promote the dispersal of visitors within the city and beyond. 2. Promote time-based dispersal of visitors. 3. Stimulate new visitor itineraries and attractions. 4. Review and adapt regulations. 5. Enhance visitors' segmentation. 6. Ensure local communities benefit from tourism. 7. Create city experiences that benefit both residents and visitors. 8. Improve city infrastructure and facilities. 9. Communicate with and

engage local stakeholders. 10. Communicate with and engage visitors. 11. Set monitoring and response measures.

And finally, a proposal drew from the observation of successful experiences of tourists in highly congested destinations -thus centred on the tourist's behaviour- reveals five superordinate themes: smart preparation, smart traveller, smart guest, smart technology user and smart immersion [15]. The fourth one is the pivotal one for our purpose here.

III. TECHNOLOGICAL SOLUTIONS AND TOURISM DISPERSAL

Although the analysis of the variety of causes of overtourism is beyond the scope of this paper, it is clear that "the way tourism is managed has a direct impact on carrying capacity and the resilience to overtourism" [16]. In this regard, new technologies can help to improve tourism management performance. In fact, to "invest in technology, innovation and partnerships to promote smart cities – making the best of technology to address sustainability, accessibility and innovation" is one of the policy recommendations offered by the UNWTO [14]. For example, the use of new technologies (apps and others) to stimulate dynamic time-based dispersal; and the use of big data and new technologies to monitor and evaluate tourism performance and impact.

Some good practices follow:

*In Italy's hugely popular Cinque Terre, where a ticketing system began in 2016, a phone app shows visitors real time congestion on the trails, and points them in the direction of alternatives.

*The Australian state of Tasmania has experimented with offering travellers with free smartphones that track their movements to provide more visibility to industry stakeholders on traveller behaviour.

*Barcelona is one of the first cities to install SmartCitizen (<https://smarcitizen.me/>) 'environmental monitoring' sensors to track noise and pollution levels and generate statistical evidence of tourists' impact on the quality of life of local residents.

*The city of Trento, with its TreSight experience, has created Smart POIs (Points Of Interest) outside the overcrowded areas and encourage tourists to enjoy them using digital technologies (such as Physical Web technology based on Bluetooth Beacons).

*To tackle overtourism in central London, dispersing visitors across the city to avoid congestion, a free mobile gaming app ("Play London with Mr Bean") "shows travellers different attractions around London that, when visited, earns the points to redeem for vouchers and discounts around the city" [17].

*The Valencia Tourism and the Valencia Institute of Housing have joined forces to start a new project known as "Alter Eco", intended to collect data with the aim of reducing the concentration of tourists in hot spots by showcasing new areas. By downloading the "Alter Eco Valencia app", tourists can discover new routes through the city and local traditions [18].

*CzechTourism is betting on the geographical diversification of tourism in the Czech Republic to alleviate the tourist pressure on Prague. In this sense, a number of start-ups are focused on facilitate contact with local drivers who speak English, select a car and driver to move around the country or discover amazing places in their various regions

through platforms, apps and video games such as “Kingdom Come: Deliverance”.

Other inspiring actions for tourism dispersal are listed below:

*Thailand, beyond its most popular destinations, is marketing its “12 Hidden Gems Plus”, and has experienced tourism growth at these attractions. Amsterdam is marketing the hidden treasures in the various city’s neighbourhoods, like other cities (Venice, Barcelona...), with a consistent redesign of City Cards. To this regard, travel influencer (such as bloggers) have a vital role to highlight the referred “hidden gems or treasures”, in addition to make sure that they are easy to explore (accessible via public transport, with clear, transparent information on ticket prices and promotions for visitors). It has to be noted that succeed in attracting travellers away from crowded hotspots requires knowing how to appeal to their sense of curiosity and how to fulfil their desire for different experiences.

*To manage tourist flows more sustainably, the Brussels tourism board has launched the initiative ‘MIXITY walks’ to encourage visitors to explore all city districts [18]. Off-season travelling incentives in Lyon, Poznań, Tallinn and Ljubljana have been also listed in the compendium of best practices released by the European Commission in 2019 [18].

*Some tour operators are also taking actions to avoid overcrowding [19]: offering off-season and off-the-beaten-path trips, adjusting their itineraries; travelling in smaller groups; employing local guides and favouring the enjoyment of local authentic experiences.

Nevertheless, some voices, such as “Amsterdam in Progress” (an independent think tank that develops concrete plans to stimulate balance in the city), argue that spreading tourists will not solve the problem of overcrowding, favouring, conversely, more growth and preventing for addressing the real foundations of this problem. Specifically, six reasons are provided by “Amsterdam in Progress” [20]: spreading requires certain conditions; the concept of spreading clashes with human behaviour; spreading tourists is as effective as whistling in the wind; spreading does not provide a solution to the perceived pressure; spreading will quickly disrupt the balance outside the city centre; spreading will probably aggravate the problem.

IV. CONCLUSIONS

Overtourism refers to “the impact of tourism on a destination, or parts thereof, that excessively influences perceived quality of life of citizens and/or visitors’ experiences in a negative way” [14]. As a result, when local communities are becoming increasingly hostile to forms of tourism that are imposed on them and diminish their quality of life, it is evident that something has to be changed, since “the state of overtourism is a consequence of tourism using the destination rather than the destination using tourism” [21].

Overtourism relates to other concepts such as carrying capacity, resilience and sustainability, so that problems come out when certain limits are surpassed. Although these are site specific problems, in general “it is clear that economic priorities have taken precedence over social and environmental concerns. What is also clear is that, although relative, more and more destinations may face these issues if action is not taken” [22].

In [8] the most frequently cited solutions for dealing with overtourism issues are outlined: dispersal of tourists, de-marketing, responsible marketing to attract a different type of visitor, limiting numbers, facility provision, imposition of controls, information/education (for tourists and residents), taking a long-term view in planning and management, resilience rather than sustainability. Within this framework, new technologies, as a transversal factor, have a valuable role to play, if efforts in this field are aligned with a long-term plan to combat and mitigate (even prevent) overtourism troubles. The examples collected here can illuminate their potential, being aware that technology will not solve all the problems and that its effectiveness will be adversely affected if these initiatives are isolated and uncoordinated.

Nevertheless, the experience gathered on managing the problems that overcrowding is causing in tourist destinations of any type, including cities (where this is becoming a major issue in more and more cases across the globe), leads us to conclude that not simple solutions exist. By the contrary, a holistic approach and long-term planning are needed. In any case, a significant improvement will take time and conflicts will be unavoidable in this process, so that the ability to dealing with them is critical. More specifically, remedies will require: a creative tourism management, fixing pricing failures, regulation and encouragement of cooperation among stakeholders, a reliable measurement of impacts and a significant effort for educating tourists -Venice with its #EnjoyRespectVenezia campaign (<https://www.comune.venezia.it/en/content/enjoyrespectvenezia>), Iceland with its “Icelandic pledge” (<https://www.inspiredbyiceland.com/icelandicpledge>), and Lisbon with its ‘we hate tourism’ tours (<https://www.independent.co.uk/travel/europe/lisbon-tourists-we-hate-tourism-tours-locals-responsible-travel-portugal-a7919571.html>) are good examples-. Even some experts argue in favour of a strategy of degrowth: “The conflicts represented by overtourism are a wake-up call; pursuing equitable and just degrowth strategies will be increasingly vital if tourism is to have a sustainable future” [23].

It is also worth to mention a new approach that came out very recently, with a different perspective of this problem, named as “Planet Happiness”, which “provides a methodology and resources to enable host communities and wider stakeholders to guide tourism development away from overtourism and towards destination happiness, well-being and sustainability” [24].

Finally, going back to new (smart) technologies, some qualified voices warn that “technological or smart solutions alone will not solve overtourism—The importance of technological solutions to combat overtourism should not be overestimated, given that the issue of overtourism is largely social in nature—different groups of city users sharing and competing for the same space. In addition, new technologies also lead to or intensify specific issues in the city (e.g., sharing economy accommodation platforms)” [9].

Likewise, the UNWTO is crystal clear to this respect: “Technological or smart solutions alone are important but will not solve the issue of tourism congestion. Smart technologies are considered the most effective solution to tackle congestion management. Yet notwithstanding the immense potential benefits of such tools, they alone are not enough. Addressing the challenges facing urban tourism requires intense

cooperation between multiple stakeholders, which is a long-term effort, particularly if stakeholders have conflicting interests” [14]. A broad alliance with society seems, therefore, essential. In other words, a public-private-people partnership, where local communities (people) cannot be absent.

This perspective is reaffirmed by Milano, Cheer & Novelli [25] when they state: “Planning strategies to deal with overtourism or solutions tied to use of smart technologies might help in the short term, but adequate long-term solutions require policy maker interventions rather than simply relying on technical and industry-driven approaches. As far as policy maker interventions are concerned, nothing less than a paradigm shift is needed to move from simply associating tourism success with simplistic appraisals of tourist arrivals and their associated expenditure, and instead to give hosts (and wider social-ecological concerns) due consideration”. This is the real dimension of the challenge, much beyond technologies.

REFERENCES

- [1] C. Lamsfus, D. Martín, A. Alzua-Sorzabal and E. Torres-Manzanera, “Smart tourism destinations: An extended conception of smart cities focusing on human mobility”, in *Information and Communication Technologies in Tourism*, I. Tussyadiah and A. Inversini, Eds, Heidelberg: Springer, 2015, pp. 363-375.
- [2] A. Vargas-Sánchez. “Exploring the concept of Smart Tourist Destination”, *Enlightening Tourism: A Pathmaking Journal*, vol. 6, no. 2, 2016, pp. 189-190.
- [3] J. Francis, “Overtourism. It’s time for some answers”, in *Overtourism. Issues, realities and solutions*, R. Dodds and R.W. Butler, Eds, Berlin: De Gruyter, 2019, p. III.
- [4] H. Goodwin. The challenge of overtourism (Responsible Tourism Partnership, Working Paper 4, October 2017, p. 1) [Online]. Available: <http://haroldgoodwin.info/pubs/RTPWP4Overtourism012017.pdf>
- [5] J. Novy. “Urban tourism as a bone of contention: four explanatory hypotheses and a caveat”, *International Journal of Tourism Cities*, vol. 5, no. 1, p. 65, 2019.
- [6] U. Gretzel, “The role of social media in creating and addressing overtourism”, in *Overtourism. Issues, realities and solutions*, R. Dodds and R.W. Butler, Eds, Berlin: De Gruyter, 2019, p. 69.
- [7] Skift.com (2018, July 23). Meliá Hotels Wants to Address Overtourism by Focusing on Quality Over Quantity [Online]. Available: <https://pulsar.travel/detail.php?news=362316>
- [8] R. Dodds and R.W. Butler, “Conclusion”, in *Overtourism. Issues, realities and solutions*, R. Dodds and R.W. Butler, Eds, Berlin: De Gruyter, 2019, pp. 262-274.
- [9] K. Koens, A. Postma and B. Papp. “Is Overtourism Overused? Understanding the Impact of Tourism in a City Context”, *Sustainability*, vol. 10, no. 12, 2018, pp. 4384-.
- [10] McKinsey & Company and World Travel & Tourism Council. (December 2017). Coping with success: Managing overcrowding in tourism destinations [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-transport-and-logistics/our-insights/coping-with-success-managing-overcrowding-in-tourism-destinations>
- [11] A. Sheivachman (2017, October 23). Proposing Solutions to Overtourism in Popular Destinations: A Skift Framework [Online]. Available: <https://skift.com/2017/10/23/proposing-solutions-to-overtourism-in-popular-destinations-a-skift-framework/>
- [12] Conserve Tourism (2017, April 28). Overtourism – The Industry’s solutions [Online]. Available: <https://conservetourism.com/2018/04/28/overtourism-solutions/>
- [13] G. Guevara (2018, March). Tackling Overtourism at Destinations [Online]. Available: https://www.itb-kongress.de/media/itbk/itbk_dl_all/itbk_praesentationen2018/ITB_Future_Day_Tackling_Overtourism_At_Destinations_Gloria_Guevara_Manzo.pdf
- [14] UNWTO. Overtourism? Understanding and managing urban tourism growth beyond perceptions: Executive Summary. Madrid: UNWTO, 2018, pp. 1-12 [Online]. Available: <https://www.e-unwto.org/doi/book/10.18111/9789284420070>
- [15] P.L. Pearce, “Limiting overtourism: the desirable new behaviours of the smart tourist”, t-Forum Conference 2018, Palma de Mallorca, 11-13 March [Online]. Available: <http://tforum.today/2018/wp-content/uploads/2018/03/Limiting-overtourism-the-desirable-new-behaviours-of-the-smart-tourist.pdf>
- [16] F. Weber. Tourism destinations under pressure (Institute of Tourism ITW, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Working Paper, May 2017, p. 199) [Online]. Available: https://static1.squarespace.com/static/56dadbc6d210b821510cf939/t/5909cb282e69cfc1c85253749/1493814076440/WTFL_study+2017_full+version.pdf
- [17] D. Peltier (2018, June 27). London Uses Mobile Gaming App to Help Tackle Overtourism [Online]. Available: <https://skift.com/2018/06/27/london-uses-mobile-gaming-app-to-help-tackle-overtourism/>
- [18] Scholz & Friends Agenda (2019, June). Compendium of Best Practices ‘2019 European Capital of Smart Tourism competition’ [Online]. Available: https://smartrtourismcapital.eu/wp-content/uploads/2019/07/Compendium_2019_FINAL.pdf
- [19] J.K. Robinson (2018, March 24). Don’t Stop Traveling: How Tour Operators Are Combating Overtourism [Online]. Available: <http://www.afar.com/magazine/dont-stop-traveling-how-tour-operators-are-combating-overtourism>
- [20] Amsterdam in Progress (2018, September). Spread and overtourism [Online]. Available: http://www.amsterdaminprogress.nl/INPROGRESS_N012_E.pdf
- [21] H. Goodwin. The challenge of overtourism (Responsible Tourism Partnership, Working Paper 4, October 2017, p. 10) [Online]. Available: <http://haroldgoodwin.info/pubs/RTPWP4Overtourism012017.pdf>
- [22] R. Dodds and R.W. Butler, “Introduction”, in *Overtourism. Issues, realities and solutions*, R. Dodds and R.W. Butler, Eds, Berlin: De Gruyter, 2019, pp. 4 & 262.
- [23] F. Higgins-Desbiolles, S. Carnicelli, C. Krolkowski, G. Wijesinghe and K. Boluk, “Degrowing tourism: rethinking tourism”, *Journal of Sustainable Tourism*, published online: 22 April 2019. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09669582.2019.1601732>
- [24] L. Musikanski, P. Rogers, S. Smith, J. Koldowski, and L. Iriarte, “Planet Happiness: A Proposition to Address Overtourism and Guide Responsible Tourism, Happiness, Well-being and Sustainability in World Heritage Sites and Beyond”, *International Journal of Community Well-Being*, published online: 20 September 2019. Available: <https://doi.org/10.1007/s42413-019-00038-6>
- [25] C. Milano, J.M. Cheer, and M. Novelli, “Overtourism. Excesses, Discontents and Measures in Travel and Tourism”, Wallington: CABI, 2019, p. 7.

Iconos Artísticos y Turismo Sostenible en Ciudades Inteligentes Europeas

Morillas-Alcázar, José-María; García-Ponce, David

Departamento de Historia, Geografía y Antropología
Grupo de Investigación “Patrimonio y Artes Visuales” HUM068
Universidad de Huelva (España)

Facultad de Humanidades. Campus El Carmen. Avda Tres de Marzo s/n 21071-Huelva
jose.morillas@dhga.uhu.es, davidgponce@gmail.com

Resumen- Los iconos artísticos se han convertido en un referente del turismo sostenible. En esta línea, algunas de las principales ciudades inteligentes europeas (Milán, París) los han creado, caso de Leonardo da Vinci (1452-1519), para desarrollar un turismo cultural de calidad. Estas iniciativas provocan la dinamización del tejido urbano y empresarial para un desarrollo equilibrado, a través de entidades pertenecientes al ámbito público y/o privado. El análisis de las estrategias para generar estos iconos es una parte esencial para comprender todo el proceso de generación de recursos que redundan en el beneficio de una comunidad y de un territorio. Asimismo, el éxito de este modelo está igualmente basado en un sistema de gobernanza de carácter participativo, involucrando al ciudadano en la toma de decisiones y en la importancia de las redes telemáticas.

Palabras Clave- Ciudades Inteligentes Europeas, Iconos artísticos, Patrimonio, Turismo sostenible.

Abstract- Artistic icons have become a reference for sustainable tourism. Along these lines, some of the main European smart cities (Milan, Paris) have created them. This is the case of Leonardo da Vinci (1452-1519), an icon that has contribute development in the quality cultural tourism. These initiatives help the revitalization of the urban business activity for a balanced development, through public entities and private sector. The analysis of the strategies to generate these icons is an essential part to understand the whole process of generating resources in benefit of a city or a country. Likewise, the success of this model is also based on a participatory governance system, involving citizens in decision-making process and the importance of telematic networks.

Keywords- Europe ScienCity, European Smart Cities, Artistic icons, Heritage, Sustainable Tourism.

I. ICONOS ARTÍSTICOS Y SMART CITIES

Ya desde el Renacimiento la ciudad ideal es una de las grandes búsquedas de los artistas que querían plasmar en sus lienzos posibles imágenes de su configuración, basadas en postulados de tratadistas como Leon Battista Alberti en *Raedificatoria* (1450, 1485) [1] o Francesco di Giorgio Martini en su Tratado de Arquitectura civil y militar (1479-1481) para crear la Ciudad ideal.

Es indudable que, en estas visiones, no solo el urbanismo y los edificios servían para el bienestar de los ciudadanos sino que, para conseguir el equilibrio y la armonía, el apoyo fundamental era la cultura, en general, y el patrimonio en particular. La estampa que nos ofrecen obras, como las atribuidas a Piero della Francesca o Fra Carnevale, presentan amplios foros o plazas públicas a las cuales se accede a través

de vías con marcados ejes ortogonales. En ellas se aúnan los ensayos de nuevos espacios y edificios de planta centrada, junto a la persistencia de arcos triunfales y anfiteatros romanos, destacando así la importancia de la conservación del pasado para el presente. El binomio pasado e innovación está igualmente muy presente en lo que podríamos denominar como nueva ciudad ideal en el siglo XXI, conocida como ciudad inteligente o *smart city*. En estas “nuevas” ciudades ideales contemporáneas, los referentes culturales han sido valorados de manera desigual y, por ello, habría que incidir en su importancia como recurso sostenible en estas urbes. Hay ejemplos paradigmáticos que nos indican las grandes posibilidades que tienen y como redundan en la eficacia, calidad, sostenibilidad y buena orientación en la gobernanza, tanto para la ciudadanía como para aquellos turistas que las visitan. Esta potencialidad, basada en el Patrimonio, cuenta con evidencias tangibles en las declaraciones UNESCO Patrimonio mundial de la Humanidad en Europa (Italia es el primer país, España el tercero y Francia el cuarto) [2].

Este importante recurso patrimonial adquiere su máxima cota a través de los iconos artísticos que nos introducen en un discurso *massmedia* en el que la iconosfera contemporánea se convierte en el foco principal de las actuaciones. Por ello, a las anteriormente citadas declaraciones, habría que sumar, en los últimos tiempos, el papel relevante de aquellos artistas que se vinculan con determinadas ciudades, de manera directa o indirecta, y que, a través de una serie de maniobras, se convierten en iconos artísticos con múltiples funcionalidades que entroncan directamente con la gobernanza de las mismas. Un ejemplo paradigmático es el creado por Milán con la figura de Leonardo da Vinci (1452-1519) [3], convertido en un auténtico icono de la ciudad, tras haberse generado previamente su consideración como un genio universal de la cultura occidental. La que podríamos denominar como “operación Leonardo” se centró en los casi veinte años (1482c-1499) que el artista pasó en esta ciudad, en la época capital del Ducado de Lombardía, a las órdenes de Ludovico Sforza (1478-1494, 1494-1499, 1500), conocido con el sobrenombre de “el moro”. En ella se encontraba una de sus obras más famosas, La “Santa Cena” o Cenáculo en el conjunto monástico de Santa María de las Gracias, mandado a construir por Francesco Sforza, padre de Ludovico que más tarde se convertiría en panteón de la familia. En esta fundación perteneciente a la Orden de Predicadores, conocidos popularmente como dominicos, se pintó en el refectorio (1494-1497) una obra revolucionaria, no por su iconografía que seguía el modelo tradicional florentino, sino

por el tipo de técnica de rápido secado. Paradójicamente, el éxito de la obra se vinculó con el fracaso de la técnica, debido a la alta concentración de humedad que se encontraba bajo el suelo de la estancia al pasar una corriente de agua.

Si analizamos la biografía de Leonardo, su nacimiento en Anquiano (pedanía del ayuntamiento de Vinci) y su formación en Florencia hipotéticamente lo vincularía más con esta ciudad que alcanza el rango de tercera ciudad inteligente italiana que con Milán. La creación del icono asociada a Milán, en la que solo reside menos de un tercio de su vida, es una inteligente maniobra *massmedia* fraguada en varias etapas que comienza con la acuñación en el 2000 de la medalla del nuevo milenio en representación de Italia que mostraba el famoso “El hombre de Vitruvio” (1490c.), conservado en la Galería de la Academia de Venecia [4]. A ello se sumó en 2013 la exposición: “Leonardo da Vinci: l’uomo universale” (29 agosto-1 diciembre 2013) también en la Galería de la Academia de Venecia cuyo objetivo fue mostrar el carácter universal de su figura que más tarde se fusionaría en la Exposición Universal de Milán 2015.

Este primer paso continúa con otras iniciativas, principalmente sustituir el slogan “Milano Fashion” por “Milano città di Leonardo” y crear la “Leonardo Card: il modo più facile per scoprire la città di Leonardo” (Tarjeta Leonardo: el modo más fácil para descubrir la ciudad de Leonardo) y actualmente la “Leonardo 500” para conmemorar el quinientos aniversario del fallecimiento del genio en 2019. A ello se ha unido la Open City Leonardo vinculada con una app y una web [5]. Otras iniciativas vinculan a Leonardo con Milán y con uno de sus edificios emblemáticos, la catedral o *Duomo*, cuyo *tiburium* o cimborrio-linterna fue diseñado, junto con Bramante, por Leonardo. Será este edificio el punto de partida de la iniciativa “You are Leo”, una de las grandes novedades de realidad virtual creadas con motivo del 500 aniversario del fallecimiento del artista. El recorrido continuará por la *Porta Vercellina*, lugar en el que Ludovico Sforza regaló un viñedo a Leonardo por: «le svariare e mirabili opere da lui eseguite per il duca» [6]; en sus inmediaciones, con motivo de la Exposición Milán 2015, se montó un viñedo que conmemoraba el de Leonardo, denominado La Vigna [7].

Las exposiciones sobre Leonardo da Vinci igualmente pueden encontrarse en las políticas de gobernanza de las ciudades inteligentes, caso de la presentada en la Galería de la Academia de Venecia: *Leonardo da Vinci: l’uomo universale* (29 agosto - 1 diciembre 2013) preámbulo a la elección de *L’uomo di Vitruvio* como parte del logo de la Exposición de Milán 2015 y tras su difusión a través de la medalla conmemorativa de Italia para el nuevo milenio. Otro ejemplo en una de las ciudades claves en las Smarts europeas, sería la efectuada en la *National Gallery* de Londres (9 noviembre 2011 – 5 febrero 2012) que específicamente trató el periodo milanés leonardesco como pintor de la corte de Ludovico Sforza.

La relación de Leonardo con Milán, a través de su controvertida estancia en la corte de Francisco I y encontrarse su tumba en el castillo de Amboise (Loira), junto a obras del artista de fama mundial, como La Gioconda o La Virgen de las Rocas que forman parte de la colección permanente del Museo del Louvre. París, ciudad *Smart* que incluye entre sus recursos el patrimonio, con ocasión del quinto centenario del fallecimiento, no podía dejar pasar esta oportunidad, organizando una muestra retrospectiva en la que se

expusieran, tras complicadas gestiones con otros museos y coleccionistas, 162 obras de las que únicamente forman parte del catálogo del artista, 20 [8]. La respuesta milanese, como comentamos anteriormente, a este 500 centenario del fallecimiento, se ha basado en las nuevas tecnologías y en la definición de nuevas estrategias y recreación de espacios leonardescos como “You are Leo”, “La Vigna di Leonardo” o la experiencia de inmersión interactiva “Leonardo 3D” en la *Fabbrica del Vapore*, complejo fabril Carminati e Toselli, dedicado a la producción ferroviaria, activo hasta 1936 y recuperado en 2001. Es de destacar la participación ciudadana en este evento, a través de composiciones de *Street Art* realizadas en la segunda estación en importancia de Milán, *Porta Garibaldi*, cuyo tema principal es la figura de Leonardo. Esta última acción se relaciona directamente con uno de los principales postulados de la conocida como “Declaración de Baeza de Asociaciones e Industrias Culturales” de 28 de noviembre de 2009, en cuyo punto 5 se indica: “Poner en el centro de los proyectos culturales a los ciudadanos, destacando que el patrimonio y sus usos deben tener como uno de sus principales objetivos, la mejora de la calidad de vida a través de la praxis cultural compartida” [9].

Otros iconos artísticos en ciudades inteligentes europeas se han convertido en referentes para el desarrollo sostenible, aunque siempre con unos planteamientos basados en la generación de estrategias que, con artistas vinculados con estas urbes, presenten una nueva visión de los mismos. Es el caso de Bartolomé Esteban Murillo (1617-1682) en Sevilla, en ocasión del cuarto centenario del nacimiento del artista en 2017. En las actividades previstas, realizadas en 2017 y 2018, el eslogan fue: “Murillo. La mirada innovadora”, el término “innovador” fue el principal eje de articulación ya que, con anterioridad, vírgenes, santos y obras religiosas eran los reclamos del autor. Ahora en cambio se sustituía por poner de manifiesto a un poco conocido Murillo, interesado por los niños mendigos, las prostitutas y el retrato de una realidad social que no gustaba en la época; en una ciudad que en la segunda mitad del XVII fraguaba un espejismo de esplendor pasado vinculado con la prosperidad del puerto de Indias del siglo anterior.

Otras *smarts* europeas, con zonas específicamente delimitadas, utilizan estos iconos artísticos, caso de Amsterdam, con la figura de Rembrandt van Rijn (1606-1669) o Amberes con Pedro Pablo Rubens (1577-1640). Nuevamente, la “Declaración de Baeza de Asociaciones e Industrias Culturales” en su título once nos ofrece las claves, al indicar que el turismo “como campo con múltiples posibilidades de expansión, a través de propuestas creativas” hace que la sociedad demande “otras vías de acercamiento al patrimonio compatibles con sus inquietudes e intereses” [10].

II. TURISMO SOSTENIBLE Y SMART CITIES

Una ciudad inteligente es aquella que hace un uso intensivo de las tecnologías en aras a mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, a todos los niveles: movilidad, seguridad, actividades participativas y de colaboración, y la aplicación de un desarrollo sostenible. La evolución hacia una ciudad inteligente depende de variables como la cultura del lugar, la economía local, los recursos disponibles y su ubicación.

Tras los ejemplos expuestos, podemos comprobar como el turismo juega un papel decisivo en la puesta en práctica de

las iniciativas culturales y, por descontado, en la difusión de ellas. Para analizar esta cuestión recuperamos las ideas expuestas anteriormente de Ciudad Ideal en el s. XXI. Esta, entre otras múltiples variables, será aquella que aporte una calidad de vida a sus habitantes y/o visitantes, y, ya en los últimos tiempos, aquella que esté digitalmente avanzada y en condiciones de adaptar las nuevas tecnologías (*High-Tech*) a los recursos de la ciudad. En caso contrario, estaríamos hablando de una Brecha Digital que le restaría competitividad.

Si tenemos en cuenta que turismo, y en concreto el desarrollado en entornos urbanos, relaciona algunas de las variables anteriores, podemos deducir que se establece una relación estrecha entre este sector económico y las *smart cities*. En efecto, el turista, como consumidor de experiencias digitales, es cada vez más exigente y su reto es buscar nuevas sensaciones y emociones en las que poder interactuar. Por consiguiente, los destinos turísticos deben proponer, por una parte, versiones inteligentes basadas en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y, por otra, crear una ciudad sostenible. Estos dos últimos objetivos son los pilares de un *smart destination tourism*.

En lo que se refiere a las TIC, estas influyen de modo decisivo en el desarrollo y la producción de procesos turísticos [11]. Es decir, los turistas se convierten en consumidores de un destino, en el cual disfrutan de una experiencia integrada por los diferentes agentes turísticos del lugar. Por tanto, la versión inteligente de un destino turístico debe disponer de una red digital, formada por tecnologías que faciliten experiencias que puedan implicar al visitante.

Otro reto importante es la sostenibilidad, entendiendo por esta la capacidad de recuperar los recursos propios de un territorio e integrarlos en la producción local. Este proceso implica una concienciación medioambiental, basada fundamentalmente en un respeto con el entorno, y un aprovechamiento de recursos tangibles e intangibles, entre los que juegan un papel importante el patrimonio de una ciudad. Es decir, la sostenibilidad tiene como finalidad conseguir el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. Todo ello supone un objetivo a corto plazo y a medio plazo. En esta línea, todo *Smart Destination Tourism* debería integrar paulatinamente los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) para la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y además deberían estar presentes en la gobernanza de ciudades con este apelativo.

Una de las primeras líneas de actuación en la hoja de ruta sería la elección de puntos de interés patrimonial artístico y natural, basados en informes de expertos en la materia y en su adecuación inteligente. En este proceso se pueden incluir desde espacios individuales, colectivos hasta rutas temáticas. Una vez desarrollado el inventario y como paso previo al desarrollo de actividades turísticas, deberían implantarse las *Big Data*, con la finalidad de obtener la información necesaria para crear un perfil de visitante y detectar las necesidades de la ciudadanía con respecto al patrimonio de la ciudad.

Con esta base de datos, el siguiente paso sería el diseño de actividades basadas en el uso de las TIC. Sin lugar a dudas, una fase decisiva para el rendimiento y éxito de la inversión. En definitiva, se trataría de integrar el entorno real con el digital, es decir, la combinación de la experiencia

cultural física con las posibilidades multimedia. Asimismo, se trataría de buscar el equilibrio entre lo atractivo para el consumidor, lo económicamente factible y lo tecnológicamente posible [12]. Esta labor permite al visitante participar de forma activa en la experiencia y, en muchos casos, se puede conseguir una buena integración de los de los ciudadanos y/o visitantes. Por ejemplo, un turista participa en una actividad gastronómica que consiste en seleccionar a través de una aplicación, un conjunto de establecimientos que se ajusten a sus gustos culinarios. En esta actividad intervienen también los comerciantes de la zona (*smart zone*), con lo cual habrá una interacción entre ambos agentes. Tampoco podrá faltar en la hoja de ruta el compromiso medioambiental y la aplicación efectiva de una política de sostenibilidad en la gobernanza. Esta última necesitará la supervisión de organismos competentes, para evitar que el compromiso por parte de los prestatarios de servicios no se limite a una estrategia de marketing.

Tras los ejemplos del caso francés e italiano y los datos que corroboran los últimos congresos y encuentros internacionales [13], se puede considerar que, con la correcta aplicación de las líneas de actuación expuestas, puede repercutir positivamente en un Destino Turístico Inteligente y suponer una oportunidad de negocio.

El reto comercial de transformar una urbe en *smart city* supone la implicación de varios sectores de la economía local con una repercusión positiva en el tejido productivo de la ciudad. De forma paralela se producirá una mejora en la calidad de vida de los ciudadanos y de los visitantes que esta recibe.

Ya en el ámbito cultural, se diría que este proceso de modernización repercute en la mejora del patrimonio cultural: en el capital intelectual de la población y en la promoción y difusión de los bienes culturales. De igual modo, el uso de las nuevas tecnologías y la inmersión en las experiencias diseñadas con tecnología digital, repercuten en el grado de satisfacción, incluso se diría que asistimos a un fenómeno de “humanización de la tecnología”. Además, las nuevas tecnologías permiten conocer la opinión del usuario casi de forma inmediata, tras concluir las actividades.

Como repercusión global se puede decir que la evolución de un núcleo urbano hacia una *smart city* y, en concreto hacia un Destino Turístico Inteligente, supone una mejora en la economía de la ciudad, una revalorización de su patrimonio urbano y una creación de nuevos recursos a través de los iconos artísticos.

III. CONCLUSIONES

La creación de iconos artísticos se convierte en un recurso para las ciudades inteligentes que tomen como base el patrimonio histórico y cultural de las mismas.

Estos iconos se generan a través de la relación de un artista con su entorno. El proceso seguido con Leonardo da Vinci es un modelo transportable a otros autores y otros territorios.

Los beneficios del modelo engloban al ciudadano y al visitante, generando además una participación de la población nativa y foránea.

La gobernanza eficaz implica una toma de conciencia hacia la obtención de recursos económicos basados en la sostenibilidad.

En el diseño de una Smart Destination Tourism, se hace indispensable la inclusión de las TIC para una optimización de los resultados. Esta adaptación tecnológica coloca a la ciudad en una posición privilegiada respecto a otros destinos turísticos, con una clara oportunidad de negocio.

REFERENCIAS

- [1] Obra redactada en Roma 1450c, dedicada al Papa Nicolás V en 1452. La edición completa fue publicada en 1485.
- [2] <https://whc.unesco.org/es/list/>
- [3] Entre los estudios histórico-artísticos sobre Leonardo, cfr. Zöllner, Frank: Leonardo da Vinc 1452-1519. Obra pictórica y gráfica completa. Köln, Taschen, 2000. Un resumen del mismo ha sido publicado por idéntica editorial en 2019 con motivo de la conmemoración del 500 aniversario de su fallecimiento.
- [4] Cfr. Salvi, Paola: "Alle origini dell'Anatomia artistica" en Leonardo L'anatomia. Monográfico Art Dossier, Giunti, Firenze, 2005, pp. 32-48.
- [5] <https://www.opencitymilan.com/en/>
- [6] Beltrami, Luca: La Vigna di Leonardo da Vinci. Milano, Allegreti, 1920, p.38. A consecuencia de la Expo Milano 2015, pueden citarse dos obras cfr. Maroni, Luca: Milano e la Vigna di Leonardo. Sens, 2015 y La Vigna ritrovata. Sens, 2016.
- [7] <https://www.vignadileonardo.com/it>
- [8] <https://www.france24.com/es/20191024-exposicion-louvre-leonardo-da-vinci-obras>
- [9] López Guzmán, Rafael (coord.): Patrimonio Histórico: retos, miradas, asociaciones e industrias culturales. Universidad Internacional de Andalucía, 2010, p. 216.
- [10] *Ibidem*, p. 217.
- [11] Wang, D., Li, X. et al. China's "smart tourism destination" initiative: A taste of the service-dominant logic. *Journal of Destination Marketing & Management*, 2(2), 2013, p. 59-61.
- [12] Ideo. Diseño centrado en las personas. Tool Kit. <http://www.designkit.org/resources/1> citado en Gómez, A., Server, M. Jara, A.J. y Parra, M.C. Turismo inteligente y patrimonio cultural: un sector a explorar en el desarrollo de las Smart Cities, 2017 *International Journal of Scientific Management and Tourism*, vol. 3 (1), pp. 389-411.
- [13] Hasta la fecha la bibliografía sobre esta cuestión es escasa. La principal fuente de estudio son los resultados de los congresos sobre esta materia. Los más recientes han sido "Milano Smart City Conference (Milán, 13/15 noviembre 2019) y "Smart City Expo World Congress" (Barcelona, 19/21 noviembre 2019).

Muelle de Levante en Huelva

Revitalización Sostenible de un Muelle Histórico Ligado al Uso Circular de la Energía

Sergio Gómez Melgar^{1,2}, María José Carrasco Conejo¹,

José Manuel Andújar Márquez², Miguel Ángel Martínez Bohórquez²

¹ LAR Arquitectura. Laboratorio de Arquitectura Responsable SAP

² Grupo de Investigación Control y Robótica (TEP192). Universidad de Huelva

Puerto 5, Entrepunta A, 21003 Huelva - ETS Ingeniería, Campus El Carmen, 21007 Huelva
sergio@lararquitectura.com, mariajose@lararquitectura.com, andujar@uhu.es, bohorquez@uhu.es

Resumen- Este trabajo presenta la ordenación del Muelle de Levante, en colaboración con el Puerto de Huelva, el Ayuntamiento de Huelva y la Universidad de Huelva, siguiendo un enfoque centrado en el uso circular de la energía. Después de una aproximación histórica y patrimonial, se realiza una exposición de los principales condicionantes de la ordenación hasta enunciar claramente los objetivos de la misma. El manejo del espacio libre y las parcelas edificadas se constituye en el principal material para la consecución de los fines de ordenación propuestos, los cuales están directamente relacionados con el objetivo de desarrollo 11 de las Naciones Unidas: ciudades y comunidades sostenibles. Finalmente, a modo de resultados, se enuncia la estrategia planteada para la consecución de un balance neto de energía positivo en lo referente al uso de la energía en el Muelle de Levante.

Palabras Clave- Economía circular, Smart port, Ordenación urbana, Eficiencia energética, Ciudades y comunidades sostenibles.

I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Huelva, ubicada en el estuario formado por la confluencia de los ríos Tinto y Odiel, está considerada una de las más antiguas de occidente. Civilizaciones como la tartésico-fenicia, la romana, la islámica y la medieval han dejado huella de su importancia en la forma de restos arqueológicos, muchos de los cuales aún se encuentran por explorar.

A finales del siglo XIX, y como consecuencia de la importancia estratégica de la minería metálica en un segundo periodo de la revolución industrial, se redescubren en la provincia de Huelva los míticos yacimientos de Tharsis y Río Tinto por mediación de compañías mineras francesas e inglesas. Estas compañías construyen sus propios muelles cargaderos para facilitar el transporte ferroviario del mineral extraído, desde la bocamina hasta la bodega de los cargueros con destino a las industrias siderúrgicas [1,2].

Conforme avanza del siglo XX se hace necesaria en el Puerto de Huelva una nueva gran infraestructura más resistente que los antiguos muelles de metal, y mejor adaptada a los nuevos tráficó, que ya no sólo consisten en graneles sólidos ligados a la minería extractiva. Muelle de Levante vino a sustituir el antiguo Muelle Sur (no confundir con el actual en servicio en el Puerto exterior) de hierro y fundición, en muy mal estado de conservación por efecto de la corrosión producida por cloruros marinos y la descarga de mineral.

Muelle de Levante fue el primer muelle de fábrica del Puerto de Huelva, el primero también en España y uno de los primeros en el mundo, inspirando en sus predecesores de Rotterdam y Trieste [3].

Fue proyectado inicialmente en 1911 por el ingeniero Francisco Montenegro Calle, director del Puerto de Huelva, e iniciados los primeros trabajos de dragado y terraplenado de su base en 1915. En 1924 se retomaron las obras pero no fue hasta 1931 que comenzó su puesta en servicio después de una sucesión de paralizaciones y reinicios de las obras de construcción muy propios de empresas de esta envergadura [4-9].

Es durante los últimos años del siglo XX, a consecuencia del progresivo traslado de la actividad a las nuevas infraestructuras del puerto exterior por la demanda de mayor calado en las modernas operaciones portuarias, que Muelle de Levante va reduciendo progresivamente su actividad, degenerando en borde y frontera que obstaculiza la conexión natural de la ciudad de Huelva con su ría.

Después de casi un siglo de actividad portuaria intensiva, pareciera que ha llegado el momento de facilitar que el puerto, la ciudad y su ría finalmente se encuentren; resultando de una ordenación urbana y paisajística equilibrada, sostenible y de balance neto de energía positiva.

II. CONDICIONES DE CONTORNO

La ordenación de Muelle de Levante potencia el acceso desde el casco urbano a través de la red de calles y avenidas transversales a la línea del cantil. Los nuevos volúmenes ordenados no interfieren en las cuencas visuales que tienen su origen en dichas calles y avenidas, preservando la visión de la lámina de agua en su proceso de acercamiento.

Se modifica la condición de borde urbano del parque de Zafra mediante la propuesta de un conjunto discontinuo de volúmenes de edificación que limita su perímetro al otro lado de la Avenida de Hispanoamérica. Este conjunto edificaciones construye una nueva fachada urbana a la avenida a la vez que permite dotar de actividad una estrecha franja entre dos grandes vacíos (parque y muelle), que de otro modo resultarían desconectados.

La valla portuaria que separa el Muelle de Levante de la Avenida de Hispanoamérica se desmonta en las áreas de acceso al recinto (incluyendo zócalo de ladrillo), para hacer posible la conexión del nuevo desarrollo con la trama urbana. El resto del perímetro vallado, de gran calidad constructiva y estética y en buen estado de conservación, se propone que sea mantenido en las zonas que delimitan áreas de aparcamiento, con función de ocultamiento de vehículos y preexistencia portuaria. Patrimonio industrial portuario.

Varias piezas de significativo valor patrimonial industrial portuario encontramos en el Muelle de Levante: pabellones racionalistas en el acceso a la Glorieta de las canoas por

Avenida de Hispanoamérica, Tinglados Norte y Sur, antiguos saladeros de exportadores en zona Norte y elementos singulares (vallado exterior de ladrillo aplantillado y fundición, cantil de granito, áreas de pavimento de adoquín de granito, grúas, noráis, etc.).

III. OBJETIVOS DE LA ORDENACIÓN

Son prioridades de la ordenación de Muelle de Levante:

1. Conectar la trama urbana de la ciudad de Huelva con el frente de la Ría del Odiel.
2. Preservar la condición de espacio libre de la zona.
3. Potenciar su valor paisajístico y medioambiental
4. Mantener el carácter portuario de la zona.
5. Poner en valor el patrimonio portuario e industrial de los elementos existentes.
6. Generar nuevos usos urbanos compatibles con el carácter Puerto-Ciudad.
7. Generar actividad económica a partir de los nuevos usos instalados.
8. Garantizar la sostenibilidad económica de la inversión inicial y su mantenimiento a largo plazo.
9. Garantizar la sostenibilidad ambiental en términos de economía circular y consumo de energía.

IV. ORDENACIÓN DE LOS ESPACIOS LIBRES

Muelle de Levante prioriza el espacio libre y su continuidad sobre el espacio edificado. Igualmente potencia los recorridos peatonales sobre el tráfico rodado. Prevalecen las configuraciones abiertas con la ría de telón de fondo (espacios para eventos, plazas, paseos y recorridos libres), sobre el concepto de calle tradicional con edificaciones alineadas en ambos lados, calzada y acerados.

Se incluyen grandes áreas diáfanas en la ordenación (Gran plaza Ría del Odiel y Plaza de la gastronomía) respondiendo a un doble criterio funcional y de preservación de una característica histórica del Muelle de Levante muy asentada en el imaginario popular de los onubenses: los grandes espacios abiertos destinados a albergar temporalmente las mercancías para la carga y descarga de los buques atracados en el cantil del muelle.

V. OCUPACIÓN DE LAS PARCELAS

Se proponen usos terciarios que generen actividad para el desarrollo de la zona. El objetivo es llenar de contenido y generar foco de atracción para la presencia constante de ciudadanos de Huelva y visitantes.

Se instala una marina deportiva en la zona norte, así como un uso más comercial en la zona central y turístico en la zona sur. En todos los ámbitos se propician oportunidades para el establecimiento de locales de restauración de todo tipo: desde restaurantes con estrella hasta gastrobares de precios populares y pequeños quioscos y cafeterías dispersos a lo largo del paseo del cantil.

La concesiones de las parcelas lucrativas de Muelle de Levante generan en paralelo una importante actividad económica que persigue el establecimiento proyectos empresariales que garanticen la viabilidad económica de la operación urbanística mediante el abono de las tasas portuarias correspondientes en función de la legislación vigente.

El concepto de sostenibilidad económica aplicada a la zona implica la necesidad de rentabilizar la inversión pública realizada, consiguiendo que la suma de la inversión inicial más el coste de las operaciones de mantenimiento de la urbanización sea retornada en el plazo máximo de la concesión, a partir de la explotación de los aprovechamientos lucrativos generados.

VI. ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR

En el desarrollo del Muelle de levante propone una estrategia guiada por los principios de economía circular, mínima demanda de energía y máxima capacidad de generación energética renovable.

El concepto de sostenibilidad ambiental aplicada a la zona en términos de energía implica perseguir el objetivo de que el balance neto entre la energía renovable generada y la demanda de energía de las actividades implantadas en el Muelle de Levante sea positivo; esto es, que en la zona se genere al menos la misma cantidad de energía que se consume a lo largo de un ciclo anual completo.

El concepto que ejemplifica este modelo de economía circular es el de muelle de balance de energía neta positiva (+ZED). Para alcanzar este objetivo son necesarias tres estrategias debidamente secuencias:

1. Reducción al mínimo de la demanda de energía del alumbrado urbano, los edificios, los servicios y el transporte interior en el Muelle de Levante.
2. Generación de energía renovable en base a los recursos energéticos existentes en la zona (sol, viento, geotermia y acuatermia) y los elementos de la ordenación disponibles (pérgolas, cubiertas de edificios, marquesinas, heliostatos, subsuelo, lámina de agua, etc.).
3. Instalación y mantenimiento de una red eléctrica inteligente (smartgrid) que opere con la máxima eficiencia el flujo de energía entre dispositivos de demanda, producción y almacenamiento de energía.

Los nuevos edificios en Muelle de Levante cumplirán los requisitos fijados por el estándar de edificio de consumo de energía casi nulo (nZEB) en su definición de Minimum Energy Building (MEB) [10]. En ningún caso su demanda de energía para climatización (calefacción/refrigeración) excederá de los 8 kWh/m²a, ni su consumo de energía primaria de los 80 kWh/m²a.

Las cubiertas de las pérgolas de paseo, las marquesinas de las estaciones de recarga y depósito de bicicletas, así como las cubiertas de los edificios que no tengan uso como terrazas panorámicas se reservarán para la instalación de sistemas modulares de placas fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica.

Se prevé igualmente el aprovechamiento de la proximidad al agua de la ría para su utilización como circuito primario de condensación en la mejora de la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado de los edificios. Adicionalmente se procurará la utilización de sistemas de geotermia y aerogeneradores de eje vertical con carácter singular en zonas de urbanización.

La red de suministro de energía será de tipo inteligente, capaz de gestionar el flujo bidireccional de demanda y suministro en cada nodo del sistema. Esta red incorporará los sistemas de almacenamiento energético necesarios en base a

las distintas tecnologías disponibles (baterías de litio, tanques de acumulación de sales, hidrógeno a presión y en forma de hidruros metálicos, etc.), para garantizar el suministro mínimo del 100% de la energía demandada en la zona. De manera independiente, esta red contará con acometida a centro de transformación para el by pass de la energía de red convencional en caso necesario.

El alumbrado urbano se prevé con sistema de luminarias tipo LED de muy bajo consumo de energía. Se dotará de un nivel de iluminación diferenciado por zonas, distinguiendo recorridos, áreas de estancia principales y espacios de servicio.

Se situarán islas de recarga para vehículos eléctricos ligeros en las proximidades de las bolsas de aparcamiento, con generación a partir de paneles solares fotovoltaicos en formación de marquesinas. Estas marquesinas alojarán los puntos de servicio y estacionamiento de bicicletas, del mismo tipo que los previstos en el carril bici urbano del resto de la ciudad.

Igualmente se propone la puesta en marcha de ciclos cerrados en el uso y la gestión del agua y los residuos.

VII. CONCLUSIONES

Después de varias décadas de inactividad y negación mutua, la ordenación presentada en este trabajo posibilita que Huelva se encuentre definitivamente con su ría en el Muelle de Levante. Concebido como gran espacio urbano continuo y de calidad, esta propuesta de ordenación facilita la aparición de experiencias que generen interés y atractivo para sus ciudadanos. Motores de actividad para la zona al servicio de toda la ciudad son las grandes plazas de eventos al aire libre y tinglados a cubierto, un puerto y un área de recepción de cruceros, una marina deportiva con una importante zona de servicios en tierra, áreas comerciales y de uso mixto, puesta en valor de elementos de patrimonio industrial y portuario rehabilitados, equipamiento deportivo y cultural, vastas zonas de ocio y restauración, etc.

El objetivo de conseguir un balance neto de energía positiva para Muelle de Levante se enmarca dentro de los objetivos de desarrollo de las naciones unidas (SD11) en lo referente a la construcción de ciudades y comunidades sostenibles.

REFERENCIAS

- [1] Mojarro Bayo, A., La Historia del Puerto de Huelva (1873-1930). Tesis Doctoral, in Departamento de Historia II. 2007, Universidad de Huelva.
- [2] Mojarro Bayo, M. and E.M. Romero Macías, The port of Huelva and the resurgence of mining (1873-1930). Boletín Geológico y Minero, 2012. 123(1): p. 3-15.
- [3] Navarro, P.G., The concrete employed in the Levante Wharf at the Port of Huelva (1904-1931). Revista de Obras Publicas, 2009. 156(3496): p. 53-60.
- [4] Montenegro, F., Muelles de fábrica sobre terrenos de escasa resistencia. Revista de Obras Publicas, 1911. 1.843: p. 25-33.
- [5] Montenegro, F., *Montaje del Muelle Norte*. Revista de Obras Publicas, 1914. 2.024: p. 343-345.
- [6] Montenegro, F., *Muelles de fábrica*. Revista de Obras Publicas, 1914. 2.025: p. 354-357.
- [7] Montenegro, F., *Puerto de Huelva*. Revista de Obras Publicas, 1914. 2.023: p. 327-329.
- [8] Montenegro, F., *Obras del Puerto de Huelva*. Revista de Obras Publicas, 1916. 2.121: p. 229-234.
- [9] Montenegro, F., *El Puerto de Huelva*. Revista de Obras Publicas, 1917. 2.192: p. 461-463.
- [10] Melgar, S.G., M.A.M. Bohórquez, and J.M.A. Márquez, UhuMEB: Design, construction, and management methodology of minimum energy buildings in subtropical climates. Energies, 2018. 11(10).

Proyecto “Badajoz es Más”

Uso de la Tecnología Smart City Aplicada a la Gestión del Ciclo Integral del Agua y los Residuos

Ángel Felipe Pulido, Ulises Gamero, Francisca Tena, Jaime Gragera

Departamento de Comunicación y Planificación Estratégica

PROMEDIO (Consortio de Gestión de Servicios Medioambientales de la Diputación de Badajoz)

Dirección Av/ Pardaleras nº 64; 06006-Badajoz

apulido@dip-badajoz.es, ugamero@dip-badajoz.es, ftena@dip-badajoz.es, jgragera@dip-badajoz.es

Resumen- PROMEDIO es un Consorcio de gestión de servicios medioambientales a entidades locales que gestiona, entre otros servicios, los de abastecimiento de agua potable, depuración de agua residual y recogida de residuos sólidos urbanos. Diputación de Badajoz con el proyecto “Badajoz es más” ha dado soporte gracias a su plataforma de Smart Cities a PROMEDIO pudiendo así crear nuevos paneles de mando para el control de sus servicios. Para PROMEDIO está siendo una gran herramienta de estandarización y gestión en tiempo real, pudiendo realizar indicadores y comparativas no solo en las propias instalaciones que gestiona sino entre distintos municipios a los que se presta servicio.

Palabras Clave- ScienCity, Smart Cities, ciclo integral del agua, abastecimiento de agua, depuración de agua residual, residuos sólidos urbanos

I. INTRODUCCIÓN

PROMEDIO es un Consorcio puesto en marcha en 2005 por la Diputación de Badajoz, junto a los municipios y mancomunidades de la provincia, orientado a la gestión supramunicipal de los servicios medioambientales de carácter local. El Consorcio nació en un momento en el que los municipios de la provincia de Badajoz tenían serias dificultades para hacer frente a las competencias municipales en materia de residuos y de gestión del agua. El pequeño tamaño y sus escasos recursos provocaban que los habitantes de estos pueblos no recibieran el servicio con la calidad a la que tienen derecho. PROMEDIO se encarga principalmente de la gestión del Ciclo Integral del Agua (potabilización, abastecimiento y depuración) y de los residuos de sus entidades locales consorciadas.

Dentro del servicio de abastecimiento de agua potable se divide la gestión en dos tipos: distribución de agua en alta y en baja. La distribución en alta es la gestión desde la acometida de los pantanos o pozos hacia unas instalaciones llamadas estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP), que llevan el agua ya potabilizada a la entrada del depósito municipal. La distribución de agua en baja se entiende desde el depósito municipal hasta la acometida de la vivienda del abonado. PROMEDIO presta estos servicios gestionando 12 estaciones de tratamiento, 40 depósitos y 900 kilómetros de tuberías.

Otro de los servicios principales de PROMEDIO es el tratamiento de aguas residuales. En este caso PROMEDIO lleva la gestión de 56 estaciones de tratamiento de agua residual de 65 entidades locales.

Además de estos servicios relacionados con el ciclo integral del agua, PROMEDIO presta el servicio de recogida

de residuos sólidos urbanos, que es la recogida domiciliar de envases ligeros, papel cartón y fracción resto. En este caso PROMEDIO gestiona 113 municipios con una flota de 183 vehículos.

Dada la dispersión geográfica que posee la provincia de Badajoz, es de vital importancia el uso de nuevas tecnologías para llevar un control exhaustivo de todos los servicios, es por este motivo el que la tecnología que engloba las Smart Cities puede ser de gran ayuda de cara a la gestión de los servicios municipales. PROMEDIO, dada la extensión de la provincia de Badajoz, controla sus instalaciones de manera heterogénea, usando tecnología de enlace WiFi a los Ayuntamientos, radios con o sin licencia y routers M2M (tarjetas machine to machine) para la transferencia de datos, además de tecnología LoRa (Low Power Wide Area Network).

Gracias a la Diputación de Badajoz, PROMEDIO ha podido participar en el proyecto “Badajoz es más” y beneficiarse de las herramientas de gestión que proporciona, aumentando así la eficiencia de sus servicios. El proyecto “Badajoz es más” es una iniciativa llevada a cabo por la Diputación Provincial de Badajoz con el objetivo claro de proporcionar las herramientas y servicios tecnológicos, con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de los municipios a través de un desarrollo sostenible, basándose en tecnologías de IoT y Big Data y con el objetivo de convertir la provincia de Badajoz en un Territorio Inteligente o Smart Provincial.

El proyecto “Badajoz es más” proporciona una plataforma horizontal y abierta (compatible con la norma UNE 178104[1] y las recomendaciones OASC, Open and Agile Smart Cities consorcio) y brinda capacidad de gestión, monitorización y control de todo el ecosistema de servicios inteligentes territoriales utilizando estándares e implementaciones FIWARE.

Uno de los grandes beneficios de pertenecer a este tipo de proyectos con estándar abierto es la integración de sensorería de distintos fabricantes, pudiendo disminuir el coste de las instalaciones notablemente.

II. METODOLOGÍA

Para PROMEDIO, el primer paso para abordar el proyecto fue identificar las necesidades que se tienen por cada servicio, para lo cual se procedió a seleccionar qué indicadores eran los más representativos. Por ello, se realizó una revisión bibliográfica de publicaciones relacionadas con la gestión de servicios municipales. Una vez revisados estos

indicadores se procedió a validarlos con los responsables de cada servicio. Se identificaron un total de 136 indicadores en los servicios de abastecimiento de agua potable, depuración de agua residual y recogida de residuos sólidos urbanos.

Posteriormente, se trató de identificar las fuentes de datos que poseía PROMEDIO y los formatos existentes. En este proceso se clasificaron estos indicadores, anteriormente definidos, por importancia, periodicidad y fuente de datos. Cabe destacar que en los casos que no existía fuente de datos para los indicadores se elaboraron diversas aplicaciones de gestión, nuevas estructuras de bases de datos y la programación de procesos para extraer, transformar y cargar los datos existentes (ETL). El proceso de transformación y generación de datos para crear los indicadores fue el más costoso, puesto que no se partía de una estandarización de variables dentro de la fuente de datos y esto dificultó la posibilidad de realizar comparativas en un primer momento.

En el caso del servicio de depuración de aguas residuales, se identificó la principal fuente de datos en dos, un sistema de gestión de información de laboratorio (LIMS) donde se almacenan las muestras periódicas que se analizan en las plantas y los autómatas de las propias estaciones de depuración de agua residual. Por seguridad y por redundancia de datos se ideó un sistema a través de routers M2M para garantizar siempre la comunicación de estos autómatas a los servidores del proyecto. En caso de que el enlace mediante antenas WIFI a la red provincial falle, los equipos pueden derivar su tráfico a la red M2M.

Dentro del servicio de abastecimiento de agua potable se identificaron claramente dos tipos de fuente de datos: la cartografía de las redes de distribución municipal y los autómatas de control tanto de las estaciones de potabilización como de los depósitos municipales.

La fuente de datos del servicio de recogida de residuos sólidos urbanos fue fácilmente integrable puesto que PROMEDIO ya disponía de una plataforma de gestión de flotas con almacenamiento de datos en MongoDB. Uno de los principales objetivos del proyecto, en este servicio, fue automatizar la información de la recogida de las pesadas de los camiones por cada ruta. En este caso se desarrolló para este fin una plataforma web para facilitar la inclusión de este dato.

Una vez analizadas las fuentes de datos se procedió a realizar un modelo de datos único para cada variable que conformaba cada indicador. Este modelo de datos fue definido en una nueva tabla con arquitectura SQL que guarda una copia del dato a mostrar de cada fuente de datos. Para poder realizar este fin se programaron distintos procesos ETL de transformación para convertir bases de datos SQL, MongoDB y estándar OPC (OLE for Process Control) en el que trabajan todos los autómatas de las instalaciones a controlar.

Cuando las bases de datos con los modelos de datos definitivos empezaron a llenarse de datos reales y veraces se procedió a desarrollar paneles de gestión por cada servicio. Esta visualización de los diferentes modelos de datos procesados en los distintos niveles del proyecto se realiza sobre dos componentes fundamentales, cuadros de mandos ejecutivos y cuadros de mando operacionales.

Cuadros de Mando Ejecutivos. Desarrollados para la visualización de indicadores de gestión y diversos informes

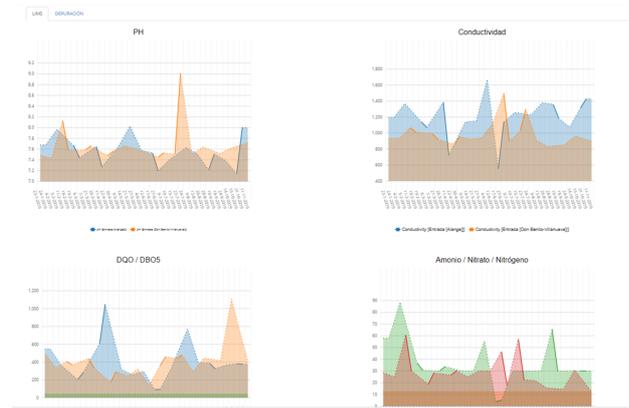


Fig. 2. Detalle de un mando ejecutivo del proyecto "Badajoz es más"

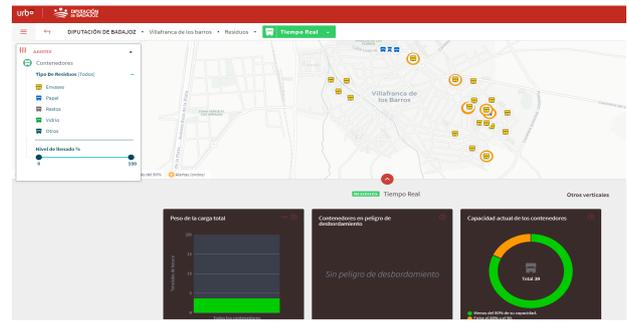


Fig. 1. Detalle de un mando operacional del proyecto "Badajoz es más"

por cada servicio. En estos paneles se pueden realizar comparativas entre distintos municipios o instalaciones, pudiendo ver anomalías de manera mucho más gráfica y fácil para los técnicos de PROMEDIO.

En los cuadros de mando ejecutivos es donde principalmente se muestran los indicadores desarrollados tanto de manera personalizada, como elegidos dentro de los indicadores recomendados por el estándar internacional ISO 37120[2], las normas UNE sobre ciudades inteligentes definidas por el CTN 178 de AENOR [3], las normas UNE externas al CTN 178 como la norma UNE 66182[4].

Cuadros de Mando Operacionales. En estos cuadros de mando se muestran mapas para geoposicionamiento de dispositivos, alertas y mediciones en tiempo real, indicadores de estado, informes de histórico de mediciones y analítica predictiva.

En el caso del servicio de depuración de aguas residuales, en estos cuadros de mando operacionales se han incluido los datos de seguimiento de vertidos a las estaciones de depuración mediante equipos de control con sondas de dos fabricantes distintos. Gracias a estos paneles PROMEDIO puede anticiparse a la llegada de un vertido, pudiendo almacenarlo a su llegada a la planta o modificar el proceso, dependiendo de la carga que pueda llegar.

Dentro del servicio de abastecimiento y recogida de residuos sólidos urbanos se está llevando a cabo la visualización de pilotos de control de presiones de la red de distribución, teledatada de contadores y localización de los vehículos de recogida en tiempo real.

III. INVESTIGACIONES FUTURAS

Dentro de las investigaciones futuras en este proyecto, en lo que a los servicios de PROMEDIO se refiere, se está estudiando la implantación de programas para el análisis de los datos existentes mediante inteligencia artificial. En el caso del servicio de abastecimiento de agua potable se están poniendo en marcha programas de redes neuronales para predecir el consumo inapropiado de contadores de la red de suministro de agua potable siguiendo investigaciones como las de M. Firata y col 2010 [5], además del modelado de las redes de distribución rurales como en el caso de G Venkata y col 2015 [6]. En el servicio de depuración de agua residual se prevé realizar programas de simulación del proceso que ayuden a la toma de decisiones.

IV. DIFUSIÓN DEL PROYECTO

Dentro del proyecto “Badajoz es más” no sólo se pretende integrar algunos servicios ya existentes, sino que también se fomenta la difusión de este tipo de soluciones y la aplicación de las nuevas tecnologías en los servicios públicos tradicionales. También se apuesta por la instalación de una serie de soluciones o pilotos que, independientemente de que den respuesta a la gestión de un servicio en concreto en su totalidad, sirvan de referencia para mostrar el potencial de la aplicación de tecnologías, como el Internet de las Cosas o Big Data tanto para la mejora de dichos servicios como para el acercamiento del ciudadano a los mismos.

Por todo ello, el proyecto “Badajoz es más” ha creado un ecosistema de innovación, emprendimiento y aceleración para conseguir generar empleo, crear nuevos negocios y activar el sector empresarial de la provincia al concepto de Territorio Inteligente.

Este objetivo tiene como elemento central un centro de innovación físico llamado FIWARE Space en el que se desarrolla toda la actividad descrita anteriormente, y donde actualmente se están llevando a cabo las siguientes actividades:

- Organización de eventos de divulgación acerca de las tecnologías utilizadas y de los conceptos de Smart Cities y Smart Provincia.
- Talleres demostrativos y formativos.
- Conferencias.
- Convocatorias de “retos” remunerados para incentivar el trabajar con este tipo de tecnología.
- Presencia en congresos, ferias y eventos nacionales e internacionales.
- Reconocimiento como centro de innovación a nivel global dentro de la comunidad FIWARE (FIWARE iHub).

V. CONCLUSIONES

Como conclusión, la Diputación de Badajoz provee a través de este proyecto de las herramientas y servicios tecnológicos a consorcios de gestión como PROMEDIO, a los municipios, empresas, entidades educativas y ciudadanos, necesarios para poder realizar una gestión más eficiente de los servicios y fomentar el uso de las tecnologías Smart Cities, que resultan enormemente difíciles de acometer por parte de las entidades locales de escasa población.

AGRADECIMIENTOS

Al Área de Transformación Digital y Turismo de la Diputación de Badajoz, en especial a los técnicos de la Sección de Redes por su investigación en sistemas de redundancia de comunicaciones.

REFERENCIAS

- [1] Norma UNE 178104, Sistemas Integrales de Gestión de la Ciudad Inteligente. Requisitos de interoperabilidad para una Plataforma de Ciudad Inteligente. Recuperado de <https://www.une.org/> [Consulta: 22 de noviembre de 2019]
- [2] Norma ISO 37120, Sustainable cities and communities — Indicators for city services and quality of life, Recuperado de <https://www.iso.org/standard/68498.html> [Consulta: 22 de noviembre de 2019]
- [3] Comité CTN 178, CIUDADES INTELIGENTES, Recuperado de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite/?c=CTN%20178&pagina=2> [Consulta: 22 de noviembre de 2019]
- [4] Norma UNE 66182, Guía para la evaluación integral del gobierno municipal y el desarrollo como ciudad inteligente. Recuperado de <https://www.une.org/> [Consulta: 22 de noviembre de 2019]
- [5] M. Firata, M. E. Turanb, M. AliYurdusev, "Comparative analysis of neural network techniques for predicting water consumption time series". *Journal of Hydrology*, vol. 384, n. 1-2, pp. 46-51, 2010.
- [6] G. Venkata Ramana, Ch.V.S.S.Sudheer, B.Rajasekharc, "Network Analysis of Water Distribution System in Rural Areas using EPANET". *Procedia Engineering*, vol. 119, n. 1, pp. 496-505, 2015.

Estudio de Viabilidad de Instalación de Microturbinas en Sistemas de Abastecimientos Urbanos de Agua

Ángel Mariano Rodríguez Pérez^a, Cinta Pérez Calañas^b, Inmaculada Pulido Calvo^c

^a Ingeniería Minera, Mecánica, Energética y de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Campus El Carmen, Universidad de Huelva, 21007 Huelva

^b Dirección de Empresas y Marketing, Facultad de Ciencias Empresariales y Turismo, Campus la Merced, Universidad de Huelva, 21002 Huelva

^c Área de Mecánica de Fluidos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Campus El Carmen, Universidad de Huelva, 21007 Huelva

angelmariano.rodriguez@alu.uhu.es, cinta.calanas@decd.uhu.es, ipulido@uhu.es

Resumen- El objetivo global de este estudio es la evaluación del posible aprovechamiento de la energía hidráulica no utilizada en sistemas urbanos de abastecimiento de agua y la consecuente posibilidad de utilizarla a través de la generación de energía eléctrica mediante la instalación de microturbinas. Se han estudiado dos casos concretos de redes hidráulicas a presión correspondientes a los abastecimientos de los municipios de Cañaveral de León y Aracena en la provincia de Huelva. Los objetivos específicos de este trabajo son: (a) Análisis de la localización óptima de las microturbinas en las redes hidráulicas en estudio; y (b) Evaluación del tipo de turbina más idóneas; y (c) Análisis de viabilidad económica de las alternativas de instalación propuestas.

Palabras Clave- Redes hidráulicas a presión, microgeneración, viabilidad económica, Huelva

I. INTRODUCCIÓN

La opción de generar electricidad a partir de excedentes no utilizados de energía hidráulica en los sistemas de distribución de agua podría ser una alternativa a considerar en las actuales políticas de eficiencia energética. Esta microgeneración puede ser una buena opción para la reducción del consumo de energía (Hawkes *et al.*, 2014; Romero-Marrero *et al.*, 2018). En la literatura especializada, se pueden encontrar algunos ejemplos recientes de la evaluación de la instalación de microturbinas en redes hidráulicas a presión (Kim *et al.*, 2015; Samora *et al.*, 2016).

En este estudio se analiza la posibilidad de esta microgeneración en redes hidráulicas situadas en la provincia de Huelva, concretamente en los sistemas de abastecimiento de los municipios de Aracena y Cañaveral de León. La gestión de estas redes se realiza por la empresa pública Gestión Integral del Agua Costa de Huelva S.A (Giahsa).

En primer lugar en este estudio se realiza un análisis de sensibilidad para evaluar las diferentes alternativas de instalación de una o varias microturbinas en las redes hidráulicas en estudio. En segundo lugar se determina el tipo de turbina más idónea. Y, por último, se procede al estudio de la viabilidad de las inversiones a realizar utilizando el indicador del período de retorno de la inversión (PRI).

El objetivo global de este trabajo es analizar y evaluar la viabilidad de instalar microturbinas para aprovechar al

máximo la energía hidráulica disipada en sistemas urbanos de distribución de agua a presión.

II. ÁREA DE ESTUDIO

En los sistemas de abastecimiento de agua potable de los municipios de Cañaveral de León y Aracena en la provincia de Huelva se han planteado los objetivos específicos que se describen en este trabajo. Estos sistemas de suministro están gestionados por Giahsa,

En cada una de las redes hidráulicas a presión se determinan las distintas localizaciones en las que se podrían instalar las turbinas.

En la red de Cañaveral de León se han evaluado localizaciones cada 50 metros en los 550 metros de longitud de las conducciones que separan el depósito de abastecimiento de la válvula reguladora que controla el paso de caudal a cada una de las tomas de la instalación hidráulica.

La válvula reguladora (Ramus Redar) es una válvula de acción directa. La tubería que une el depósito con la válvula reguladora es de polietileno DN160 con 8 años de antigüedad.

En lo que respecta a la instalación de Aracena se analiza la instalación de la microturbina cada 50 metros en los 300 metros de longitud desde el depósito hasta la válvula reguladora. En este caso la válvula reguladora (Ross 40 WR) tiene piloto externo para conducciones de medio y gran diámetro. La tubería es de fundición DN250 con 10 años de antigüedad.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la instalación óptima de las turbinas se deben considerar cuatro parámetros: (a) la cota de instalación; (b) la longitud de la conducción entre el punto de instalación y el depósito de abastecimiento; (c) la energía hidráulica a la salida de la microturbina; y (d) el incremento de energía hidráulica aprovechable por la turbina.

Por otro lado se debe considerar la instalación de la microturbina en serie o en paralelo con la válvula reguladora (Rodríguez-Pérez y Pulido-Calvo, 2019a).

IV. RESULTADOS

En la red hidráulica de Cañaverale de León primero se ha calculado la velocidad (V) a la que llega el agua a la microturbina en todos los posibles puntos de instalación. Se ha considerado un caudal (Q) de 0,005 m³/s y un diámetro (D) de la tubería de 160 mm:

$$Q = V \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \Rightarrow V = 0,249 \text{ m/s} \quad (1)$$

Posteriormente se calcula la diferencia de cota de cada uno de los posibles puntos de instalación con respecto al depósito (cota de 604 m). Para calcular las pérdidas por rozamiento se van a utilizar las ecuaciones de Hazen-Williams y de Darcy-Weisbach. Por último, con lo obtenido anteriormente, se determina la energía que puede ser aprovechada en cada uno de los puntos de instalación. El punto seleccionado ha sido la válvula reguladora, colocando la microturbina en paralelo a la misma.

Se indican los principales parámetros que describen la instalación de la microturbina en el sistema de abastecimiento de Cañaverale de León:

- Salto neto (Hn): 23,34 m
- Caudal (Q): 0,005 m³/s
- Potencia: 973,186 W
- Horas estimadas de funcionamiento: 24 horas diarias, 8760 horas al año
- Energía: 973,186 W x 8760 h = 8,525 MWh anuales
- Turbina BANKI modelo R125

Para el estudio de la red hidráulica de Aracena se han seguido los mismos pasos. En primer lugar se calcula la velocidad (V) a la que llega el agua a la microturbina en cualquiera de las localizaciones posibles. Se ha considerado un caudal (Q) de 0,015 m³/s y un diámetro (D) de la tubería de 250 mm:

$$Q = V \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \Rightarrow V = 0,306 \text{ m/s} \quad (2)$$

El punto seleccionado para la instalación de la microturbina ha sido también en la válvula reguladora colocando la microturbina en paralelo a la misma. Una vez realizado el estudio, se han obtenido los siguientes resultados para la instalación óptima:

- Salto neto (Hn): 21,41 m
- Caudal (Q): 0,015 m³/s
- Potencia: 2678,284 W
- Horas estimadas de funcionamiento: 24 horas diarias, 8760 horas al año
- Energía: 2678,284 W x 8760 h = 23,462 MWh anuales
- Turbina BANKI modelo R125

V. RETORNO DE LA INVERSIÓN

La evaluación de la viabilidad económica de las inversiones planteadas es fundamental en el planteamiento de estas opciones de microgeneración. Para ello se utiliza el indicador período de retorno de la inversión (PRI). Se consideran dos alternativas: (a) Conexión de la microturbina a la red eléctrica; y (b) Instalación de una batería que permita

almacenar energía para uso propio de la empresa de gestión del suministro de agua (Giahsa). En este cálculo se tienen en cuenta el coste de inversión de los equipos y la mano de obra necesaria para la puesta en funcionamiento, así como los costes de mantenimiento.

Con el cálculo aproximado de la inversión inicial y la vida útil de la inversión se puede proceder al cálculo del retorno de la inversión. Según los cálculos hidráulicos se estima que la instalación de Cañaverale de León generará 8,525 MWh/año mientras que la de Aracena generará 23,462 MWh/año. Se obtiene que la instalación de la microturbina propuesta en Cañaverale de León necesitaría 47 años para recuperar la inversión mientras que se necesitarían 10,7 años para recuperar la inversión en Aracena.

VI. CONCLUSIONES

Este estudio tiene como objetivo principal la evaluación de la viabilidad de la inserción de una microturbina en dos redes de suministro de agua potable para aprovechar la energía hidráulica disipada. Los resultados muestran que la cantidad de energía hidráulica que se podría utilizar es significativa. La microturbinas elegidas para los dos sistemas de abastecimiento estudiados son del tipo Banki y se propone la colocación en paralelo con la válvula de regulación que controla el caudal que se distribuya a cada una de las tomas de los municipios en estudio.

Con respecto a la energía eléctrica que potencialmente podría generarse se podría utilizar para el autoconsumo en las instalaciones de la empresa que gestiona el suministro de agua mediante su almacenamiento en batería (por ejemplo, para los requerimientos de energía en dispositivos de control como válvulas motorizadas, para la iluminación de EDARs, etc.) o para conexión a la red eléctrica.

Teniendo en cuenta el estudio del retorno de la inversión que se ha realizado en ambos sistemas de abastecimiento de agua, se descartaría la colocación de la microturbina en la red hidráulica de Cañaverale de León debido a que requiere de 47 años para la amortización. Por lo tanto, solo se considera viable la instalación en la red hidráulica de Aracena en la cual se recupera la inversión en unos 10 años.

NOTA FINAL: Una publicación más detallada de este resumen se puede encontrar en Rodríguez-Pérez *et al.*, (2019).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de la empresa Giahsa, empresa pública de la Mancomunidad de Servicios de la Provincia de Huelva (MAS), por su disposición a facilitar toda la información solicitada.

REFERENCIAS

- [1] Hawkes, A., Entchev, E., Tzscheutschler, P. (2014). *A comparative review of microgeneration policy instruments in OECD countries*. IEA EBC Annex 54 Integration of Micro-Generation and Related Energy Technologies in Buildings, Technische Universität München (Germany).
- [2] Rodríguez-Pérez, A.M., Pulido-Calvo, I. (2019). Analysis and viability of microturbines in hydraulic networks: a case study. *Journal of Water Research and Technology-AQUA* 68(6), 474-482.
- [3] Rodríguez-Pérez, A.M., Pérez-Calañas, C., Pulido-Calvo, I. (2019). Selección de la localización y el tipo de microturbinas en redes

hidráulicas a presión. *VI Jornadas de Ingeniería del Agua*, 22-25 Octubre, Toledo, 553-555.

- [4] Romero-Marrero, L., Pérez-Sánchez, M., López-Jiménez, P.A. (2018). Estimation of the characteristic curves of pumped systems working as turbines through their curves operating as pump. *Ingeniería del Agua* 22(1), 15-26.
- [5] Samora, I., Manso, P., Franca, M.J., Schleiss, A. J., Ramos, H.M. (2016). Energy recovery using micro-hydropower technology in water supply systems: the case study of the city of Fribourg. *Water* 8(8), 344.

Aprendizaje Basado en Proyectos para la Educación en Sostenibilidad

Yolanda Ceada-Garrido¹, Antonio Javier Barragán², Juan Manuel Enrique², Ramón Tirado¹, José Manuel Andújar²

¹Departamento de Pedagogía

²Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y Automática
Universidad de Huelva

Campus EL Carmen. Avda. de las Fuerzas Armadas s/n
21007 Huelva

yolanda.ceada@sc.uhu.es, {antonio.barragan, juanm.enrique, andujar}@diesia.uhu.es, rtirado@uhu.es

Resumen- Desde el punto de vista de las enseñanzas técnicas, el cuidado del medio ambiente ha de verse como un reto que permitirá crear mejores productos, así como nuevas oportunidades de negocio. Con el objetivo de fomentar el estudio de enseñanzas técnicas y de concienciar en la capacidad de cambiar el futuro que tendrán los nuevos ingenieros e ingenieras, así como de dar visibilidad a la labor social y educativa de los grupos de investigación universitarios, hemos desarrollado un proyecto educativo que hace partícipes directos al alumnado del cambio de paradigma de la movilidad urbana. Para ello, los centros participantes han de construir durante el curso un vehículo eléctrico solar capaz de transportar a una persona en un entorno urbano. Finalmente, se ha realizado un concurso en el que compitieron los proyectos de los centros, y se premió a los más completos.

Palabras Clave- Aprendizaje basado en proyectos, Educación, Estudiantes, Motivación, Sostenibilidad, Vehículo eléctrico.

I. INTRODUCCIÓN

Los problemas de sostenibilidad son altamente complejos, sistémicos y no pueden ser fácilmente remediados [1]. Las emisiones de los vehículos constituyen una de las principales fuentes de contaminación gaseosa y de partículas del aire en las zonas urbanas, y son una fuente esencial de contaminación atmosférica en las zonas metropolitanas [2]. Representa alrededor del 15-50 % de la masa total de partículas finas en las ciudades [3]. La educación es un factor determinante para el progreso y el desarrollo de las sociedades [4]. Por lo tanto, las acciones educativas, así como la investigación, son tareas necesarias para avanzar hacia una sociedad sostenible. Sin embargo, estamos viendo como las titulaciones técnicas tienen cada vez menor alumnado.

El objetivo del proyecto Carrera Urbana Sostenible (SUR) es aumentar el interés por la ciencia y la tecnología entre los estudiantes preuniversitarios. SUR ha sido concebido dentro del grupo de investigación Control y Robótica de la Universidad de Huelva (TEP-192).

La idea principal de SUR es animar a los estudiantes preuniversitarios de los institutos del suroeste de la península a estudiar titulaciones científico-técnicas. Asimismo, también se pretende llevar la ciencia, la tecnología y la innovación a estudiantes no universitarios y a la sociedad en general.

En este proyecto, los estudiantes deben crear un vehículo eléctrico que utilice energía solar. Este vehículo deberá ser

capaz de transportar al menos a una persona en un entorno urbano. La organización proporciona a los centros participantes un kit de desarrollo y propone a los participantes la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL por sus siglas en inglés) para incluir el proyecto SUR en sus clases diarias. PBL ha demostrado su eficacia para el aprendizaje, especialmente en materias científico-técnicas [5, 6]. El modelo PBL, que se basa en el estudio de proyectos, es un enfoque que sitúa al alumnado en el centro del proceso de aprendizaje y los prepara para la vida actual exponiéndolos a problemas reales que deben resolver [4]. PBL se ha convertido en un enfoque educativo de referencia, sobre el que existe cada vez más documentación y estudios debido a la importancia que ha tomado en los últimos años de la educación centrada en el estudiante [7]. Además de las propias competencias ingenieriles, se desarrollan competencias transversales como la creatividad, la capacidad de colaboración, la toma de decisiones, la organización del trabajo y la gestión del tiempo, la capacidad de investigación y desarrollo de soluciones, la conciencia ecológica y el espíritu emprendedor, así como la autoestima [5]. El proyecto SUR también acerca la ciencia y la tecnología a grupos sociales que normalmente están muy alejados de las acciones de divulgación científica, lo que le añade un componente social innovador.

Este trabajo se divide en las siguientes secciones: después de la introducción se explica en detalle la metodología utilizada en el proyecto. A continuación se presentan los resultados de la experiencia.

Finalmente, se discuten algunas conclusiones y posibles mejoras.

II. MÉTODO

El aprendizaje basado en proyectos es un elemento clave para adquirir conocimiento a través de la experimentación [8]. En este proyecto los estudiantes deben construir un vehículo eléctrico que utilice energía solar, el cual debe ser capaz de transportar al menos a una persona en un entorno urbano. El proyecto implica casi un curso de trabajo, tanto para profesorado como para estudiantes, por lo que es importante una buena organización del mismo. Con el fin de asegurar el mayor éxito posible entre los participantes y obtener toda la información relevante al respecto, el proyecto se divide en tres fases: conferencias técnicas,

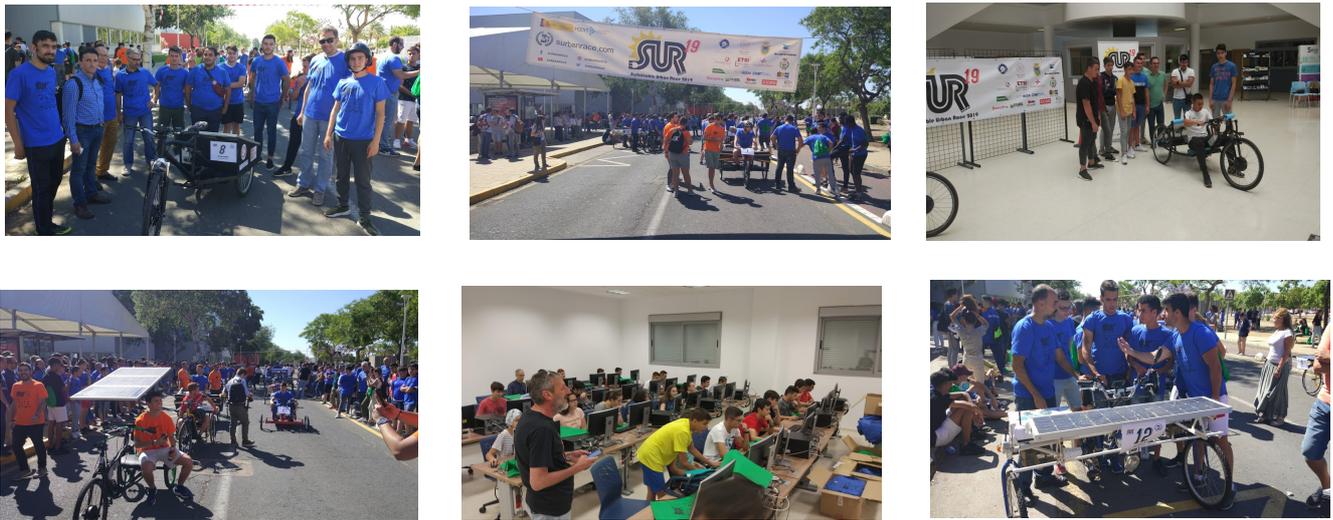


Fig. 1. Algunas imágenes de la competición SUR de 2019

construcción/competición de vehículos y evaluación. A continuación se detalla cada una de estas fases.

A. Conferencias técnicas

Las sesiones técnicas, celebradas en la Universidad de Huelva, fueron el punto de partida del proyecto y un primer contacto con todos los participantes.

Aproximadamente asistieron 50 representantes de varios centros de la provincia de Huelva, 2 centros de Badajoz, 2 de Sevilla y 1 de Olhão (Portugal).

Durante este acto se presentó el reglamento de la edición 2019, se estableció un debate con los asistentes sobre las pruebas a realizar, los métodos de puntuación y los posibles detalles a mejorar respecto a ediciones anteriores (2016, 2017 y 2018). Este debate fue muy enriquecedor, y se tomaron algunas ideas para incorporarlas a la nueva normativa de 2019. Muchos de los centros presentes se inscribieron en el concurso en ese momento.

B. Construcción del vehículo y competición

La fase de construcción del vehículo es la más duradera del proyecto. Durante esta fase los participantes deben crear un vehículo de 3 ó 4 ruedas, e integrar en él un motor eléctrico, dos paneles solares y la electrónica asociada. Además, deben resolver los retos técnicos propuestos por la organización, como por ejemplo “montar un sistema de control automático de velocidad” (éste fue uno de los retos de la edición 2019).

Esta fase comienza con la visita de los técnicos del proyecto a cada centro participante para asesorar a los profesores en el montaje del motor, los paneles solares y un medidor de energía. Este material es entregado a los centros por la organización. El medidor permite evaluar la eficiencia energética del vehículo, que será necesaria para una de las pruebas de la competición.

Estas visitas también se utilizan para resolver dudas de forma personalizada. El personal técnico pertenece al Grupo de Investigación en Control y Robótica (TEP-192) de la Universidad de Huelva.

Cada centro llevó a cabo la construcción del vehículo de manera desigual. El profesorado optó por la organización del proyecto en función de sus consideraciones personales, el interés de sus estudiantes y el centro. Algunos comenzaron

inmediatamente e incluyeron la construcción del vehículo como parte de las asignaturas (principalmente los centros de formación profesional); mientras que otros prefirieron abordar el proyecto como una actividad extracurricular.

Con el objetivo de mejorar el aprendizaje de los estudiantes y aprovechar el proyecto para aumentar sus posibles vocaciones hacia una educación técnica, la organización propone a los participantes la aplicación de PBL para introducir el proyecto SUR en las aulas. PBL es un método sistemático de enseñanza y aprendizaje, que involucra a los estudiantes en tareas complejas y reales que resultan en un producto o presentación a una audiencia, permitiéndoles adquirir conocimientos y habilidades para mejorar su vida [9]. Hasta la fecha del concurso, se realizaron varias visitas a los centros para conocer la evolución de sus proyectos. Durante estas visitas también se dio asesoramiento técnico y pedagógico, y se resolvieron numerosos problemas con la construcción del vehículo, su conexión, la construcción de los cargadores de baterías, así como la programación de la plataforma de control utilizada (Arduino).

El proyecto concluyó con un concurso público de vehículos contruidos por estudiantes, con alto impacto social. El 30 de mayo de 2019 se celebró SUR19 en el Campus de El Carmen de la Universidad de Huelva. Este día todos los centros asistieron con sus prototipos, y otros como visitantes.

Compitieron 13 equipos de los 16 inscritos inicialmente, ya que 3 no terminaron sus prototipos.

El jurado calificó la calidad del vehículo según: el proyecto y un vídeo entregado previamente (15 %), el diseño, la originalidad e innovación (40 %), la funcionalidad y robustez (20 %), la comerciabilidad (5 %), y el cumplimiento de 2 retos tecnológicos voluntarios propuestos por la organización (10 % cada uno).

Una vez que los centros pasaron la evaluación del jurado, se iniciaron las pruebas en pista. Se realizaron las siguientes pruebas: una prueba de eficiencia energética, una de velocidad y una maniobrabilidad.

El concurso finalizó con la entrega de premios y reconocimientos, y tuvo un fuerte impacto mediático en radio, prensa y televisión.

C. Evaluación

Con el fin de estudiar el impacto del proyecto se realizaron dos encuestas, una al inicio del proyecto y otra el día de la competición, tanto al profesorado como al alumnado. Un total de 142 estudiantes y 24 docentes de 16 centros distintos respondieron a las encuestas.

Sobre el profesorado se recogieron datos demográficos (edad, sexo, años de experiencia docente, etc.), así como experiencia previa en el proyecto y el nivel de aprendizaje alcanzado por el alumnado (medido en competencias técnicas y transversales).

Los datos recogidos sobre los estudiantes fueron: datos demográficos, experiencia previa en el proyecto, expectativas de aprendizaje y apoyos, nivel de aprendizaje alcanzado (competencias técnicas y transversales) enfoque/recursos, estructura, autodeterminación y compromiso escolar (ver Tabla 1).

D. Resultados

La mayoría de los profesores participantes fueron varones (23/1), de entre 37 y 52 años de edad, con una experiencia docente de más de 10 años. El 46% de los docentes había participado en ediciones anteriores de SUR. En la mayoría de los centros el proyecto ha sido llevado a cabo por 2 profesores y éstos optaron por incluir el diseño del vehículo como parte de sus asignaturas, pero no de forma obligatoria, con una importancia desigual en el nivel de calificación que aportaba a la nota final. De forma general los docentes consideran que los alumnos y alumnas han alcanzado el nivel deseado de aprendizajes técnicos y transversales, marcados por el proyecto.

El proyecto ha abarcado prácticamente todos los niveles educativos preuniversitarios: Enseñanza Secundaria, Bachillerato (56% de los centros) y Ciclos Formativos de grado Medio y Superior (44% de los centros).

El perfil de alumno participante fue varón, de 16 a 17 años de edad. El 20% del alumnado había participado con anterioridad en el proyecto. La media de alumnos por equipos participantes fue de 9, y el nivel de abandono del proyecto prácticamente nulo.

Atendiendo al nivel de aprendizaje técnico, la mayoría de los estudiantes opinan que han mejorado considerablemente sus habilidades en el manejo de herramientas, construcción de circuitos electrónicos simples, etc. Sorprendentemente para los organizadores, la mayoría cree que no han mejorado sus habilidades para aplicar los principios básicos de programación a través de la plataforma Arduino y el software específico para el diseño de estructuras (CAD). Alcanzar estas habilidades eran unos de los objetivos de los organizadores, por lo que este resultado requerirá un estudio y modificación del proyecto para futuras ediciones.

En cuanto al aprendizaje transversal, la mayoría de los estudiantes consideran que han mejorado su iniciativa, su capacidad de emprender proyectos originales, su conciencia de la conservación del medio ambiente, y su capacidad de trabajar en equipo.

III. CONCLUSIONES

El resultado global del proyecto ha sido muy satisfactorio. El formato elegido es muy innovador e interesante, y representa un reto para los participantes, tanto

Tabla I
DATOS RECOGIDOS EN LAS ENCUESTAS SUR19

Docentes	Estudiantes
Datos demográficos	Datos demográficos
Experiencia previa en el proyecto	Experiencia previa en el proyecto
Aprendizaje del alumnado (técnico/transversal)	Expectativas (aprendizaje/apoyos)
	Aprendizaje (técnico/transversal)
	Enfoque
	Estructura
	Autodeterminación
	Compromiso escolar

estudiantes como profesores. A pesar del desafío, casi todos los centros logran completar con éxito su vehículo.

Hemos observado, y se ha comprobado a través de las encuestas realizadas, que el hecho de poder superar este reto aumenta enormemente la autoestima de los alumnos y alumnas. Esto también ayuda a ver la tecnología como algo interesante y útil. Una consecuencia muy interesante del proyecto ha sido que los estudiantes han asociado la tecnología con la protección del medio ambiente. Normalmente se tiene la idea equivocada de que la tecnología es dañina para el medio ambiente, sin embargo, a través de este proyecto muchos estudiantes han entendido que los avances tecnológicos son los que permitirán una sociedad más sostenible.

Otro objetivo importante del proyecto es fomentar el deseo de estudiar ingeniería entre los estudiantes preuniversitarios. En base a las encuestas realizadas, el proyecto ha sido muy interesante para la mayoría de los estudiantes, por lo que esperamos que haya creado alguna vocación ingenieril entre ellos.

Otro de los objetivos de la edición de 2019 fue el aumento de la participación femenina en comparación con ediciones anteriores, donde era casi inexistente. Con una participación femenina del 17%, consideramos que las iniciativas tomadas han sido fructíferas, y continuaremos con la intención de aumentar este porcentaje en futuras ediciones.

También se han detectado algunos aspectos a mejorar. Por ejemplo, la necesidad de destacar la relevancia de la programación en el proyecto. Estos resultados nos ayudarán a planificar los retos y objetivos de la próxima edición con más información.

En conclusión, creemos que el proyecto ha cumplido los objetivos marcados de forma muy satisfactoria, ha tenido una gran aceptación entre los centros preuniversitarios de la región y ha tenido una gran repercusión mediática, tanto en prensa como en radio y televisión. Los organizadores esperan seguir mejorando en futuras ediciones y aumentar el número de participantes.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Programa de Cooperación INTERREG V-A ESPAÑA-PORTUGAL (POCTEP) 2014-2020, y cofinanciados con fondos del FEDER, número de subvención 1832_ T²UES_6_E, dentro del alcance del Proyecto T²UES.

REFERENCIAS

- [1] Wiek, A., Ness, B., Schweizer-Ries, P., Brand, F. and Farioli, F.: From complex systems analysis to transformational change: a comparative appraisal of sustainability science projects. *Sustain Sci* 7,5-24 (2012).
- [2] Chunyi, L., Yilan, H., Huanhuan, G., Gao-jie, W., Yifei, W., Wei, L. and Lijuan, C.: The Concentrations and Removal Effects of PM10 and PM2.5 on a Wetland in Beijing. *Sustainability* 11(5), 1312 (2019).

- [3] Sheesley, R. J., Schauer, J. J., Zheng, M., and Wang, B.: Sensitivity of Molecular Marker-Based CMB Models to Biomass Burning Source Profiles. *Atmospheric Environment* 41 (39), 9050-9063 (2007).
- [4] Tasci, B. G.: Project Based Learning from Elementary School to College, Tool: Architecture. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 186, 770 – 775 (2015).
- [5] Mioduser, D., Betzer, N. (2007). The contribution of project-based learning to high achievers' acquisition of technological knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 18, 59-77.[6] González, María Paz Sánchez. *Técnicas docentes y sistemas de evaluación en Educación Superior*. Vol. 26. Narcea Ediciones, 2010.
- [7] Tasci, B. G.: Project Based Learning from Elementary School to College, Tool: Architecture. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 186, 770– 775 (2015).
- [8] Efstratia, D.: Experiential education through project based learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 152, 1256 – 1260 (2014).
- [9] Chen, C – H. and Yang, Y – C.: Revisiting the effects of project-based learning on students' academic achievement: A meta-analysis investigating moderators. *Educational Research Review* 26, 71–81 (2019).

A User Experience Study for Smart Mobility System with Bikes

Isabel Sofia Brito, Luís Carlos Bruno

Escola Superior de Tecnologia e Gestão- Laboratório de Sistemas de Informação e Interactividade (LabSI2)

Instituto Politécnico de Beja

Rua Pedro Soares, Campus do Instituto Politécnico de Beja, Apartado 6155

7800-295 Beja, Portugal

isabel.sofia@ipbeja.pt, lbruno@ipbeja.pt

Abstract- Smart mobility is one dimension of the smart city concept and refers to mobility management in a smart city, transporting city inhabitants by meeting their daily mobility needs. A smart mobility example is to promote and encourage more people to ride on bikes. “U-Bike IPBeja” project aims to promote mobility and cycling in the city. To accomplish U-Bike IPBeja goals, an information system was developed to handle the project activities. The bike users have a mobile app software to control the bike activities. This paper presents a qualitative study of the U-Bike system to analyse the users’ perceptions and opinions relatively to the pair App+Bike usage. To accomplish this, two focus group were applied to a representative sample of users to find the level of user experience, i.e. if the system provides comfort, trust and the intended information. The results were very important to propose improvements regarding user experience goals.

Keywords- Smart Mobility, HCI, UX, Focus group

I. INTRODUCTION

Smart mobility is one dimension of the smart city concept and refers to mobility management in a smart city, transporting city inhabitants by meeting their daily mobility needs. A smart mobility example is to promote and encourage more people to ride on bikes. The “U-Bike IPBeja” is the Polytechnic Institute of Beja’s project, which is inserted in the “U-Bike Portugal”, aims to promote mobility and cycling in the city. This project provides the Beja’s academic community, students, teachers and academic staff, during one semester, 120 conventional bicycles and 80 electric, in order to reduce primary energy consumption and CO2 emissions, and to promote physical activity for health. To accomplish U-Bike IPBeja project goals, a software system was developed to monitor the project activities by meanings of travel time, users served within a specified period, among others.

System usability is defined by the degree to which specified objectives are achieved with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specific context of use. The User eXperience (UX) is other study object of the Human-Computer Interaction (HCI) area that intends to study the user perceptions, feelings and behaviors about one system use. One requirement to a good UX is the system to have a good usability. But is not enough a good user interface not even a

good user performance. If the system is not comfortable and not assure pleasure, trust and the intended information, then the user experience is not satisfactory. In this study we measure the UX based on subjective comments and perceptions of a sample of U-Bike users. To accomplish this, two focus group were applied to a representative sample of users. The results were very important to propose improvements regarding user experience goals.

This paper is organized as follows: Section 2 presents the background, while Section 3 presents the method of the focus group application; Section 4 presents the results and discussion and, finally, conclusions and future work are briefly outlined in Section 5.

II. BACKGROUND

A. Smart mobility concept and U-Bike Portugal project

Smart mobility consists in the use of ICT, networks, databases, software and devices, to produce more effective and efficient transport and logistics services. At the same time, it optimizes resource utilization and reduces the negative impact of mobility, mainly pollution [1]. Therefore, smart mobility refers to using modes of transportation alongside, or even instead of, owning a gas-powered vehicle. This can take many different forms, including ride-sharing, car-sharing, public transportation, walking, biking, and more. The need for smart mobility arose out of increasing traffic congestion and its related side effects, including pollution, accidents and casualties, and wasted time. A sustainable smart mobility example is to promote and encourage more people to ride bikes, for example through bike sharing projects, in order to reduce the individual carbon footprint.

The U-Bike Portugal project is a national project, which aims to promote the adoption of more sustainable mobility behavior through the provision of electrical and conventional bikes in academic communities. The project is co-financed by the programme Portugal 2020, particularly through PO SEUR – Operational Programme for Sustainability and Efficient Use of Resources¹, and is part of the programme to support the implementation of energy efficiency measures and public

¹

<https://poseur.portugal2020.pt/pt/candidaturas/avisos/poseur-07-2015-31-aviso-projeto-u-bike-portugal/>

transport consumptions rationalization. Therefore, the bikes are entrusted to the academic community for a long-term use, leading to a regular use of this means of transport.

B. User experience concepts

In the last years, Human-Computer Interaction (HCI) research community increased their interests in user experience (UX) area that allows interaction designers to better understand user behaviors when interacting with IT products. In contrast with the earlier studies in HCI focused on user cognition and user performance, UX shifts the focus to user affect, sensation, and the meaning as well as value of such interactions in everyday life [2].

The UX definition of ISO norm 9241-210:2019 [3] has the following definition: the user's perceptions and responses that result from the use and/or anticipated use of a system, product or service. According to its Note 1 to entry, the users' perceptions and responses include the users' emotions, beliefs, preferences, perceptions, comfort, behaviors, and accomplishments that occur before, during and after use. In addition, according Note 2 to entry, user experience is a consequence of brand image, presentation, functionality, system performance, interactive behavior, and assistive capabilities of a system, product or service. It also results from the user's internal and physical state resulting from prior experiences, attitudes, skills, abilities and personality; and from the context of use.

The work developed by Peter Morville [4], when translated its interest from information architecture (IA) to UX, stated the facets and the quality of UX in seven items: (1) Useful-products and systems are useful; (2) Usable - Ease of use that addresses to product usability; (3) Desirable - appreciation for the power and value of image, identity, brand, and other elements of emotional design; (4) Findable - users can find what they need; (5) Accessible - be accessible to people with disabilities; (6) Credible - users trust and believe in a product; and (7) valuable - deliver value and improve user satisfaction.

Our work analyze some U-Bike project users experience based on their interactions with the mobile application that manage the bike rides, as well as their mobility behavior.

C. U-Bike system

The U-Bike IPBeja project provides Beja's academic community 120 conventional bicycles and 80 electric bicycles. All the academic members can join this project but considering the goal of the project, candidates who use individual motorized transport on their trips to and from school are the first option. According to the project goal, the system requirements are:

- It should be easy to use by all academic users.
- Having the means to assess bike monitoring and maintenance, in particular electric bikes.
- Avoiding situations of theft.
- Analysing the effects of the project regarding its objectives, targets and expected results (metrics) by means of reports. These metrics are CO2 reduction, km travelled per week by each user (i.e. ride information), adherence rate of the academic community population to the project (by type of target audience) and the gain of healthy habits.
- Analysing the environmental sustainability and durability of the results of the project by means of reports.

- It must be available 24/7.
- It must comply with General Data Protection Regulation (GDPR).

In order to accomplish its requirements, the system needs to manage communications and services, and integrate a diverse range of devices (e.g. iOS and Android smartphone), as well as applications. The U-Bike IPBeja system uses a SmartLock device and smartphone. The SmartLock device along with communication technologies (M2M and Bluetooth) are used to (un)lock the bike and avoid situations of theft. The SmartLock attached to each bikes are equipped with GPS and ensures the collection of data (kilometres travelled) for monitoring.

The applications, or group of applications, are designed for the stakeholders. U-Bike stakeholders are academic users (end-users) and project manager, as well as external stakeholders (IMT and POSEUR). The academic users "owns" the bike and uses the App functionalities and the IPBeja's project managers are responsible for the system and uses the U-Bike web functionalities.

- Bike reservation: this functionality will allow academic users, future bike's owner, to book a bike for a period between 1 and 6 months.
- Academic user information: the system handles the information of the users (email).
- Bike tracking: the system handles the information of the rides. This information is crucial to identify whether the metrics of the project are accomplished or not (e.g. emissions of carbon and for health care service).
- Bike monitoring: this functionality will allow giving feedback on usage of bike/SmartLock including reporting any malfunctions (e.g. battery status).
- Import and export data: Excel files are used to manage devices, bike's user and rides information.

The academic users use the bike through the U-Bike mobile application (app) designed to run on an Android or iOS operating systems. The users can develop the following main tasks in the app:

- Start a ride by inserting her own "bike number" or scanning a QR Code placed on the bike (see Fig. 1, right screen). This operation allows user to automatically unlock the bike.

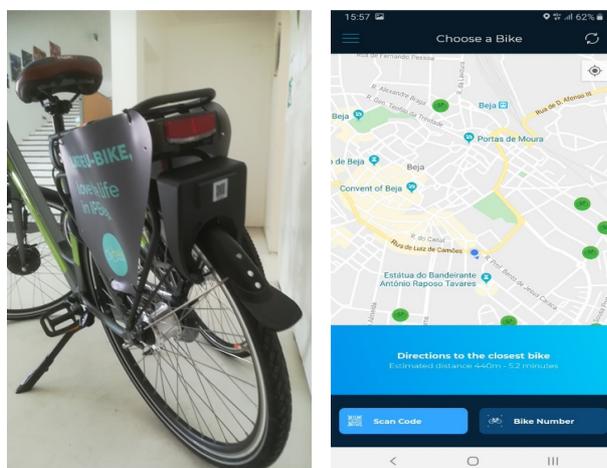


Fig. 1. An electrical bike with the SmartLock (on the left) and the screen to choose a bike and unlock its SmartLock (on the right)

- Finish the ride by activating the “Stop ride” option.
- View data for each ride (bike ID, distance travelled and date) and the respective paths represented on the city map (see Fig. 2).
- View the charge level of the SmartLock battery.

Here is an example of the actions that user needs to take on the smartphone and App for a bike ride:

- Connect to the internet via Wi-Fi or mobile Internet, and turn on the Bluetooth and GPS antennas in the mobile phone operating system.
- Launch the U-Bike app.
- In the first screen “Choose a Bike” option (see Fig. 1, right screen) provide the bike number or scan QR Code to open the SmartLock and the open a ride session. Now user can perform the ride and path is recorded in the server.
- Chose the “Stop Ride” option when user arrives at her destination and the session is automatically closed.

The App provides some other functions highlighting the following ones (see Fig. 2):

- Payment Methods.
- View the position of all project bikes in the city map (“choose bike” option).
- Share the App (in screen settings).
- Rate the App (in screen settings).
- Delete Account (in screen settings).

III. METHOD

For this study, our intention was to collect data regarding user experience felt by IPBeja teachers and academic staff within 6 months. We opted by focus groups to elicit data and applied a qualitative analysis [5].

Focus group is an interviewing technique to elicit stakeholders’ opinions about something. A focus group is a small number of people (usually between 4 and 15, but typically 8) brought together with a moderator to discuss a specific topic allowing the production of qualitative data more quickly that are representative of the general population. Although focus groups offer interesting advantages, they have some limitations, such as the fact that the small number of participants limits the generalization of the research, and the nature of the responses sometimes makes the analysis of the result difficult. To minimize this effect, two focus groups were created to analyse the application, both composed of teachers and academic staff.

The recruiting of teachers and academic staff for the focus group meeting was done by invitation after identifying a free timetable slot. The invitations were sent to a small group of teachers and staff with different profiles, i.e., with different types of smartphone models (for example: iOS / Android) and with different information and communications technology background. The groups moderation was conducted by two persons knowledgeable about the system, but were not using it. Six people were present out of ten invitations for the first focus group, four academic staff and two teachers. For the second focus group, four people were present out of ten invitations, three academic staff and one teacher.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The moderators applied some guidelines on how focus groups should be used in Human Computer Interaction. The guidelines are related to i) the number of participants, ii)

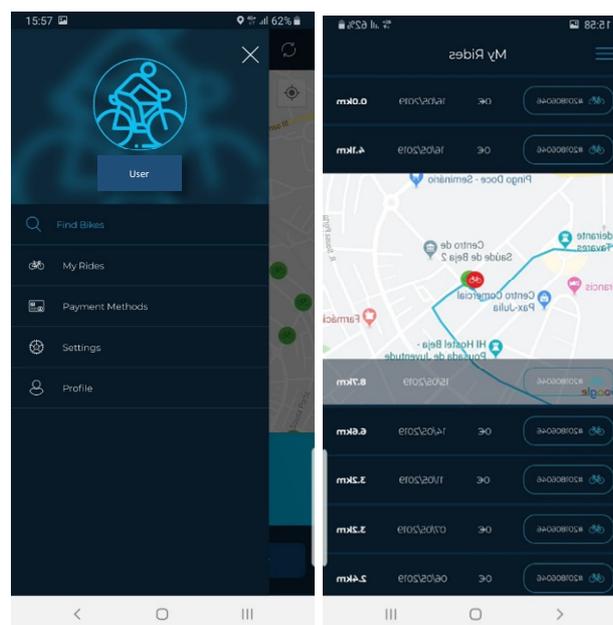


Fig. 2. The App main menu (on the left) and screen to view the rides performed (on the right)

preparing a list of topics to be discussed, and iii) ways to guarantee that all interviewees participate to the discussion. The discussion, responses and comments were very expressive and rich for better understand their experiences with App and bikes.

All ten participants had an electric bike. Two of them used iOS and 8 Android on their mobile phones. Two are integrated in the U-Bike project manager team and the other eight were bike users.

The information collected from the two focus group sessions were analysed to understand the behaviours, the feelings and perceptions of those users relatively to their interactions with App and bike.

From the received comments, all the participants found the U-Bike system very useful to promote mobility in Beja city, to decrease the pollution from cars and to lead healthy lives through physical exercise. They also considered aesthetically the bikes as beautiful. This appreciation is very important to create a strong emotional connection, identity and positive image to get more users for the project.

Participants found too the mobile App easy to use in the main tasks because are accomplished in few steps (one or two) and offering familiar widgets.

Regarding the user’s mobility in the city after they started participating in the U-Bike system, it were identified relevant changes in their routines as one can see below. From 10 participants, 9 of them use the bike to go to work at IPBeja. Only 2 of them had travelled to work by bike before the U-Bike project. In addition, 8 of them changed the car (6 diesel, 1 petrol and 1 without a car) use in some travels, like travel to work or supermarket. From the 10 participants, 8 of them use the bike daily and 2 of them weekly. These evidences suggested users changed their mobility behaviours contributing to improvement of the environment (less CO₂ emitted to the city) and for a better individual health through more physical activity.

Regarding the use of the bike, App and phone as a group of related elements, some comments were collected from

focus groups. This main shared information has different levels of importance for improve the system and are described in next items:

1. It is not possible to unlock the bike's SmartLock if it is inside a building because the GPS signal is not the accessible.
2. The SmartLock battery has a small capacity of charge that requires charging every two days (if discharging at 0, then it takes 3 days to fully charge).
3. The geo-referenced data recorded on each ride comes from the smartphone's GPS and not from the bike's GPS, as requirement of the vendor to address cost issues, so the App needs to be always on, as well as other battery-consuming features (e.g. Wi-Fi / mobile data / GPS / Bluetooth).
4. Sometimes the distances data from the rides are not recorded.
5. The rides trajectories showed on maps are always described by straight lines (starting point connected to stopping point) that do not correspond to the true paths travelled.
6. It makes no sense to see the other bikes of the project on the map.
7. Some users use their own conventional lock what avoids unlocking in the App.

Some other subjective comments from few users are listed below:

- "The App may have been made for another usage scenario."
- "I do not have patience with the lock mechanism anymore."

The use of SmartLock seem to be the main obstacle perceived by users to have not a fluid and satisfying experience. Looking for the UX criteria [3] and their facets [4] described below, we get for this problematic these findings: the accomplishments of the lock/unlock operations seem malfunction, causing discomfort and lack of trust in this part of the system. This has caused some users to adopt behaviours such as using their own locks. Also, the small capacity and difficult to charge the SmartLock battery causes problems to develop a fluid use of the bike every day anytime (24/7). Emotionally, all these caused frustration to users, and may cause misuse of the device.

The need to have turned on the internet (Wi-Fi or mobile data), the Bluetooth and GPS when riding caused some discontent to the users because the mobile data usage and smartphone battery.

There are some comments that suggest users do not consider the App credible in the transmitted and recorded (item 5) ride data and in the path representation on the map (item 6). In addition, the item 7 from list shows useless information in the App. These points diminish the users trust in the App data.

All the collected information was very important to understand the strong and weak points of the sensed user experience.

V. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Despite the limitations due the participants sample size of the focus group and their specific characteristics the results were very important to propose improvements especially in the SmartLock management and ride data management.

According to the results of this study, the SmartLock component has an effect on the overall user experience. To improve this point, it is necessary to take into account other important requirements like the safety of the bikes and the different user's profile and smartphones characteristics, for example. Unfortunately, those decisions are linked to budget constraints that prevent now the redesign of some parts of the system that can provide a better user experience. Already in the app development phase the budget constraints caused that this software had been adapted for U-Bike project from a bike rental management system already implemented in other cities.

The results of this case study also pointed out make people aware of the importance of balancing the system between security of the bikes and the flexibility of other features.

The strong points of this system are the user perception of its utility to improve city environment and to promote physical exercise and so ensuring better health. This motivate users to change their mobility behaviours in the city, particularly when traveling to IPBeja.

This makes us believe that this system has great potential in the future to attract more participants especially if it will be possible to improve some of the previously described issues that influence the user experience.

ACKNOWLEDGES

This project is financially supported by Portugal 2020 under the Operational Programme for Sustainability and Efficient Use of Resources (PO SEUR). The authors are thankful to IPBeja teachers and academic staff for their participation in this study.

REFERENCES

- [1] E. J. Tomaszewska and A. Florea, "Urban smart mobility in the scientific literature — bibliometric analysis," *Engineering Management in Production and Services*, vol. 10(2), 2018.
- [2] E. Law, V. Roto, M. Hassenzahl, A. Vermeeren and J. Kort, "Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach," in *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Boston, 2009.
- [3] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 9241-210:2019(en) Ergonomics of human-system interaction Part 210: Human-centred design for interactive systems," 2019. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:en>. [Accessed November 2019].
- [4] P. Morville, "User Experience Design," *Semantic Studies*, 2004. [Online]. Available: http://semanticstudios.com/user_experience_design/. [Accessed November 2019].
- [5] R. Mazza and A. Berre, "Focus group methodology for evaluating information visualization techniques and tools," in *11th International Conference Information Visualization (IV'07)*, 2007.

MPPT por Estimación de la Resistencia del Punto de Máxima Potencia en Base a Modelo Hiperbólico VS Método Clásico “P&O”

Análisis Comparativo de la Eficiencia de Seguimiento

Juan Ríos, Moisés Mesa, Juan Manuel Enrique, Antonio Javier Barragán
 Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas Informáticos y Automática
 Universidad de Huelva
 Campus El Carmen. Avda. de las Fuerzas Armadas s/n
 21007 Huelva
 rios@uhu.es, {moises.mesa, juanm.enrique, antonio.barragan}@diesia.uhu.es

Resumen- En este trabajo se realiza una comparación de dos métodos diferentes de seguimiento del Punto de Máxima Potencia en instalaciones fotovoltaicas. Por un lado, se contempla el método Perturbación y Observación, el método de seguimiento más usual dada su simplicidad y alta eficiencia. Por otro lado, se analiza un nuevo método por estimación de la Resistencia del Punto de Máxima Potencia, modelando ésta mediante una función hiperbólica. La comparación de la eficiencia de seguimiento de ambos métodos se realiza mediante simulación empleando datos muestreados en varios días con condiciones ambientales distintas y con variaciones en la carga del sistema fotovoltaico.

Palabras Clave- Generador fotovoltaico, MPPT, RMPP, modelo hiperbólico, convertidos DC/DC, ciclo de servicio, eficiencia de seguimiento, P&O

I. INTRODUCCIÓN

El punto de operación de la conexión directa de un generador fotovoltaico (PVG) y una carga no coincide, generalmente, con el punto de operación óptimo o punto de máxima potencia (MPP) del generador. Por ello, para hacer trabajar al sistema fotovoltaico en el MPP, se inserta un sistema de seguimiento (MPPT) (el MPP varía con la radiación incidente y con la temperatura del generador) entre el generador y la carga. Este sistema MPPT es básicamente un convertidor DC/DC controlado por un algoritmo de seguimiento del MPP. El algoritmo ajusta el ciclo de servicio del convertidor para maximizar la potencia de salida del generador. Numerosos algoritmos MPPT han sido propuestos y desarrollados en la literatura [1-13]. Entre ellos, el algoritmo Perturbación y Observación (P&O) es probablemente el más utilizado en sistemas comerciales MPPT. Sin embargo, no existe un acuerdo claro sobre qué algoritmo es mejor.

Para establecer la calidad de un sistema MPPT determinado (y poder compararlo con otros sistemas), es necesario definir la Eficiencia de Seguimiento (η), dada por (1) [2]:

$$\eta = \frac{\int_0^t P_{inst}(t)dt}{\int_0^t P_{real-MPP}(t)dt}, \quad (1)$$

donde, para las condiciones de radiación y temperatura en el período de tiempo dado, $P_{inst}(t)$ es la potencia instantánea suministrada por el PVG controlado por el sistema MPPT, y $P_{real-MPP}(t)$ es la potencia MPP real del PVG en esas condiciones.

En [2] se presenta un completo estudio que concluye con desempeños no muy diferentes para la mayoría de los algoritmos MPPT y donde el P&O tradicional resulta bastante exitoso.

Recientemente se ha publicado un nuevo método MPPT [14]. Este nuevo método se basa en la estimación directa de la resistencia MPP ($R_{MPP} = V_{MPP}/I_{MPP}$), siendo V_{MPP} e I_{MPP} el voltaje y la corriente del PVG en su MPP (punto de máxima potencia). Este método sólo necesita mediciones de la irradiancia sobre el generador fotovoltaico (no la temperatura).

En este trabajo se realiza una comparación de ambos métodos (método nuevo frente al P&O clásico) para diferentes condiciones ambientales y de carga. En cada caso se muestra la eficiencia de seguimiento. Finalmente, se presentan algunas conclusiones.

II. SIMULACIONES Y RESULTADOS

Para el análisis y las simulaciones se han utilizado el PVG *Isofoton ISF-250* (cuyas características se muestran en la tabla 1) y el convertidor DC/DC boost que se muestra en la Figura 1. Para el PVG, se ha utilizado el modelo de una sola exponencial y 5 parámetros [15].

TABLA I
PARÁMETROS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO ISF-250

$A = 1.2$	Factor de idealidad de la unión PN
$E_g = 1.12 \text{ eV}$	Energía de la banda prohibida
$n_p = 6$	Nº de módulos conectados en paralelo
$n_s = 10$	Nº de células conectadas en serie
$P_{\max} = 250 \text{ W}$	Potencia máxima en condiciones estándar*
$V_{\max} = 30.6 \text{ V}$	Tensión en el punto de máxima potencia
$I_{\max} = 8.17 \text{ A}$	Corriente en el punto de máxima potencia
$\text{NOTC} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura nominal de operación de la célula
$I_{\text{sc}} = 8.75 \text{ A}$	Corriente de cortocircuito en condiciones estándar
$V_{\text{oc}} = 37.8 \text{ V}$	Tensión a circuito abierto en condiciones estándar
$k_v = -0.323 \text{ } \%/^\circ\text{C}$	Coefficiente de temperatura para V_{oc}
$k_i = 0.042 \text{ } \%/^\circ\text{C}$	Coefficiente de temperatura para I_{sc}
$R_s = 0.82 \text{ } \Omega$	Resistencia serie
$R_p = 324 \text{ } \Omega$	Resistencia paralelo

*Condiciones estándar: $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y 1000 W/m^2

En las simulaciones, se han utilizado los datos medidos de temperatura en la superficie del generador fotovoltaico (T) y la irradiancia total (G) en su plano (35°) para días con diferentes condiciones ambientales: 06/11/2013, 08/11/2013 y 09/11/2013, en adelante días D1, D2 y D3 (latitud: $37^\circ 12' 02.90'' \text{ N}$, longitud: $6^\circ 55' 09.50'' \text{ W}$, elevación: 19 m). Ver Figuras 2, 3 y 4.

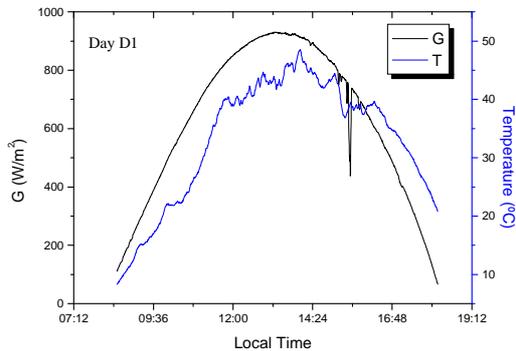


Fig. 2. Valores de T y G en el PVG para el día D1 (06/11/2013)

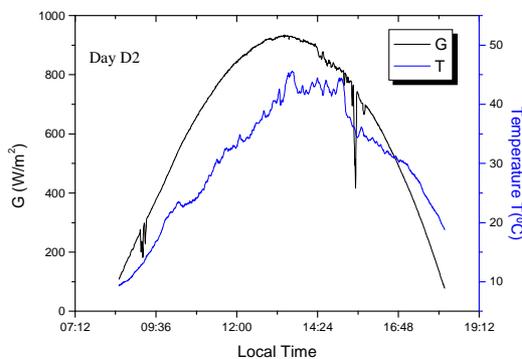


Fig. 3. Valores de T y G en el PVG para el día D2 (08/11/2013)

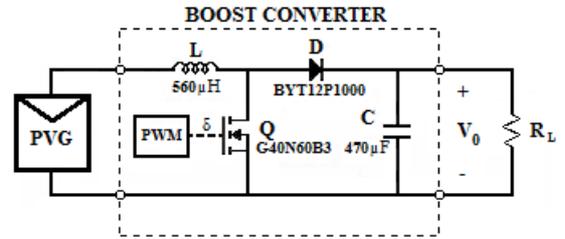


Fig. 1. Convertidor DC/DC boost usado en este estudio

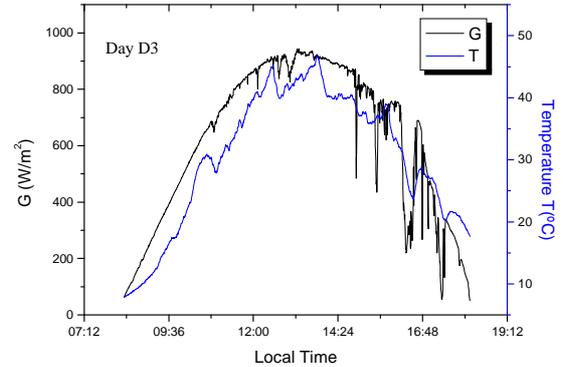


Fig. 4. Valores de T y G en el PVG para el día D3 (09/11/2013)

Para la caracterización del generador fotovoltaico en su punto de máxima potencia se ha seguido el procedimiento indicado en [14]. La figura 5 muestra los valores obtenidos para la resistencia MPP, R_{MPP} , frente a la inversa de la irradiancia ($1/G$) para el día D1. Haciendo un ajuste lineal en este conjunto de datos (ver figura 5) se obtienen las expresiones (2), (3) y (4).

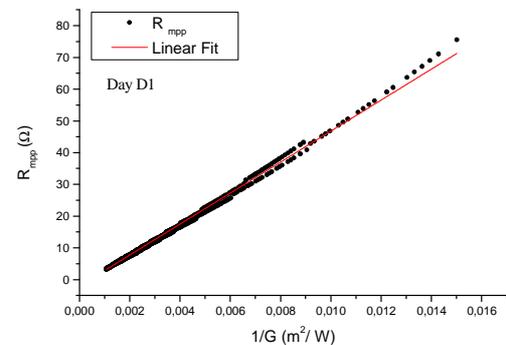


Fig. 5. R_{MPP} frente a G^{-1} para el día D1

$$R_{MPP-HYP}(\Omega) = A + \frac{B}{G} \quad (2)$$

$$A = -2.013 \text{ } (\Omega), \quad (3)$$

$$B = 4879.1 \left(\Omega \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right). \quad (4)$$

Para las simulaciones se ha utilizado un convertidor DC/DC boost. La resistencia de entrada, R_i , asociada con este convertidor viene dada por la expresión (5) [14]:

$$R_i = R_{off} + R_L (1 - \delta)^2, \quad (5)$$

donde δ es el ciclo de servicio aplicado al convertidor DC/DC y R_L es la resistencia de carga del sistema (conectada a la salida del convertidor DC/DC). El valor R_{off} (que en una situación ideal sería cero) se debe principalmente a las no idealidades del convertidor DC/DC. Depende básicamente de los valores de la resistencia parásita asociada con el inductor del convertidor y del valor de la resistencia de las líneas de conexión entre el generador fotovoltaico y el convertidor DC/DC. En las simulaciones de este trabajo se ha tomado un valor de $R_{off} = 2\Omega$.

Aplicando (5) para el caso particular de MPP, se obtiene la expresión (6):

$$R_{MPP} = R_{off} + R_L (1 - \delta_{MPP})^2. \quad (6)$$

Por lo tanto, al operar en (6), se obtiene (7):

$$\delta_{MPP} = 1 - \sqrt{\frac{R_{MPP} - R_{off}}{R_L}}. \quad (7)$$

En el método de seguimiento de MPP por estimación directa de la resistencia de MPP [14], el valor de R_{MPP} que se utilizará en la expresión (8) se determina por el ajuste de los datos de R_{MPP} frente a $1/G$. En este trabajo se han utilizado los valores dados por la expresión (2), con las constantes indicadas en (3) y (4).

En las simulaciones, se ha empleado un tiempo de muestreo e iteración suficientemente grande ($T = 20s$) suponiendo así que el convertidor ha alcanzado su estado estacionario.

La determinación del ciclo de servicio utilizando el método P&O se realiza mediante la siguiente expresión iterativa (8) [1]:

$$\delta_i = \delta_{i-1} + b_i \cdot \Delta\delta, \quad (8)$$

donde δ_i y δ_{i-1} son los ciclos de servicio correspondientes a las iteraciones i e $i-1$, $\Delta\delta$ es el paso del ciclo de servicio y b_i es una variable que puede tomar los valores 1 o -1. Si la potencia del generador fotovoltaico ha aumentado con respecto a la potencia en la iteración anterior, entonces $b_i = b_{i-1}$, de lo contrario $b_i = -b_{i-1}$.

En las simulaciones para el algoritmo P&O, se ha tomado un valor inicial para el ciclo de servicio $\delta_0 = 0.5$, y un paso constante de $\Delta\delta = 2\%$.

Usando modelos de MATLAB del convertidor DC/DC y del PVG, se han determinado los valores de potencia real MPP ($P_{real-MPP}$) y los valores de potencia suministrados para los dos métodos de seguimiento en estudio ($P_{Hyperbolic}$ y $P_{P\&O}$). También se ha calculado la eficiencia de seguimiento.

Los valores de potencia ($P_{real-MPP}$, $P_{Hyperbolic}$ y $P_{P\&O}$) para los días D1, D2 y D3 se muestran en las Figuras 6, 7 y 8 respectivamente para una resistencia de carga constante de $R_L = 55\Omega$. En estas figuras, se puede observar la bondad del seguimiento para el método de estimación de R_{MPP} y las fluctuaciones típicas del algoritmo P&O, aunque esto no implica una disminución muy apreciable de la eficiencia del

seguimiento (1-3%) con respecto al otro método, como se muestra en la Tabla 2 para los diferentes días de simulación.

Por otro lado, el mismo sistema ha sido sometido a variaciones repentinas en la carga. En la Figura 9 se muestran los resultados de esta simulación cuando la carga R_L varía entre 20Ω y 80Ω cada 15 minutos. Nuevamente, se puede observar el buen ajuste del método de estimación de R_{MPP} , pero en esta ocasión hay grandes oscilaciones, con una pérdida considerable de la eficiencia de seguimiento ($> 10\%$) en el método P&O (ver la última columna en la Tabla 2).

TABLA 2. VALORES DE EFICIENCIA DE SEGUIMIENTO PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES DE SIMULACIÓN

	Día D1 $R_L=55\Omega$	Día D2 $R_L=55\Omega$	Día D3 $R_L=55\Omega$	Día D3 R_L variable
Método P&O	$\eta = 96.9\%$	$\eta = 96.8\%$	$\eta = 95.3\%$	$\eta = 88.2\%$
Método de estimación de R_{MPP}	$\eta = 98.5\%$	$\eta = 97.8\%$	$\eta = 98.2\%$	$\eta = 98.2\%$

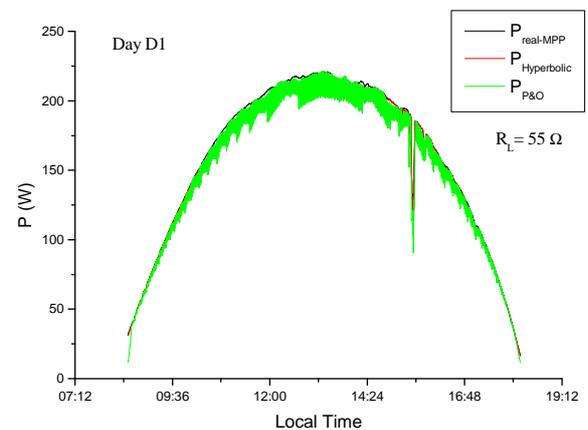


Fig. 6. Trayectoria de $P_{real-MPP}$, $P_{Hyperbolic}$ y $P_{P\&O}$ para el día D1. $R_L = 55\Omega$

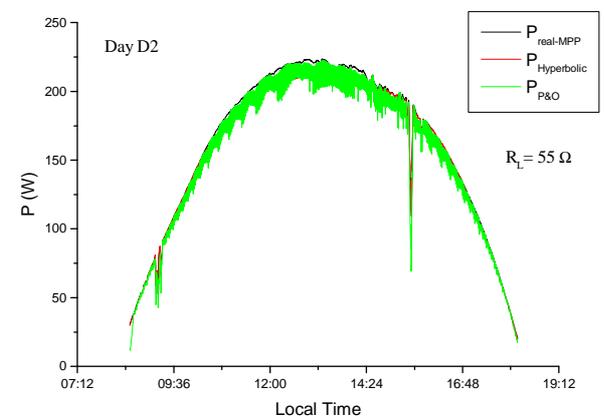


Fig. 7. Trayectoria de $P_{real-MPP}$, $P_{Hyperbolic}$ y $P_{P\&O}$ para el día D2. $R_L = 55\Omega$

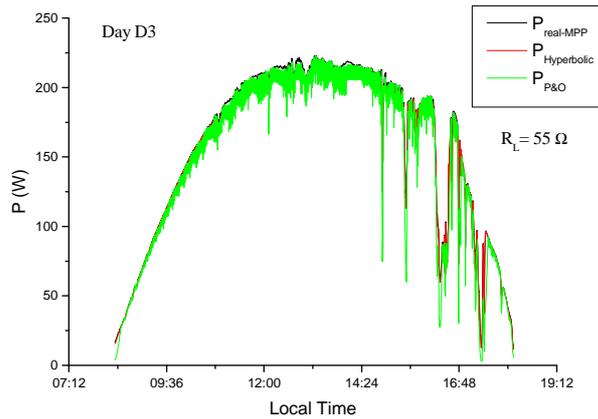


Fig. 8. Trayectoria de $P_{real-MPP}$, $P_{Hyperbolic}$ y $P_{P\&O}$ para el día D3. $R_L = 55\Omega$

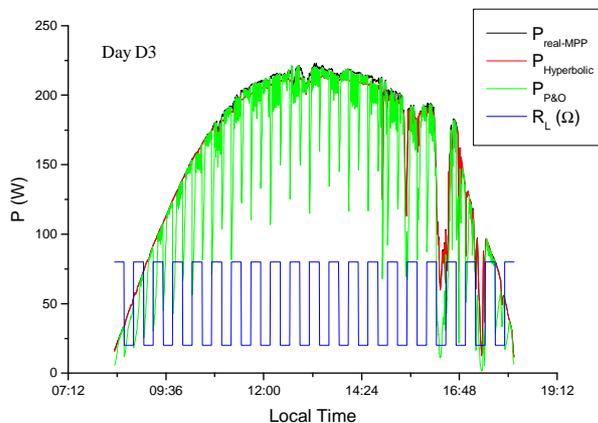


Fig. 9. Trayectoria de $P_{real-MPP}$, $P_{Hyperbolic}$ y $P_{P\&O}$ para el día D3. R_L variable

III. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra los resultados de la comparación de la eficiencia de seguimiento del punto de máxima potencia para dos métodos diferentes: el nuevo método por estimación directa de la R_{MPP} utilizando un modelo hiperbólico (modelo polinomial de primer grado con respecto a G^{-1}), frente al método clásico y ampliamente utilizado Perturbación y Observación, P&O.

Los resultados muestran que cuando las instalaciones fotovoltaicas no presentan variaciones significativas en sus cargas, es decir, cuando son sistemas muy estáticos, con pocas variaciones en los requisitos de potencia, ambos métodos tienen eficiencias de seguimiento similares. Sin embargo, cuando los sistemas fotovoltaicos están sujetos a variaciones significativas y frecuentes en sus cargas, el método por estimación de la resistencia MPP, R_{MPP} , se vuelve claramente más eficiente. Por lo tanto, en sistemas con requisitos de potencia fluctuantes, este método es más ventajoso.

REFERENCIAS

[1] Enrique J.M., Andújar J.M., Martínez M.A. (2010). A Reliable, Fast and Low Cost Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Applications. *Solar Energy*. Vol. 84. Núm. 1. Pag. 79-89.

[2] Hohm D. P., Ropp M. E. (2002). Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms. *Progress in Photovoltaics: Research and applications*, November 2002.

[3] Abd El-Shafy A.N., Faten H.F., Abou El-Zahab E.M. (2003). Evaluation of a proper controller performance for maximum-power point tracking of a stand-alone PV system. *Solar Energy Mater. Solar Cells* 75 (3-4), pp. 723-728, 2003.

[4] Hamdy M.A. (1994). A new model for the current-voltage output characteristics of photovoltaic modules, *J. Power Sources*, 50 (1-2), pp. 11-20, 1994.

[5] Hiyama T., et al. (1995). Evaluation of neural network based real time maximum power tracking controller for PV system. *IEEE Trans. Energy Conversion*, 10 (3), pp. 543-548, 1995.

[6] Hiyama T., et al. (1995). Identification of optimal operation point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control. *IEEE Trans. Energy Conversion* 10, pp 360-367, 1995.

[7] Hiyama T., et al. (2002). Neural network based estimation of maximum power generation. *IEEE Trans. Energy Conversion* 12, pp. 241-247, 1997

[8] Patcharaprakiti N., Premrudeepeeracharn S., Sriuthaisiriwong Y. (2005). Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system. *Renewable Energy*, 30 (11), pp. 1771-1788, 2005.

[9] Takashima T., Tanaka T., Amano M., Ando Y. (2000). Maximum output control of photovoltaic (PV) array. *Intersociety Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC)*, 35th, Las Vegas, NV, 24-28, pp. 380-383, July 2000.

[10] Takehara N., Kurokami S. (1997). Power control apparatus and method and power generating system using them. Patent US5, 654883. 1997.

[11] Veerachary M., Senjyu T., Uezato K. (2003). Maximum power point tracking of coupled inductor interleaved boost converter supplied PV system. *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 150. No. 1, January 2003.

[12] Wilamowski B.M, et al. (2001). Microprocessor implementation of fuzzy system and neural networks. *International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 1, pp. 234-239. Washington, DC, 2001.

[13] Won C-Y, Kim D-H, Kim S-C, Kim W-S, Kim H-S. (1994). A new maximum power point tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller. *Proceedings of the 24th IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, 396-403, 1994

[14] Enrique, J. M.; Andújar, J. M.; Durán, E; Martínez, M. A. (2015). Maximum-Power Point Tracker based on Maximum-Power Point Resistance Modeling. *Progress in Photovoltaics*. Vol. 23, pp. 1.940-1.955.

[15] Enrique J. M., Durán E., Sidrach M., Andújar J. M. (2007). Theoretical Assessment of the Maximum Power Point Tracking Efficiency of Photovoltaic Facilities with Different Converter Topologies. *Solar Energy*, 81(1), pp. 31-38, 2007.

Medición de la Difusividad Térmica de Terrenos (Parámetro α_z) Mediante Sonditas de Temperatura Low Cost, Enterrada con Método Artesanal I

J. Pino Fernández, D. Ruiz Castilla, M.A. Martínez Bohórquez, J.M. Andújar Márquez
Grupo de investigación TEP-192 Control & Robótica
Universidad de Huelva

Campus de «La Rábida», Carretera Palos de La Frontera s/n, 21819 Palos de La Frontera - Huelva
joaquin.delpino@diesia.uhu.es, daniel.ruiz@diesia.uhu.es, bohorquez@diesia.uhu.es, andujar@diesia.uhu.es

Resumen- El objetivo del presente trabajo es calcular la difusividad térmica del terreno (parámetro α_z), utilizando para ello el método de medición de la temperatura del terreno mediante una sonda creada especialmente para esta aplicación. Este estudio representa la continuación de un trabajo publicado con anterioridad, pero con diversas variantes, como son la profundidad, la electrónica utilizada y el método de sondeo. El sistema desarrollado en este trabajo y en los trabajos que le anteceden, pueden ser una herramienta muy útil para arquitectos, geólogos e ingenieros, ya que se puede trabajar con valores reales de difusividad térmica y temperatura, obtenidos de una forma relativamente rápida y barata, al contrario de como se viene haciendo, utilizando metodologías exclusivamente teóricas y empíricas. Los datos obtenidos son almacenados en una base de datos, creada por LabVIEW. Procesándolos más tarde para lograr los resultados deseados.

Palabras Clave- Geotermia; difusividad térmica; LabVIEW; VLEGE.

I. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este trabajo es poder calcular en cualquier terreno de una forma rápida, barata y fiable, la relación entre la facilidad para transmitir calor por conducción y su facilidad para almacenarlo. A esto es lo que se le conoce como difusividad térmica [1].

En los últimos años se han llevado a cabo multitud de investigaciones impulsadas sobre todo por el cambio climático [2], obteniéndose grandes conocimientos en eficiencia energética en edificios, lo que ha llevado a incorporarlos en las regulaciones legislativas de los distintos países [4], produciendo una obligatoriedad para arquitectos e ingenieros a la hora de diseñar, esto ha propiciado multitud de investigaciones sobre el problema de cómo reducir el consumo de energía en edificios, estudiando la incorporación de nuevos materiales [5]–[7], con análisis sobre iluminación natural [8], con el uso de ventilación natural [9], a través del comportamiento en el uso de la energía o con la incorporación de instalaciones fotovoltaicas [10].

Se debe de tener en cuenta que la construcción es actualmente responsable de al menos el 40% del consumo total de energía en la Unión Europea (UE), lo que lo convierte en un objetivo estratégico para la reducción de gases efecto invernadero, responsable del calentamiento global de la Tierra.

Otro problema que se le plantean a los arquitectos e ingenieros es que la mayoría de los estudios han sido realizados en climas fríos, pero muy pocos analizan el ahorro

energético en viviendas de climas subtropicales con datos y soluciones reales [11]–[21].

Tradicionalmente las manifestaciones del calor interno de la Tierra se han considerado como episodios mágicos, extraordinarios o incluso manifestaciones del poder de un Dios [22], hoy en día nos evidencia la cantidad de energía que existe en el interior del planeta y que se atestigua con la distribución de temperaturas que existen en las distintas capas que conforman el planeta. Atendiendo a la clasificación que se muestra en García de la Noceda [23], se pueden considerar tres capas concéntricas que forman el globo.

Se estima que, tan sólo en los diez kilómetros exteriores de la corteza terrestre, la energía almacenada es del orden unas 2000 veces la energía que producirían las reservas de carbón mundiales [24]. La diferencia de temperatura entre el centro del planeta y las distintas capas, produce un flujo continuo de calor desde el núcleo a las capas exteriores, que se le denomina gradiente geotérmico, el cual depende en los primeros kilómetros de las condiciones climáticas.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para determinar la difusividad térmica, se han utilizado métodos basados en las variaciones de la temperatura en el suelo. Estas variaciones, que han sido estudiadas hace décadas [25]–[28], vienen producidas por las oscilaciones de temperatura en el exterior, produciendo un flujo de calor (G) en el suelo, componente necesario para el balance de energía

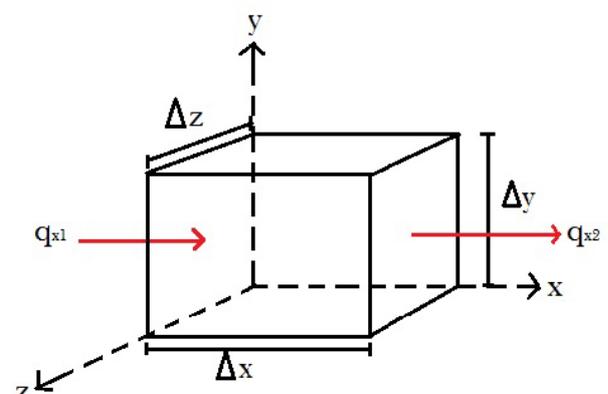


Fig. 1. Volumen de control. Fuente Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería de Minas

en la superficie terrestre [29]–[31], normalmente este flujo de calor oscila entre el 10% y el 15% de la radiación neta (R_n) [32][33], aunque en zonas áridas con muy poca humedad, esta radiación neta puede llegar a ser el 50% [34]–[37].

Una vez que G calienta una capa de unos 3 cm del suelo, la energía que no se disipa como calor latente (LE) y/o calor sensible (H), se transfiere de modo gradual a mayores profundidades [38], esta transferencia es lo que se conoce como difusividad térmica y fue utilizada por De Vries y Van Wijk [39] para satisfacer la ecuación de calor (Ec.10) con la temperatura del suelo.

Esta temperatura ha sido objeto de varios estudios [40]–[42], encontrándose mediante la modelación del movimiento de la energía en el suelo:

$$T = T(z, t) \tag{1}$$

donde T es la temperatura del suelo en un tiempo t y a una profundidad z .

Si se tiene un cuerpo formado por los lados $\Delta x, \Delta y$ e Δz , al aplicar la primera ley de la termodinámica, se obtiene que el cambio de energía interna no es más que la cantidad de energía que entra o sale del límite que señala la superficie de contacto que comparten el sistema y el ambiente (la frontera) como se observa en la Fig. 1.

Luego se tendrá:

$$Q_{entr} + W_{entr} + E_{gene} = Q_{sal} + W_{sal} + U_{int} \tag{2}$$

Si se tiene en cuenta que:

- Las propiedades físicas del medio son las mismas en todos los puntos, por tanto, no dependerá de la dirección en que se mida.
- Las variaciones de volumen producidas por los cambios de temperatura serán despreciables comparado con el volumen de la Tierra.
- Las fuentes internas de calor estarán distribuidas uniformemente.

Se tendrá:

$$\partial Q_{entrante} - \partial Q_{saliente} + E_{generada} = \partial U \tag{3}$$

En la Ec. 3, $\partial Q_{saliente}$ representa el calor neto que intercambia el cuerpo con el exterior, considerándose positivo si es absorbido por el elemento y la $E_{generada}$ son las energías procedentes de la disipación eléctrica, roce y reacciones químicas o nucleares, en este caso se llamarán \dot{q} .

Al aplicar la serie de Taylor y siguiendo los estudios de Gallo y Zorto [43] se tendrá:

$$q_{i+\Delta i} = q_i + \frac{\partial q_i}{\partial i} \Delta i \tag{4}$$

Al desarrollar, agrupar y sustituir la ecuación se obtiene:

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial q_y}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial q_z}{\partial z} \Delta z\right) + \dot{q} \Delta x \Delta y \Delta z = \rho C_v (\Delta x \Delta y \Delta z) \frac{\partial T}{\partial t} \tag{5}$$

Se debe recordar que el flujo de calor es un vector en un espacio coordenado cartesiano, por tanto por medio de la ley de Fourier se obtiene:

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \Delta y \Delta z \tag{6}$$

$$q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \Delta x \Delta z \tag{7}$$

$$q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \Delta y \Delta x \tag{8}$$

Sustituyendo y dividiendo por $\Delta x \Delta y \Delta z$, y teniendo en cuenta que k es constante y no hay conversión de energía interna, se tiene la ecuación de Fourier:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho C_v}{k} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{9}$$

Si se considera que el Sol calienta periódicamente a la Tierra, se puede imaginar a la Tierra como un sistema semi-infinito unidimensional [44]–[46], y se tiene que la temperatura del subsuelo, $T(x, t)$, en cualquier punto x y tiempo t es proporcionada por la ecuación de conducción de calor [47]–[49], además conviene elegir el eje z en dirección vertical y penetrando en la Tierra. La ecuación de Fourier se puede escribir:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \tag{10}$$

Partiendo de un caso tridimensional y si se considera que no hay conservación de energía, se tendrá:

$$\rho C \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \nabla \cdot [k \nabla T(x, t)] \tag{11}$$

Resolviendo la ecuación de calor en estado transitorio para un medio semi-infinito, se tiene:

$$T_{superficial}(z, t) = T_m - T_p e^{-z \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}} \cos\left(\omega t - \varphi - z \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right) \tag{12}$$

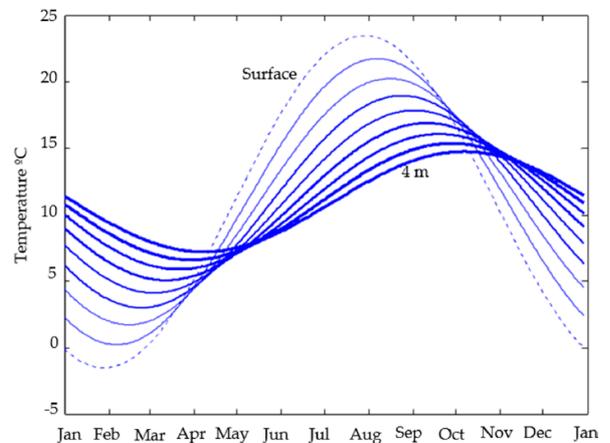


Fig. 2. Comportamiento típico de la temperatura del suelo. Fuente: Martínez Bohórquez, et al. S. Ground Thermal Diffusivity by Direct Soil Temperature Measurement

Aplicando la ecuación (12) se obtiene el comportamiento de la temperatura a diferentes profundidades, tal y como se muestra en la Fig. 2, donde se comprueba que conforme aumenta la profundidad disminuye la amplitud de las fluctuaciones térmicas, por tanto, conforme aumenta la profundidad, sobre los 10 metros la temperatura del terreno coincidirá con la temperatura media anual de la zona [50], además las curvas adquieren una uniformidad debido a que se considera la difusividad térmica constante, sin tener en cuenta que ésta varía con la humedad por aguas subterráneas, la uniformidad de la tierra, etc. Las curvas reales, no son tan uniformes, y este hecho pasa desapercibido cuando se toma el valor de la difusividad térmica de las tablas existentes.

Desde la Ec. 12 se puede calcular la temperatura mínima y máxima del suelo para cualquier profundidad (z) y a partir de ahí calcular la difusividad térmica de la tierra a cualquier profundidad. Ec. 13

$$\alpha_z = \frac{\omega}{2} \left(\frac{z}{\ln \frac{T_p}{T_H - T_m}} \right)^2 \quad (13)$$

III. RESULTADOS

Para obtener los datos de temperatura reales, que posibilite el cálculo de la difusividad térmica real, se ha construido y enterrado una GTP, que se detallará en un trabajo posterior denominado “Medición de la Difusividad Térmica de Terrenos (parámetro α_z) mediante sondas de temperatura low cost, enterrada con método artesanal II”.

La GTP enterrada, ha ido adquiriendo datos durante más de un año continuamente (seis mediciones por minuto), aunque para este estudio solo se ha escogido los datos de enero a diciembre de 2018.

La Fig. 3 muestra las temperaturas medias mensuales medidas con la GTP respecto a la profundidad.

Con el fin de demostrar la utilidad de la metodología y sistema desarrollado en este trabajo, se ha solicitado un informe geológico detallado del terreno donde se ha realizado el sondeo. Este informe constató que hasta los dieciséis metros existen cinco tipos diferentes de suelo, en particular a 5 metros de profundidad, el suelo es una mezcla de arena y grava, y a los 10 metros existe principalmente una mezcla de arena, grava y limo. En otro sentido, el informe afirmó que el nivel de agua del suelo se encuentra a los 3 metros de profundidad, por lo que, a los 16 metros, el suelo está saturado en agua.

Con la ayuda de las tablas donde se muestra la conductividad térmica y la difusividad térmica para diferentes tipos de suelo según Hillel [51], y los datos obtenidos en el informe geológico, en un proyecto tradicional de eficiencia energética, se elegiría el coeficiente de difusividad térmica

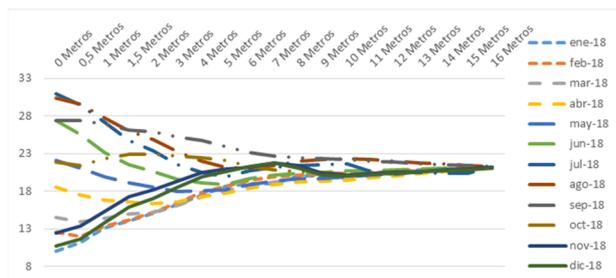


Fig. 3. Temperaturas medias mensuales medidas con la GTP respecto a la profundidad

más acorde a nuestro terreno. Sin embargo, dependerá de la cantidad de humedad del terreno a la profundidad deseada o de la mezcla de tierras en dicha profundidad.

En este caso particular la difusividad térmica variará entre los $0.19 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ y los $1.72 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Se puede observar que es un rango demasiado alto para decidirse por uno u otro.

Si bien, de las mediciones realizadas por la GTP, se sabe que T_p de la zona es $10.455 \text{ }^\circ\text{C}$ ya que la temperatura más alta registrada es 30.95 y la mínima es 10.04 , (T_H es $21.45 \text{ }^\circ\text{C}$ y T_L es 20.49), por tanto, se puede calcular el valor verdadero de la difusividad térmica a la profundidad z de 15 metros.

$$\alpha_z = \frac{\pi}{T} \left(\frac{z}{\ln \frac{T_p}{T_H - T_m}} \right)^2 = \frac{\pi}{3.1557 \times 10^7} \left(\frac{15}{\ln \frac{10.455}{21.45 - 19.9}} \right)^2 = 0.8254 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Como se puede observar, el valor determinado está dentro de los valores teóricos aportados por Hillel, pero queda mucho más definido.

IV. CONCLUSIONES

El sistema desarrollado en este trabajo y en los trabajos que le anteceden, puede ser una herramienta muy útil para arquitectos, geólogos e ingenieros.

Se puede trabajar con valores verdaderos de difusividad térmica y temperatura, al contrario de como se viene haciendo con metodologías exclusivamente teóricas, obteniéndose dimensionados incorrectos.

Se evita poner en cuestión la eficiencia energética en instalaciones VLEGE.

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros de trabajo, Jose M. Andújar, Miguel A. Martínez, Daniel Ruiz y José Gamero ya que sin su colaboración y saber no hubiera sido posible este trabajo.

A Eva, por su paciencia infinita por las tardes y madrugadas perdidas y por su paciencia y amor transmitido.

A mi “chiqui”, por hacerme feliz al querer seguir los pasos de la ciencia y apoyarme en mi camino.

REFERENCIAS

- [1] M. Montes Pita, M. Muñoz Domínguez, and A. J. Rovira de Antonio, *Ingeniería térmica*. 2014.
- [2] A. McGushin, Y. Tcholakov, and S. Hajat, “Climate change and human health: Health impacts of warming of 1.5°C and 2°C ,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 6, pp. 10–14, 2018.
- [3] M. D. Mastrandrea and S. H. Schneider, “Resource Letter GW-2: Global Warming,” *Am. J. Phys.*, vol. 76, no. 7, pp. 608–614, Jul. 2008.
- [4] S. G. Melgar, M. Á. M. Bohórquez, and J. M. A. Márquez, “UhuMEB: Design, construction, and management methodology of minimum energy buildings in subtropical climates,” *Energies*, vol. 11, no. 10, 2018.
- [5] F. Bisegna *et al.*, “Influence of Insulating Materials on Green Building Rating System Results,” *Energies*, vol. 9, no. 9, 2016.
- [6] D. Zhou, C. Y. Zhao, and Y. Tian, “Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications,” *Appl. Energy*, vol. 92, pp. 593–605, 2012.
- [7] N. Soares, J. J. Costa, A. R. Gaspar, and P. Santos, “Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings’ energy efficiency,” *Energy Build.*, vol. 59, pp. 82–103, 2013.

- [8] V. Ponnmalar and B. Ramesh, "Energy Efficient Building Design and Estimation of Energy Savings From Daylighting in Chennai," *Energy Eng.*, vol. 111, no. 4, pp. 59–80, Jun. 2014.
- [9] A. Aflaki, N. Mahyuddin, Z. Al-Cheikh Mahmoud, and M. R. Baharum, "A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates," *Energy Build.*, vol. 101, pp. 153–162, 2015.
- [10] M. Karteris and A. M. Papadopoulos, "Residential photovoltaic systems in Greece and in other European countries: a comparison and an overview," *Adv. Build. Energy Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 141–158, May 2012.
- [11] S. Farzam and G. Todesco, "Sustainability In Cold Climates.," *search.ebscohost.com*, 2010.
- [12] W. Wu, J. Guo, J. Li, H. Hou, Q. Meng, and W. Wang, "A multi-objective optimization design method in zero energy building study: A case study concerning small mass buildings in cold district of China," *Energy Build.*, vol. 158, no. 2018, pp. 1613–1624, 2018.
- [13] S. Aslam *et al.*, "Towards Efficient Energy Management of Smart Buildings Exploiting Heuristic Optimization with Real Time and Critical Peak Pricing Schemes," *Energies*, vol. 10, no. 12, 2017.
- [14] Z. Zhou, Z. Zhang, J. Zuo, K. Huang, and L. Zhang, "Phase change materials for solar thermal energy storage in residential buildings in cold climate," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 48, pp. 692–703, 2015.
- [15] E. Biseniece *et al.*, "Thermal performance of internally insulated historic brick building in cold climate: A long term case study," *Energy Build.*, vol. 152, pp. 577–586, 2017.
- [16] R. Richman and R. Simpson, "Towards quantifying energy saving strategies in big-box retail stores: A case study in Ontario (Canada)," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 20, pp. 61–70, 2016.
- [17] T. Olofsson and T. M. I. Mahlia, "Modeling and simulation of the energy use in an occupied residential building in cold climate," *Appl. Energy*, vol. 91, no. 1, pp. 432–438, 2012.
- [18] I. G. Hamilton, A. J. Summerfield, D. Shipworth, J. P. Steadman, T. Oreszczyn, and R. J. Lowe, "Energy efficiency uptake and energy savings in English houses: A cohort study," *Energy Build.*, vol. 118, pp. 259–276, 2016.
- [19] Q. Wang, A. Ploskić, X. Song, and S. Holmberg, "Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retrofitting - An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses," *Energy Build.*, vol. 121, pp. 250–264, 2016.
- [20] X. Kong, S. Lu, P. Gao, N. Zhu, W. Wu, and X. Cao, "Research on the energy performance and indoor environment quality of typical public buildings in the tropical areas of China," *Energy Build.*, vol. 48, pp. 155–167, 2012.
- [21] B. Lin, Z. Wang, Y. Liu, Y. Zhu, and Q. Ouyang, "Investigation of winter indoor thermal environment and heating demand of urban residential buildings in China's hot summer - Cold winter climate region," *Build. Environ.*, vol. 101, pp. 9–18, 2016.
- [22] M. C. Ceruti, "Los volcanes sagrados en el folclore y la arqueología de Costa Rica," *redalyc.org*, 2010.
- [23] C. García de la Noceda, "Los recursos geotérmicos.," *Enseñanza las ciencias la tierra Rev. la Asoc. Española para la Enseñanza las Ciencias la Tierra*, vol. 16, no. 3, pp. 239–247, 2008.
- [24] J. Abad and J. I. Pinuaga, "Conceptos Generales de Energía Hidro-Geotérmica," *IGME*, vol. Inédito, 1981.
- [25] J. E. Carson, "Analysis of soil and air temperatures by Fourier techniques," *J. Geophys. Res.*, vol. 68, no. 8, pp. 2217–2232, Apr. 1963.
- [26] T. Kusuda and P. Achenbach, "Earth temperature and thermal diffusivity at selected stations in the United States," 1965.
- [27] E. Penrod, W. Walton, and D. Terrell, "A method to describe soil temperature variation," *cedb.asce.org*, vol. 84, no. 1, pp. 1–21, 1958.
- [28] E. Penrod, J. Elliott, and W. Brown, "Soil temperature variation (1952–1956) at Lexington, Kentucky," *journals.lww.com*, vol. 90, no. 5, pp. 275–283, 1960.
- [29] Z. Su, "The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes," *hydrol-earth-syst-sci.net*, vol. 6, no. 1, pp. 85–100, 2002.
- [30] F. Zvomuya, F. J. Larney, S. M. McGinn, A. F. Olson, and W. D. Willms, "Surface albedo and soil heat flux changes following drilling mud application to a semiarid, mixed-grass prairie," *dl.sciencesocieties.org*, vol. 72, no. 5, pp. 1217–1225, 2008.
- [31] M. Ozturk, O. Salman, and M. Koc, "Artificial neural network model for estimating the soil temperature," *NRC Res. Press*, vol. 91, no. 4, pp. 551–562, 2011.
- [32] C. Shao *et al.*, "Spatial variability in soil heat flux at three Inner Mongolia steppe ecosystems," *Elsevier*, 2008.
- [33] A. Verhoef *et al.*, "Spatio-temporal surface soil heat flux estimates from satellite data; results for the AMMA experiment at the Fakara (Niger) supersite," *Elsevier*, vol. 154, pp. 55–66, 2012.
- [34] R. Horton and P. Wierenga, "Estimating the Soil Heat Flux from Observations of Soil Temperature Near the Surface 1," *dl.sciencesocieties.org*, 1983.
- [35] B. Heusinkveld, A. Jacobs, A. Holtslag, and S. Berkowicz, "Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux," *Elsevier*, 2004.
- [36] S. R. Evett, N. Agam, W. P. Kustas, P. D. Colaizzi, and R. C. Schwartz, "Soil profile method for soil thermal diffusivity, conductivity and heat flux: Comparison to soil heat flux plates," *Adv. Water Resour.*, vol. 50, pp. 41–54, 2012.
- [37] L. Smalls-Mantey, K. DiGiovanni, M. Olson, and F. A. Montalto, "Validation of two soil heat flux estimation techniques against observations made in an engineered urban green space," *Urban Clim.*, vol. 3, no. November 2017, pp. 56–66, 2013.
- [38] A. Lopez, A. Zermelo-González, J. L. Gonzalez Barrios, G. González Cervantes, M. Cadena Zapata, and S. Campos-Magaña, *Medición de la profundidad de flujo de calor y difusividad térmica en suelos con texturas diferentes por dos métodos de análisis*, vol. 62, 2014.
- [39] D. De Vries and W. van Wijk, "Periodic temperature variations in a homogeneous soil," *J. Wiley*, 1966.
- [40] P. Tessy Chacko and G. Renuka, "Temperature mapping, thermal diffusivity and subsoil heat flux at Kariavattom of Kerala," *J. Earth Syst. Sci.*, vol. 111, no. 1, pp. 79–85, 2002.
- [41] E. A. Elias, R. Cichota, H. H. Torriani, Q. D. van Lier, Q. De Jong Van Lier, and Q. D. van Lier, *Analytical soil-temperature model: Correction for temporal variation of daily amplitude*, vol. 68, no. 3, 2004.
- [42] D. A. Dec, "Thermal properties in Luvisols under conventional and conservation tillage treatment," 2006.
- [43] J. Gallo Navarro and F. Zorto, *DEDUCCIÓN DE LA ECUACIÓN DE CALOR POR COORDENADAS RECTANGULARES Y CURVILINEAS*, 2013.
- [44] L. Iannelli and S. Gil, "Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor," *Am. J. Phys. Educ.*, vol. 6, no. 1, 2012.
- [45] L. Iannelli and S. Gil, "Ondas de Calor Determinación de temperaturas del pasado," *Am. J. Phys. Educ.*, vol. 6, no. 1, p. 82, 2012.
- [46] L. M. Iannelli, J. A. Fiora, and S. Gil, "Ondas de calor en el suelo. Aplicación de diferencias finitas usando Excel," *Am. J. Phys. Educ.*, vol. 7, no. 3, pp. 1–6, 2013.
- [47] J. Jaeger and H. Carslaw, "Conduction of heat in solids," 1959.
- [48] A. Sepaskhah and L. Boersma, "Thermal Conductivity of Soils as a Function of Temperature and Water Content 1," *dl.sciencesocieties.org*, vol. 43, no. 3, pp. 439–444, 1979.
- [49] Y. Yuan, H. Ji, Y. Du, and B. Cheng, "Semi-analytical solution for steady-periodic heat transfer of attached underground engineering envelope," *Elsevier*, vol. 43, no. 6, pp. 1147–1152, 2008.
- [50] J. M. A. Márquez, M. Á. M. Bohórquez, and S. G. Melgar, "Ground thermal diffusivity calculation by direct soil temperature measurement. application to very low enthalpy geothermal energy systems," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 3, 2016.
- [51] D. Hillel, "Introduction Soil Physics.pdf," *Introduction to Soil Physics*, pp. 167–172, 1982.

Medición de la Difusividad Térmica de Terrenos (Parámetro α_z) Mediante Sondos de Temperatura Low Cost, Enterrada con Método Artesanal II

D. Ruiz Castilla, J. Pino Fernández, M.A. Martínez Bohórquez, J.M. Andújar Márquez
Grupo de investigación TEP-192 Control & Robótica
Universidad de Huelva

Campus de «La Rábida», Carretera Palos de La Frontera s/n, 21819 Palos de La Frontera - Huelva
daniel.ruiz@diesia.uhu.es, joaquin.delpino@diesia.uhu.es, bohorquez@diesia.uhu.es, andujar@diesia.uhu.es

Resumen- Este trabajo representa la continuidad del trabajo “Medición de la Difusividad Térmica de Terrenos (parámetro α_z) mediante sondas de temperatura low cost, enterrada con método artesanal I”. En este trabajo se ha elegido una profundidad de 16m y la comunicación de los datos para su adquisición remota se ha realizado en protocolo ModBus, siendo el método de enterramiento utilizado, método BIELA, totalmente artesanal. El sistema desarrollado en este trabajo y en los que le anteceden, pueden ser una herramienta muy útil para obtener de una forma rápida y barata, un dimensionado correcto en instalaciones de energía geotérmica de muy baja entalpía, evitando un mal funcionamiento o bajo rendimiento en las bombas geotérmicas utilizadas. Esto es un problema grave, ya que desenterrar colectores y cambiarlos es muy costoso y a veces, dependiendo de las características de la edificación, prácticamente imposible, poniendo en cuestión la eficiencia energética de este tipo de instalaciones.

Palabras Clave- Sondas low cost; geotermia; sondeos geotérmicos artesanales; VLEGE.

I. INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica de muy baja entalpía (very low enthalpy geothermal energy, VLEGE) utiliza el calor acumulado en las capas más superficiales de la corteza terrestre, por lo que generalmente los colectores se colocan horizontalmente[1]. El dimensionado se realiza según el rendimiento térmico de la superficie. En consecuencia, los dos parámetros fundamentales a utilizar, son la temperatura del suelo a la profundidad en la que se posicionen los colectores y la difusividad térmica[2]–[4] de la tierra a esa profundidad (α_z), cuyo valor dependerá del tipo de suelo, su densidad y el contenido en agua que posee[5], [6].

Según Gehlin [6], el método in situ más fiable y más recomendado para determinar las propiedades térmicas del suelo es el denominado TRT (Thermal Response Time), sin embargo es un método complejo y costoso, por lo que para instalaciones pequeñas, se recurre al uso de tablas, en las que se pueden encontrar valores aproximados en función de la composición del terreno. Esto implica que la probabilidad de cometer errores en una instalación VLEGE es muy alta.

En el año 2012, Vidal et al. [7], idearon una sonda de temperatura, que fue enterrada a dos metros de profundidad. Esta sonda consistía en sensores de temperatura del tipo Pt100, ubicados a 50 cm uno de otro.

García Arias (2014) [8], calculó la difusividad térmica en un sondeo de dos metros de profundidad, en el cual se introdujo una sonda de temperatura correspondiente a una

cadena de 20 sensores de temperatura del tipo DS18S20, en los que se registraron los datos de temperatura.

El antecedente más cercano se encuentra en la investigación realizada por Andújar et al [9], que presentan un sistema de instrumentación para la medición indirecta de la difusividad térmica, basado en sensores de bajo costo.

II. MÉTODO DE TRABAJO

El método de trabajo consistió en la realización de un dispositivo para la determinación de la difusividad térmica del terreno en el Campus de La Rábida, perteneciente a la Universidad de Huelva.

Según los estudios llevados a cabo por Andujar et al. [9], se determina que entre los 10 y 30 metros de profundidad, la temperatura del subsuelo depende de la temperatura media anual del lugar objeto de estudio, por lo que variará en función del lugar elegido. A partir de esta profundidad, la temperatura se incrementa a razón de 3 °C por cada 100 metros de profundidad [10]–[12]

Para la zona de estudio elegida, tal como aparece en la Fig. 1, se aprecia la distribución teórica de la temperatura respecto a la profundidad a lo largo de las cuatro estaciones del año. Se puede observar cómo todas las curvas convergen alrededor de los 20 °C a unos 15 metros, esta temperatura coincide con la temperatura media anual de la zona.

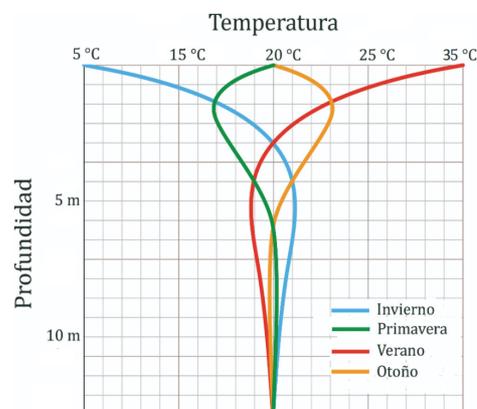


Fig. 1. Distribución natural teórica de la temperatura de la capa superficial de la corteza terrestre en la zona objeto del trabajo. Adaptado de Girodteotermia.com

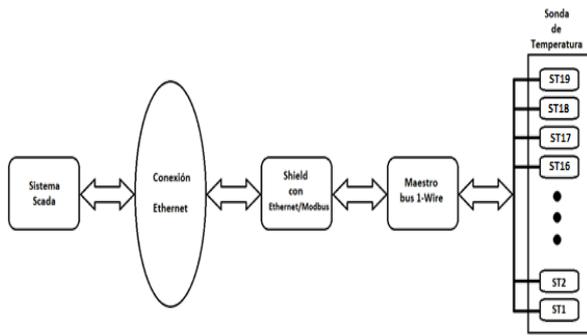


Fig. 2. Diagrama de bloques del sistema desarrollado para medir la temperatura del suelo

El experimento consistió en realizar un sondeo a 16 metros de profundidad, utilizando para ello una barrena de 96 milímetros de diámetro que fue introducida en el terreno.

Se diseñó y construyó una sonda de temperatura, así como su sistema de control y análisis, cuyo diagrama de bloques se muestra en la Fig. 2. A través de él se monitoriza y controla remotamente la temperatura del suelo a través de un instrumento virtual (VI), cuyos datos se recogen en los servidores del grupo de investigación

A. Sonda de temperatura

Para la medición continua de la temperatura del terreno a las diferentes profundidades, se creó una sonda de temperatura construida en tubo de PVC de 16 metros de longitud y 25 mm de diámetro. Sobre él, se colocaron 19 sensores de temperatura (ST1-ST19). Estos sensores poseen salida digital y protocolo de comunicación 1-Wire® [13].

Los ST están espaciados 50 cm los primeros dos metros de profundidad y a partir de ahí a un metro hasta los dieciséis de profundidad.

Los sensores están adheridos a un anillo de metal para favorecer la transmitancia térmica entre el terreno y el sensor (ver Fig. 3). Estos anillos fueron pegados a la tubería de PVC mediante un adhesivo de montaje resistente al agua sin disolvente, a base de polímeros, el cual está indicado para elementos que se encuentran sumergidos, tales como piscinas.

Además, para facilitar el trabajo, cada tramo de un metro se dividió en dos trozos, uno de 20 cm, donde estaba alojado la anilla con el sensor, y otro tramo de 80 cm por donde pasa el bus.

En el tramo de 20 cm, todas las conexiones del bus y el sensor de temperatura se encuentran embutidas en un gel de tipo polimérico, aislante y auto sellante que envuelve todo el espacio y nos garantiza una protección IP68, sustituyendo así cualquier tipo de resina que pueda causar problemas de toxicidad, ya que este elemento es absolutamente atóxico.

El tramo de 20 cm dispone de un tapón, para que quede totalmente sellado, y así facilitar el llenado con el gel, además se utiliza una cánula que atraviesa todo el tramo, con el fin de introducir un alma de acero para las labores de extracción de la sonda.

El motivo de colocar la sonda de temperatura (Ground Temperature Probe, GTP) a una longitud de 16 metros, no es otro que demostrar, tal como se observa en los trabajos de Andujar et al. [9], que en la zona de Huelva, a partir de los 10 metros, la temperatura tiende a estabilizarse a la temperatura media de la zona. Así, con esta profundidad es suficiente para



Fig. 3. Distribución de los sensores a lo largo del tubo de PVC en los primeros 3 metros

obtener los datos empíricos deseados y probar la hipótesis de partida. En cualquier caso, en el sistema desarrollado, se visualizan las medidas de temperatura del suelo desde los 0 metros a los 10 metros de profundidad en un sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA) diseñado a tal fin, aunque en el análisis se utilizaron los datos de los 16 metros que conformaban la sonda y los cuales, el sistema SCADA exportaba a un archivo de texto plano para su posterior análisis.

Los 19 ST se conectan vía bus 1-Wire®, que es un bus de bajo coste para comunicaciones digitales sobre cable de par trenzado. Cada ST tiene un único código de 64 bits, por lo que es posible conectar varios ST a un mismo bus 1-Wire® de forma rápida, simple y barata. Utilizando el código de cada ST, se obtiene la medida de temperatura de cada sensor desde una tarjeta de adquisición de datos.

El bus 1-Wire®, al no ser diferencial, no está diseñado para entornos industriales, ya que el ruido puede ser un factor importante a tener en cuenta, es por lo que siguiendo los trabajos realizados por Martínez et al. [14], donde se muestra como proporcionar robustez al bus y como se deben conectar los ST a dicho bus, se decidió montarlos de la forma que se muestra en la Fig. 4.

B. El master-bus 1-Wire®

Como se observa en la Fig. 4, el master-bus 1-Wire® está basado en Arduino, una plataforma de prototipos de hardware y software libre y de fácil uso. Esta plataforma controla las comunicaciones con los dispositivos conectados a él, y además de enviar los datos al sistema SCADA, los almacena en una memoria SD. Aunque los datos son enviados en tiempo real, se almacenan por seguridad, ya que la comunicación puede fallar por causas indeterminadas, y así se pueden recuperar los datos. El sistema está diseñado además para que en lugares donde la conexión Ethernet no es posible, se pueda utilizar comunicaciones GSM/GPRS.

El master-bus, es capaz de controlar al mismo tiempo, el bus 1-Wire® y la comunicación Ethernet, así como la

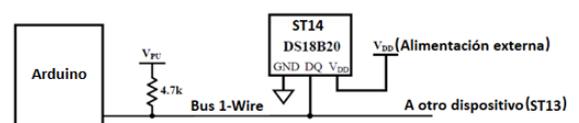


Fig. 4. Diagrama de bloques del sistema desarrollado para medir la temperatura del suelo

integración en el bus de comunicaciones, de otros elementos como piranómetros, humedad relativa y otros dispositivos similares que no son objeto de este trabajo.

C. Shield Ethernet/ModBus

La Ethernet Shield proporciona la capacidad de conectar el maestro bus 1-Wire® a una red Ethernet a través de un conector estándar RJ45. Está basada en el chip Ethernet Wiznet W5100, el cual provee una pila de red IP capaz de soportar TCP y UDP. Soporta hasta cuatro conexiones de sockets simultáneas.

Sobre la capa física Ethernet, se ha usado el lenguaje de comunicación ModBus/TCP. Este es un protocolo de comunicación situado en los niveles 1, 2 y 7 del Modelo OSI, diseñado para permitir a dispositivos físicos de entrada/salida comunicarse sobre una red, basándose en la arquitectura maestro/esclavo. Fue introducido por Schneider Automation como una variante de la familia de protocolos ModBus, ampliamente usada para la supervisión y el control de equipos [15]. Específicamente el protocolo define el uso de mensajes ModBus en un entorno intranet o internet usando los protocolos TCP/IP.

Con el sistema ModBus, se ha posibilitado controlar la red de dispositivos de temperatura que componen la sonda, comunicando los resultados a un sistema SCADA.

Cada comando ModBus contiene los registros donde está almacenada la dirección del dispositivo, así como la temperatura de cada sensor, lo que permite saber al sistema SCADA, la temperatura a la que se encuentra cada dispositivo.

D. El sistema SCADA

Para el seguimiento y control del sistema de instrumentación desarrollado, se ha implementado, en un equipo, un instrumento virtual (Virtual Instrument, VI en LabView™), el cual se encuentra en la sede del grupo de investigación al que pertenecen los autores, situada en el campus universitario de La Rábida de la Universidad de Huelva. De esta forma toda la instalación funciona como un laboratorio remoto [16].

III. CONCLUSIONES

Con el fin de continuar con el desarrollo llevado a cabo en Andújar et al., se ha realizado un nuevo estudio práctico en otra ubicación diferente, para la determinación del coeficiente de difusividad térmica a una profundidad de 16m.

La GTP enterrada, ha ido adquiriendo datos durante más de un año de forma continua (seis mediciones por minuto), aunque para este estudio solo se han utilizado datos de enero a diciembre de 2018.

Se ha estudiado, analizado y experimentado gracias a la GTP, las medidas de temperatura del suelo. De esta forma se ha podido obtener de forma práctica, la difusividad térmica del suelo.

Se ha realizado un método low-cost como alternativa a los test de respuesta térmica (TRT).

Se demuestra empíricamente que la temperatura a partir de los 10 metros se mantiene prácticamente constante tal y como se menciona en las líneas de investigación propuestas en Andújar et al. (Fig. 5.)

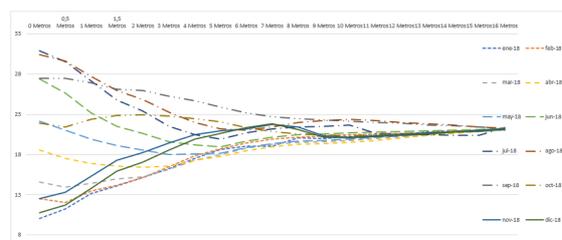


Fig. 5. Distribución empírica teórica de la temperatura de la capa superficial de la corteza terrestre en la zona objeto del trabajo. medir la temperatura del suelo

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros de trabajo José Manuel Andújar, Miguel Ángel Martínez, Joaquín del Pino y José Gamero que sin esfuerzo este trabajo no sería posible.

A mi “chiquitina”, por su paciencia y ayuda para involucrarme en esta nueva aventura.

REFERENCIAS

- [1] H. Fujii, S. Yamasaki, T. Maehara, T. Ishikami, and N. Chou, “Numerical simulation and sensitivity study of double-layer Slinky-coil horizontal ground heat exchangers,” *Geothermics*, vol. 47, pp. 61–68, 2013.
- [2] M. MONTES PITA, M. MUÑOZ DOMÍNGUEZ, and A. J. ROVIRA DE ANTONIO, *Ingeniería térmica*. 2014.
- [3] M. H. Koo and Y. Song, “Estimating apparent thermal diffusivity using temperature time series: A comparison of temperature data measured in KMA boreholes and NGMN wells,” *Geosci. J.*, vol. 12, no. 3, pp. 255–264, 2008.
- [4] M. del C. Ibarra, “La ecuación de calor de Fourier: resolución mediante métodos de análisis en variable real y en variable compleja,” *UTN Fac. Reg. Resist. II Jornadas Investig. en Ing. del NEA y Países Limítrofes, Consult. el*, vol. 10, p. 3, 2012.
- [5] V. Ciriello, M. Bottarelli, V. Di Federico, and D. M. Tartakovsky, “Temperature fields induced by geothermal devices,” *Energy*, vol. 93, pp. 1896–1903, 2015.
- [6] B. Sanner, G. Hellström, J. Spitler, and S. Gehlin, “Thermal response test—current status and world-wide application,” *researchgate.net*, pp. 24–29, 2005.
- [7] A. Vidal et al., “Características del subsuelo y perfiles de temperaturas para proyectos de enfriamiento pasivo en zonas costeras de México,” *uv.mx*, 2012.
- [8] S. G. Arias, “Determinación de la difusividad térmica del subsuelo mediante medidas de temperaturas.” 2014.
- [9] J. M. A. Márquez, M. Á. M. Bohórquez, and S. G. Melgar, “Ground thermal diffusivity calculation by direct soil temperature measurement. application to very low enthalpy geothermal energy systems,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 3, 2016.
- [10] A. Buzăianu et al., “Recent Advances of the Basic Concepts in Geothermal Turbines of Low and High Enthalpy,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 1114, pp. 233–238, 2015.
- [11] S. Graf, F. Lanzerath, A. Sapienza, A. Frazzica, A. Freni, and A. Bardow, “Prediction of SCP and COP for adsorption heat pumps and chillers by combining the large-temperature-jump method and dynamic modeling,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 98, no. 2016, pp. 900–909, 2016.
- [12] C. Carmo, B. Elmegaard, M. P. Nielsen, and N. Detlefsen, “Empirical platform data analysis to investigate how heat pumps operate in real-life conditions,” *Refriger. Sci. Technol.*, pp. 4961–4969, 2015.
- [13] E. U. D. Huelva, “Dispositivo Para Captar la Temperatura Superficial de un Objeto,” 2011.
- [14] M. A. Martínez, J. M. Andújar, and J. M. Enrique, “Temperature measurement in PV facilities on a per-panel scale,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 8, pp. 13308–13323, 2014.
- [15] A. F. R. Olaya, A. B. López, and F. G. G. Moreno, “Implementación de una Red MODBUS/TCP,” *Ing. Y Compet.*, vol. 6, no. 2, pp. 35–44, 2011.
- [16] J. M. Andújar Márquez and T. J. Mateo Sanguino, “Diseño de laboratorios virtuales y/o remotos. Un caso práctico,” *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 7, no. 1, pp. 64–72, 2010.

Redes DC Bipolares: Mejora en Redes de Distribución con Sistemas de Generación Distribuida

Rafael S. Barroso¹, Salvador P. Litrán¹, Eladio Durán²

¹Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos

²Departamento de Ingeniería Electrónica, Sistemas Informáticos y Automática
Universidad de Huelva

Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Campus de el Carmen. 21007 Huelva
rafael.barroso@die.uhu.es, salvador@uhu.es, aranda@diesia.uhu.es

Resumen- En este trabajo se describen diferentes topologías de redes DC propuestas actualmente. Valorando diferentes aspectos, los autores establecen que la configuración más idónea para distribución en baja tensión (BT) es la red DC bipolar. Se expondrán las ventajas e inconvenientes que presentan respecto de otras topologías, desde el punto de vista de su implementación, de la eficiencia en el uso de la energía y de su capacidad para conectar grandes cargas. Por otro lado, para este tipo de redes se requiere la utilización de convertidores DC-DC que permitan conectar con garantías las diferentes fuentes de generación distribuida y controlar las cargas, de forma que se pueda gestionar de manera automática la red en su conjunto (smartgrid), tanto en modo aislado como conectado a la red AC convencional. En esta línea se presentarán nuevas configuraciones de convertidores DC-DC de una entrada y salida bipolar que permiten conectar las fuentes y las cargas a la red de manera controlada y simplifican la gestión del sistema eléctrico.

Palabras Clave- Redes DC bipolares, Smartgrid, Microrredes, Convertidores DC-DC.

I. INTRODUCCIÓN

Los primeros intentos por hacer llegar la energía eléctrica a los hogares se realizan a finales del siglo XIX. Los importantes avances científicos en la generación, la transmisión y la utilización de la electricidad dieron lugar al nacimiento de la incipiente industria eléctrica. A finales de la década de 1980 se plantearon dos modelos diferentes en la generación y utilización de la energía eléctrica, la corriente continua (DC, Direct Current) y la corriente alterna (AC, Alternating Current). Este hecho dio lugar a la denominada “batalla de las corrientes”, que surge en la defensa de un modelo respaldado por el inventor Thomas A. Edison basada en sistemas DC y un modelo de AC propuesto y defendido por el ingeniero Nikola Tesla. Edison lanzó una gran campaña que intentaba desprestigiar al gran valedor de la corriente alterna, Tesla. En el fondo de esta batalla existía una guerra comercial entre dos grandes compañías eléctricas, General Electric (propiedad de T. A. Edison) y Westinghouse Electric (donde trabajaba N. Tesla). Finalmente, la AC venció sobre la DC, principalmente por la facilidad de modificar la tensión con el uso de transformadores, lo que simplificaba el transporte de la energía a grandes distancias.

Durante casi un siglo se ha seguido un modelo de sistema eléctrico basado en la AC, donde grandes centrales eléctricas situadas en lugares alejados de los centros de consumos, son interconectadas a través de redes de transporte de energía a diferentes niveles de tensión, dependiendo de su longitud y de la potencia a transportar.

Hoy en día, se busca el diseño de sistemas de energía neta cero, es decir sistemas que generan suficiente energía limpia para satisfacer las necesidades energéticas. En este sentido, se plantea un abastecimiento energético apoyado en sistemas con energías basadas en recursos renovables, generadas en el mismo lugar donde se utiliza. Ese tipo de fuentes de energía suelen ser de pequeña potencia y conectarse a la red de distribución eléctrica. Por otro lado, para hacer el sistema gestionable se debe disponer de diferentes formas de almacenamiento que permitan equilibrar el binomio generación-demanda [1].

La mayoría de los sistemas de generación y almacenamiento de pequeña potencia funcionan en forma DC, por lo que la conexión a la red eléctrica convencional, AC, requiere convertidores de potencia DC-AC. Por otro lado, actualmente la mayoría de las cargas son de tipo electrónico y requieren de una fuente DC, por lo que para su funcionamiento suelen incluir una fuente de alimentación con un convertidor AC-DC, de modo que pueda ser conectada a la red AC convencional [2].

Esta nueva situación ha dado lugar a un nuevo modelo de sistema eléctrico donde conviven las centrales eléctricas tradicionales con sistemas de generación de pequeña potencia, próximos a los centros de consumo, lo que configura el denominado sistema eléctrico distribuido.

En línea con estas tendencias, en este artículo primero se describen diferentes topologías de redes DC propuestas actualmente [3], y teniendo en cuenta aspectos de eficiencia en el uso de la energía, capacidad para conectar grandes cargas al sistema y las ventajas e inconvenientes que presentan respecto de otras topologías desarrolladas, se propone como configuración más idónea la red DC bipolar.

En segundo lugar, se proponen convertidores DC-DC [4] que permiten conectar con garantías las diferentes fuentes de generación distribuida (GD), y controlar las cargas, de forma que se pueda gestionar de manera automática la red en su conjunto (Smartgrid), tanto en modo aislado como conectado al sistema AC convencional. En esta línea, se analizan nuevas configuraciones de convertidores DC-DC de una entrada y salida bipolar [5], [6] que permiten conectar las fuentes y las cargas de manera controlada y simplifican la gestión del sistema eléctrico.

II. MICRORREDES ELÉCTRICAS

En el actual sistema de distribución de energía eléctrica coexisten cargas que funcionan en AC, cargas que funcionan

en DC y generadores de pequeña potencia, Fig. 1. La mayoría de los generadores suelen ser del tipo DC, por lo que requieren de un convertidor para su conexión a la red AC. Lo mismo les ocurre a algunas cargas que requieren para su correcto funcionamiento una alimentación DC. Incluso en el caso de algunas cargas que funcionan en AC, que para su adecuado control y regulación necesitan un convertidor AC-DC, como ocurre en el caso de los motores eléctricos alimentados mediante variadores de velocidad.

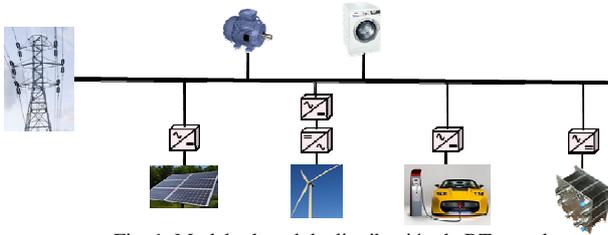


Fig. 1. Modelo de red de distribución de BT actual

En este contexto, surge la idea de un nuevo modelo de sistema eléctrico de distribución, donde se interconectan pequeñas redes eléctricas AC y DC, denominadas microrredes, capaces de ser gestionadas de manera autónoma, donde se conectan tanto cargas como generadores. En la Fig. 2 se muestra de forma esquemática el nuevo modelo de red.

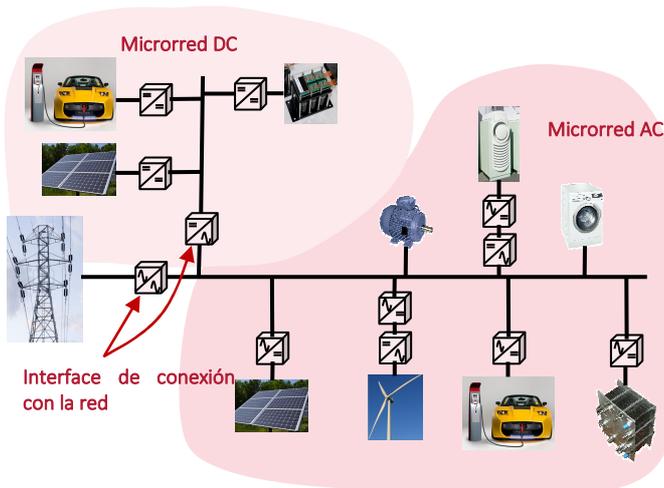


Fig. 2. Modelo basado en microrredes

El uso de microrredes presenta ventajas respecto del sistema tradicional:

- Mejora de la fiabilidad y seguridad del sistema.
- Mejora el uso de la energía generada, almacenada y utilizada a nivel local, reduciendo las pérdidas en el sistema.
- Pueden operar aisladas del sistema o juntamente con la macrorred.
- Mejora la disponibilidad en mercados desatendidos.
- Dan lugar a la creación de ambientes abiertos para la innovación energética.

En este contexto surge el concepto de “enernet”, definido como “una red de energía dinámica, construida alrededor de la generación, acumulación y entrega de energía limpia que considera la aplicación del modelo de internet a la producción de energía eléctrica, basada en los avances tecnológicos.” De esta forma, se pretende que en la gestión de la red participen las baterías instaladas en las viviendas, en

los coches, portátiles, teléfonos y cualquier aparato que pueda conectarse a la red y tenga capacidad de almacenamiento. Para conseguir este objetivo es necesario un sistema integrado en una red inteligente.

III. REDES ELÉCTRICAS DC

En el nuevo concepto de red eléctrica, cada vez son más los/as investigadores/as que proponen redes tipo DC, bien a nivel de microrredes o de sistemas híbridos DC y AC. La distribución en Baja Tensión (BT) en forma DC presenta ventajas claras respecto de los sistemas AC convencionales [7], las cuales se pueden resumir en las siguientes:

- Las redes DC son más eficientes, tienen menos pérdidas en la transmisión de energía, debido a que la resistencia efectiva, a igualdad de sección, es menor.
- Para la distribución se requieren menos conductores.
- Son más estables que las redes AC.
- No hay reactancias de línea, lo que da lugar a que las caídas de tensión sean menores.
- La frecuencia es cero, por lo que se elimina la necesidad de disponer de un sistema de sincronización cuando se conecta un sistema de generación a la red.
- No existe el problema de estabilidad transitoria que aparece en las redes AC.
- No se generan interferencias electromagnéticas.

Sin embargo, desde el punto de vista de su implementación, tiene dos inconvenientes claros:

- En las ciudades requieren la instalación de nuevas redes de distribución del tipo DC o la utilización de algunas infraestructuras existentes.
- Los sistemas de protección son más complejos, la tensión no pasa por cero en ningún instante por lo que resulta más difícil la interrupción de elevadas corrientes.

A pesar de estos inconvenientes las redes de distribución DC son una buena alternativa [8], sobre todo, cuando se requiere alta eficiencia y calidad del suministro en presencia de sistemas de generación distribuida.

La distribución en DC se puede realizar según tres topologías diferentes: monopolar, bipolar y homopolar. En una distribución monopolar, Fig. 3, se dispone de dos conductores, si bien el conductor “-” puede ser conectado a tierra y utilizar ésta como conductor de retorno. Esta solución puede dar problemas a otro tipo de instalaciones que utilicen conducciones metálicas, por lo que no se suele utilizar esta opción. En este tipo de distribución sólo se dispone de un nivel de tensión y un defecto en la red supone la desconexión total del sistema.

En una red DC bipolar, Fig. 4, se dispone de tres conductores “+”, “-” y “0”. Cada dispositivo puede ser

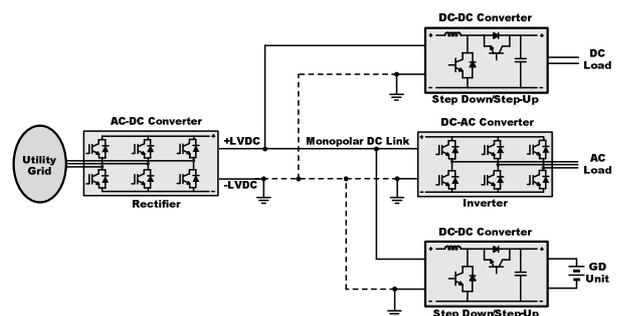


Fig. 3. Red DC monopolar

conectado a dos niveles de tensión diferentes, V_{dc} y $2V_{dc}$, lo que resulta de interés para cargas de elevado consumo. Un defecto en una parte de la red no debe afectar al funcionamiento del resto del sistema. Otra característica importante es que la corriente por el conductor “0” es muy pequeña. En el caso de un sistema equilibrado su valor sería cero.

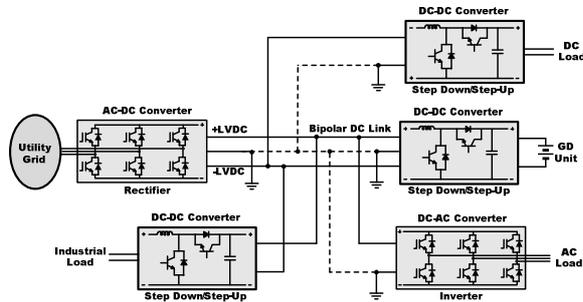


Fig. 4. Red DC bipolar

Finalmente, la red DC homopolar, Fig. 5, tiene tres conductores con una tensión $-V_{dc}$ respecto del conductor “+”. Sólo tenemos disponible un nivel de tensión y la corriente por el conductor “+”, cuando el sistema está equilibrado, es el doble de la que circula por cualquiera de los dos conductores “-”.

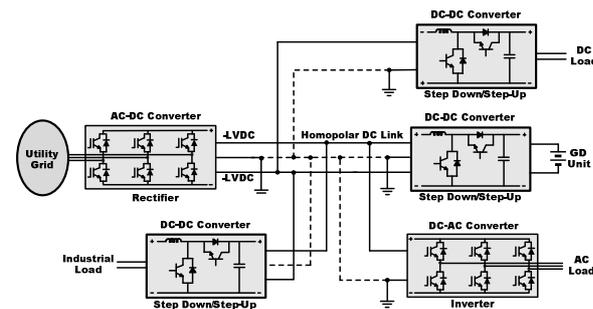


Fig. 5. Red DC homopolar

De entre estas tres topologías, la red DC bipolar es la más versátil, presentando las siguientes ventajas desde el punto de vista de la transmisión de potencia, comparado con el sistema monopolar:

- Para la misma transmisión de potencia y conductores de igual sección, las pérdidas en la red DC bipolar son un cuarto de las pérdidas en la monopolar.
- Considerando las mismas pérdidas de potencia en la red y conductores de la misma sección, la red bipolar transmite el doble de potencia que la monopolar.
- Si se consideran las mismas pérdidas y transmisión de potencia, la sección de la bipolar es la cuarta parte de la sección de la monopolar.

Por el contrario, la red DC bipolar presenta una mayor complejidad desde el punto de vista del control y la regulación. A pesar de ello este tipo de redes presentan una alternativa a tener en cuenta en las redes de distribución en BT.

IV. CONEXIÓN DE GD A REDES DC BIPOLARES

Para la conexión de sistemas de generación distribuida a una red bipolar se requieren convertidores DC-DC de una entrada y salida bipolar, fiables y eficientes. En este trabajo

se proponen tres topologías de convertidores de este tipo. Todos ellos tienen en común las siguientes características:

- Están basados en la combinación de convertidores SISO (Single Input Single Output) básicos.
- Sólo incluyen un dispositivo de conmutación.
- Incluyen un número muy reducido de componentes comparado con otras configuraciones.
- Son convertidores no aislados.
- Para su control, se pueden aplicar las mismas estrategias utilizadas en los convertidores del tipo SISO.

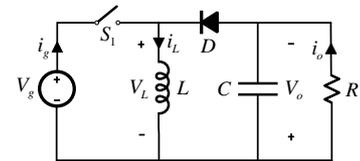


Fig. 6. Convertidor Buck-Boost

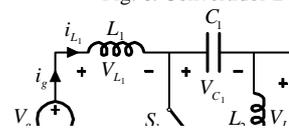


Fig. 7. Convertidor SEPIC

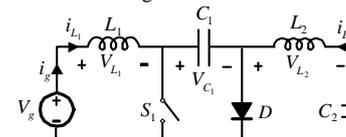


Fig. 8. Convertidor Ćuk

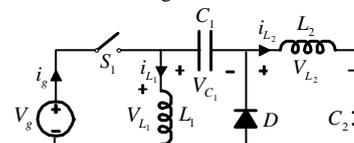


Fig. 9. Convertidor Zeta

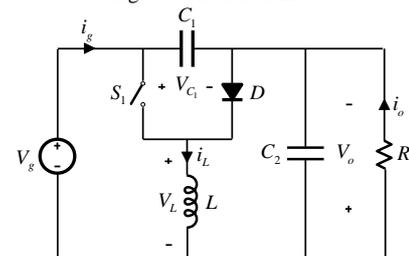


Fig. 10. Convertidor CSC

Las configuraciones propuestas están basadas en la combinación de los siguientes convertidores SISO: Buck-Boost (Fig. 6), SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter, Fig. 7), Ćuk (Fig. 8), Zeta (Fig. 9) y CSC (Canonical Switching Cell, Fig. 10). Estos convertidores se pueden combinar cuando tienen en común los componentes de entrada. De esta forma, para obtener una salida bipolar la combinación de dos convertidores dará lugar a las siguientes configuraciones: SEPIC-Ćuk combinado, Zeta-Buck-Boost combinado y Zeta-CSC combinado.

La Fig. 11 muestra el convertidor SEPIC-Ćuk combinado. La inductancia de entrada y el interruptor de potencia son compartidos por los dos convertidores. La salida bipolar se compone de la salida invertida del Ćuk y no

invertida del SEPIC. La corriente de entrada es continua, la de salida del Ćuk también continua y la salida del SEPIC discontinua. Por otro lado, el terminal de control del interruptor se encuentra conectado a tierra, lo que simplifica el circuito de puerta de dicho interruptor.

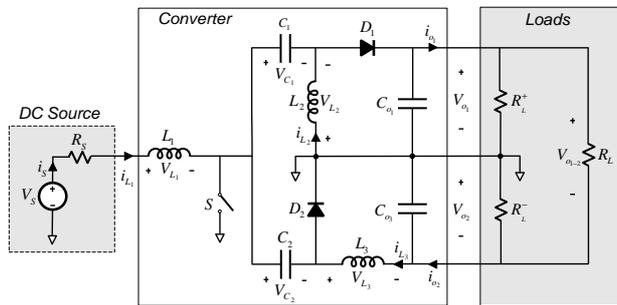


Fig. 11. SEPIC-Ćuk combinado

En la Fig. 12 se muestra un convertidor Zeta-Buck-Boost combinado. Los dos convertidores comparten la bobina de entrada y el interruptor de potencia. En este caso, la salida invertida es proporcionada en el lado Buck-Boost. La corriente de entrada es discontinua, la de salida en el lado del convertidor Zeta es continua y la intensidad de salida en el lado del Buck-Boost es discontinua.

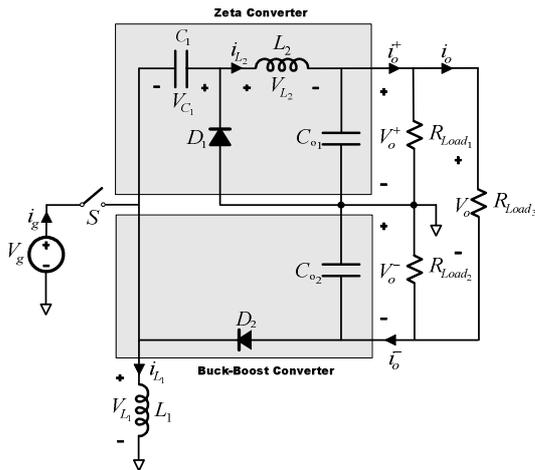


Fig. 12. Convertidor, Zeta-Buck-Boost combinado

Finalmente, la Fig. 13 muestra un convertidor Zeta-CSC combinado. En esta combinación, ambos convertidores comparten la bobina de entrada y el interruptor. La salida invertida es la del lado del CSC. La intensidad de salida es discontinua en el lado del CSC y continua en el lado del Zeta.

V. CONCLUSIONES

Frente al importante cambio sufrido por el sistema eléctrico debido a la generación distribuida, las redes DC son una alternativa al sistema eléctrico tradicional. Estas presentan ventajas desde el punto de vista de la fiabilidad y rendimiento en la transmisión de potencia.

Hay diferentes topologías de redes DC: monopolar, bipolar y homopolar. Un análisis de las mismas muestra que la topología bipolar es la configuración adecuada para microrredes DC de alta potencia por su alta capacidad de transmisión con menor sección de los conductores.

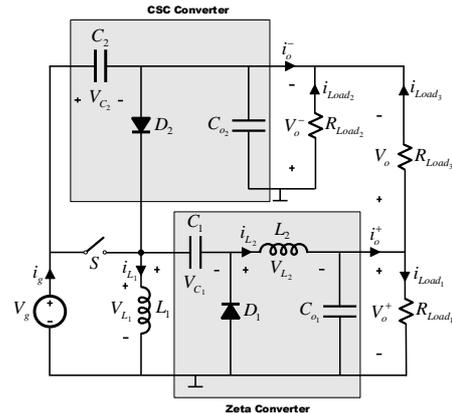


Fig. 13. Convertidor, Zeta-CSC combinado

Para la conexión de GD a las redes bipolares, se requieren convertidores DC-DC de una entrada y salida bipolar. En este trabajo se proponen tres configuraciones diferentes de convertidores adecuados para esta aplicación. Estas configuraciones están basadas en la combinación de dos convertidores de una entrada y una salida básicos. Así se han presentado las topologías combinadas SEPIC-Ćuk, Zeta-Buck-Boost y Zeta-CSC. Los convertidores propuestos son no aislados, con un solo interruptor de potencia.

REFERENCIAS

- [1] Benjamin Kroposki; Robert Lasseter; Toshifumi Ise; Satoshi Morozumi; Stavros Papathanassiou; Nikos Hatziargyriou, "Making microgrids work," IEEE Power and Energy Magazine. Vol. 6, Issue 3. 2008.
- [2] Brian T. Patterson, "DC, Come Home: DC Microgrids and the Birth of the "Enetnet"," IEEE Power and Energy Magazine. Vol. 10, Issue 6. 2012.
- [3] Hiroaki Kakigano; Yushi Miura; Toshifumi Ise, "Low-Voltage Bipolar-Type DC Microgrid for Super High Quality Distribution," IEEE Transactions on Power Electronics. Vol. 25, Issue 12. 2010.
- [4] María Bella Ferrera Prieto; Salvador Perez Litrán; Eladio Duran Aranda; Juan Manuel Enrique Gómez, "New Single-Input, Multiple-Output Converter Topologies: Combining Single-Switch Nonisolated dc-dc Converters for Single-Input, Multiple-Output Applications," IEEE Industrial Electronics Magazine. Vol. 10, Issue 2. 2016.
- [5] María Bella Ferrera; Salvador P. Litrán; Eladio Durán Aranda; José Manuel Andújar Márquez, "A Converter for Bipolar DC Link Based on SEPIC-Ćuk Combination," IEEE Transactions on Power Electronics. Vol. 30, Issue 12. 2015.
- [6] Pouya Kolahian; Hadi Tarzarni; Amir Nikafrooz; Mohsen Hamzeh, "Multi-port DC-DC converter for bipolar medium voltage DC microgrid applications," IET Power Electronics. Vol. 12, Issue 7. 2019.
- [7] Hossein Lotfi; Amin Khodaei, "AC Versus DC Microgrid Planning," IEEE Transactions on Smart Grid. Vol. 8, Issue 1. 2007.
- [8] Pasi Salonen; Tero Kaipia; Pasi Nuutinen; Pasi Peltoniemi; Jarmo Partanen, "An LVDC Distribution System Concept," Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics. June 9-11. 2008.

Medio Ambiente y Planificación Urbana

José Antonio González Duque ¹, Pedro Palencia García ²

¹ Departamento de Ciencias Agroforestales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Huelva, Campus de «El Carmen», Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n. 21007 Huelva

² Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Escuela Politécnica de Mieres, Universidad de Oviedo, C/ Gonzalo Gutiérrez Quirós, 33600 Mieres, Asturias
duque@uhu.es, palencia@uniovi.es

Resumen- Las zonas verdes en las ciudades cada vez son más importantes debido a la contaminación, cambio climático, la densificación urbana, etc. Estas se han de planificar para que la ciudadanía pueda beneficiarse de ellas. La despoblación rural y el éxodo a las ciudades hacen que estas se densifiquen y que las áreas verdes disminuyan. Aunque planificar grandes extensiones generalmente costosas de mantener, tampoco es una solución totalmente válida. Las áreas verdes se han de planificar en función de la población cercana y según el tipo de ciudad de que se trate. Se propone, como ejemplo, el “Método IPRUGA” para definir la proporción que existe de zona verde de la trama urbana de una ciudad y si esta es adecuada. Las ciudades inteligentes pueden mejorar y facilitar la vida de sus ciudadanos y no sólo a nivel técnico sino contribuyendo a la mejora de las zonas verdes e infraestructuras verdes y a evaluar y a diagnosticar los distintos parámetros climáticos y ecológicos en la urbe.

Palabras Clave- Smart Cities, Planificación paisajística. Áreas verdes urbanas.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, debido al cambio climático, las zonas verdes han ganado importancia como instrumento fundamental para la planificación y la sostenibilidad urbana así como para el medio ambiente en general. A medida que aumenta la población urbana en las ciudades, también se crean unos problemas y necesidades que antes, en las últimas décadas, no existían. Se agudizan las dificultades ambientales que ya había y aparecen otras nuevas, especialmente en el aire, las aguas y los distintos tipos de desechos producidos por la actividad humana. La contaminación del agua es más evidente y ahora se consideran temas centrales para las zonas urbanas planificadores y tomadores de decisiones (Oh et al., 2005). Un bosque urbano bien ordenado y de superficie adecuada mitiga temperatura; absorbe contaminantes del aire, el suelo y los del agua; y también disminuye la contaminación acústica, escorrentía y erosión del suelo (Jankovska et al., 2010; Ferreira y Panagopoulos, 2012).

El espacio urbano es un elemento no sólo de tránsito, hábitat y trabajo, sino también de relación y de recreación especialmente en los climas mediterráneos y cálidos. Una herramienta del hombre para interactuar con su entorno. Pero, debido al incremento en las temperaturas provocado, entre otras razones, por el cambio climático y el decrecimiento de la vegetación en la ciudad, los espacios públicos se han convertido en lugares menos confortables. Esta disminución gradual del confort urbano ha motivado el inicio de diversos estudios cuyo objetivo es proveer soluciones frente a esta situación que afecta directamente a la calidad de vida urbana las personas. De forma particular se ha comprobado que la vegetación es una excelente herramienta en lo que refiere a la protección solar (Rojas, 2016).

Dado que el árbol urbano es el elemento principal de las zonas verdes por sus diferentes características en comparación con otros elementos vegetales, se ha de tener una consideración especial en relación con los demás elementos e incluso, su número y distribución; esto servirá para determinar la calidad de las zonas verdes y su capacidad para cambiar microclimas urbanos en comparación con otras estructuras vegetales. Esta idea se refuerza, como fácilmente se puede comprobar, en las ciudades más carentes de amplias y adecuadas de zonas verdes y por el contrario predominan las alineaciones vegetales y plazas, y en éstas la vegetación más abundante normalmente son los árboles.

II. PROBLEMÁTICA ACTUAL

Se ha de analizar la evolución de las zonas verdes. Se hace necesario analizar la distribución de los espacios verdes en la ciudad y su relación con la afluencia de ciudadanos a estas. Asimismo, comparar las afluencias en las distintas zonas verdes y el grado de integración de estas con las viviendas cercanas.

¿Puede influir la calidad y extensión de las áreas verdes con la afluencia de usuarios a estas? Si aceptamos que las áreas verdes urbanas, como la totalidad de las zonas verdes urbanas, la mayor parte suele estar en espacios públicos y cuya implantación y mantenimiento suelen depender de las administraciones locales, y por ello, están condicionadas por el planeamiento y toda la normativa urbanística; y siempre estas funciones están sujetas a un presupuesto que no siempre se ajusta a las necesidades reales.

La incorporación de los espacios verdes al planeamiento urbano se ha convertido en un derecho de los ciudadanos (Sanesi y Chiarello, 2006). Las áreas urbanas están creciendo a una escala sin precedentes en todo el mundo (World Urbanization Prospects, 2018). Estos ecosistemas exhiben estructuras, funciones y restricciones similares en grandes escalas espaciales (Savard et al., 2000). Todos son heterogéneos, densamente poblados y dominados por superficies artificiales (Cadenasso et al., 2007).

Las ciudades no sólo deben ser un refugio acomodaticio artificial de sus habitantes y no solo deben cumplir objetivos básicos sociales, sino que se ha de buscar también los beneficios que proporcionan las zonas verdes son importantes y necesarios los estudios que correlacionan las necesidades de la población en relación a las zonas verdes, y por ello se ha intentado cuantificar de muy diversas formas. Se ha de prestar atención al medio ambiente y los beneficios proporcionados por las áreas verdes en el conjunto de la ciudad y la adaptación al cambio climático, ya inminente y a la mitigación de sus

factores negativos más por el cambio de sus valores que por el factor en sí.

Pocos estudios han medido paisajes construidos para determinar si tuvieron éxito o no. Sin embargo, este es precisamente el tipo de información que se necesita para hacer que las ciudades se sientan más cómodas en climas y climas futuros variables. Prácticamente cualquier modificación del paisaje sugerida por un planificador o diseñador de paisajes tendrá un efecto en el clima local. Es de vital importancia que las mediciones sobre las cuales se toman las decisiones de diseño sean reales y esto solo se puede lograr si los instrumentos apropiados se utilizan de manera adecuada. Cuando se analizan los datos, debe hacerse de una manera adecuada al nivel de datos (nominal, ordinal, intervalo o relación). Los entornos microclimáticos urbanos deben estudiarse con más detalle y deben incluir evaluaciones posteriores a la construcción para evaluar la efectividad de las intervenciones de diseño. El hábitat humano debe estar diseñado para mejorar cualquier clima futuro (Brown, 2011).

En muchas zonas rurales, sus poblaciones están abandonando sus hábitats y cultivos tradicionales en busca de las grandes ciudades como si la tierra de promisión se tratara, y esto condiciona su vida a la de los grandes núcleos urbanos a medida que estas aumentan también lo hacen sus problemas y preocupaciones y esto suele ser el resultado de una gestión y planificación urbana no del todo eficiente.

III. POSIBLES SOLUCIONES

Un bosque urbano bien estructurado mitiga temperatura; absorbe el aire, el suelo y los contaminantes del agua; y disminuye la contaminación acústica, el agua escorrentía y erosión del suelo (Jankovska et al., 2010; Ferreira y Panagopoulos, 2012).

Las áreas verdes urbanas crean oportunidades para actividades recreativas que contribuyen a las personas salud, bienestar y calidad de vida, particularmente en relación con su capacidad de proporcionar ambientes que ayudan a aliviar el estrés (Gonzalez-Duque y Panagopoulos, 2010). El efecto térmico mejorado inducido por las áreas verdes dentro del microclima cálido y urbano de ciudades densamente pobladas puede mejorar el confort térmico, así como la salud general y las condiciones de vida de sus habitantes (Papangelis et al., 2012).

Los diversos autores de planificación paisajística no se ponen de acuerdo en definir lo que son las áreas o espacios verdes, por utilizar diferentes criterios según cada planificador, al intentar conjugar calidad, cantidad, homogeneidad, función etc. Parece muy adecuado los autores que consideran como áreas verdes aquellas que se encuentran dentro de la trama urbana y que además tengan un perímetro definido (Rodríguez y Díaz, 2003). Es un lógico criterio sólo considerar como zonas verdes aquellas que tengan un tamaño mínimo de área verde y se excluyeron aquellas que no cumplieran este requisito (Canosa et al., 2003), (Gámez, 2005). En otros casos se le hace más caso a la mera titularidad de dichas zonas verdes (Muga, 1980; Rodríguez y Díaz, 2003).

A. Aplicación de la Teoría a Objetivos Concretos

Habría que distinguir entre el verde urbano disponible a todos los ciudadanos y el que no lo es, como son las zonas verdes privadas; estas últimas sí cumplirían con los fines

ecológicos pero no con los sociales y otros asociados a la libre circulación en las áreas verdes públicas.

Se ha de valorar los beneficios para los ciudadanos en general y los proporcionados al medio ambiente urbano en el que previamente su área se haya delimitado para su estudio. Uno de los principales problemas que los planificadores actuales de las zonas verdes encuentran es el mejorar las zonas verdes en las áreas urbanas densamente cubiertas por edificaciones y con viales estrechos, porque dejan poco margen para la implantación de zonas verdes y mejorar en ellas su cantidad y distribución.

Las barriadas que recientemente se han consolidado sin tener en cuenta unas adecuadas proporciones de las zonas verdes conllevará una complicada solución que difícilmente se podrá llevar a corto plazo y por lo tanto deberá esperar a otro plan o a una próxima remodelación por planes parciales o especiales. Por tanto la solución correcta a tener en cuenta es que las áreas verdes deben de gozar de la misma importancia que otras superficies urbanas por ser más difícil de incluir, una vez que se consoliden los distintos sectores urbanos, si no se ha tenido en cuenta anteriormente su distribución y tamaño; de lo contrario se correá el riesgo que sean pequeñas, inconexas y mal distribuidas, dando una sensación de ser áreas residuales o de relleno mermando sus funciones verdaderas.

B. Casos Especiales. Ciudades con Superficies Históricas y Presión Poblacional

En el estudio paisajístico urbano de una ciudad se han de tener en cuenta sus antecedentes históricos y analizar sus últimos cambios que estarán influidos por las nuevas tendencias que se ven muy afectadas por los éxodos de muchas poblaciones rurales a otras más grandes a la espera de una mejora de vida o al menos a tener un mayor número de oportunidades. Esto traerá como consecuencia un aumento de la densificación de las ciudades ya anteriormente más pobladas. Este aumento progresivo de la densificación será en su mayor parte disminuyendo la superficie de los espacios libre y zonas verdes de la propia ciudad. Un objetivo del urbanismo ecológico del paisaje podría ser diseñar y planificar ciudades para aumentar, en lugar de disminuir, los servicios del

Tabla I
MODELO DE VALORACIÓN DEL INDICADOR IPRUGA

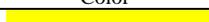
Valoración	Parámetro I	Color
Excellent	$0 \leq I \leq 1$	
Very Good	$1 \leq I \leq 1,5$	
Good	$1,5 \leq I \leq 2,5$	
Middle	$2,5 \leq I \leq 4,5$	
Middle Low	$4,5 \leq I \leq 6,5$	
Low	$6,5 \leq I \leq 8,5$	
Very Low	$8,5 \leq I \leq 10$	

Tabla II
INDICADOR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CADA SECTOR URBANO POR LA VALORACIÓN DEL INDICADOR IPRUGA

Zones	GA (%)	OS (%)	RS (%)	B (%)
1	7,23	0	29,07	63,69
2	6,72	0,51	30,55	62,22
3	5,62	0,36	37,85	56,16
4	24,12	5,47	39,86	30,54
5	14,48	3,92	40,76	40,85
6	12,14	1,22	28,98	57,66
7	26,41	1,98	28,8	42,81

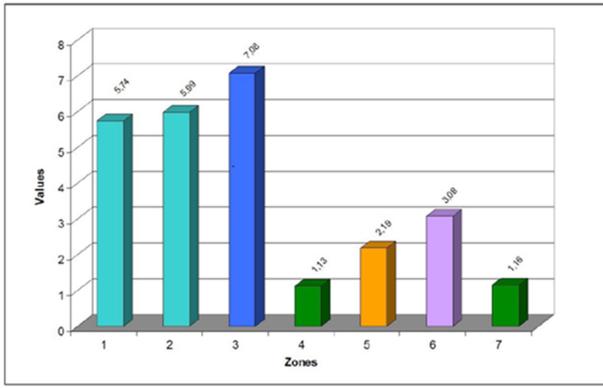


Fig. 1. Modelo de valoración del Indicador IPRUGA

ecosistema. Esto sugiere nuevas e interesantes áreas de investigación en paisaje y planificación urbana (Steiner, 2011).

Las ciudades con más presión poblacional, en su trama urbana, se puede observar que en muchos casos las zonas verdes de mayor entidad (de mayor superficie y calidad) éstas desaparecen o se reducen a favor de alineaciones y plazas. Y quedando las áreas verdes muy desestructuradas y generalmente escasas en relación con el número de habitantes.

Se ha de tener en cuenta que los espacios verdes urbanos de grandes dimensiones en los que puedan desempeñar diferentes usos, como ocio, paseo, deportes, relax, son los más solicitados y frecuentados. No obstante, es un factor limitante en el verde urbano público las cantidades presupuestarias destinadas a este capítulo, no se podrán tampoco sobredimensionar las zonas verdes en las que su mantenimiento se pueda llevar a cabo.

El empleo de índices para analizar la cantidad de verde por habitante, o por unidad de superficie ha resultado de gran utilidad para identificar el cambio de tendencia en la creación

de parques y jardines durante los últimos cincuenta años, pero no expresa por sí solo las posibilidades de uso de las zonas verdes por parte de los ciudadanos, por lo que es adecuado estimar la accesibilidad de la población a las áreas verdes (Gómez, 2014).

Es fundamental la distancia existente desde la residencia a las zonas verdes por tanto se ha de equilibrar el tamaño de la zona verde en función de la población cercana de forma directamente proporcional. Los valores de la vegetación callejera a la que se accede se podría considerar al investigar los efectos de esta vegetación urbana para la salud y el bienestar de los residentes de la ciudad. Un conjunto de mejoras públicas, como la relajación, el bienestar mental, por lo tanto, tienen el potencial de ser más analizadas y mejor provistas (Daniel, 2019). Estudios anteriores han examinado las relaciones entre una asignación desequilibrada de vegetación urbana con el riesgo de problemas para salud (Jiang et al., 2014, Kuo et Sullivan, 2001).

Los ciudadanos que realizan visitas al verde urbano, se ha observado que el tamaño de las áreas verdes tiene un peso relevante en las mismas, por lo que no se puede rechazar la idea de que los parques de mayor superficie son más atractivos que el resto (Gómez, 2014).

C. Correlación entre el Tamaño y Densificación de la Ciudad con las Zonas Verdes

Todas las ciudades tienen un entorno vegetal muy variado en especial las poblaciones medias y pequeñas, y en las de gran tamaño no suele ocurrir así, porque su área de influencia es muy amplia y normalmente, en ellas, están ubicados muchos servicios públicos de gran tamaño (hospitales, universidades, parques de bomberos, etc.) y los polígonos industriales de todo

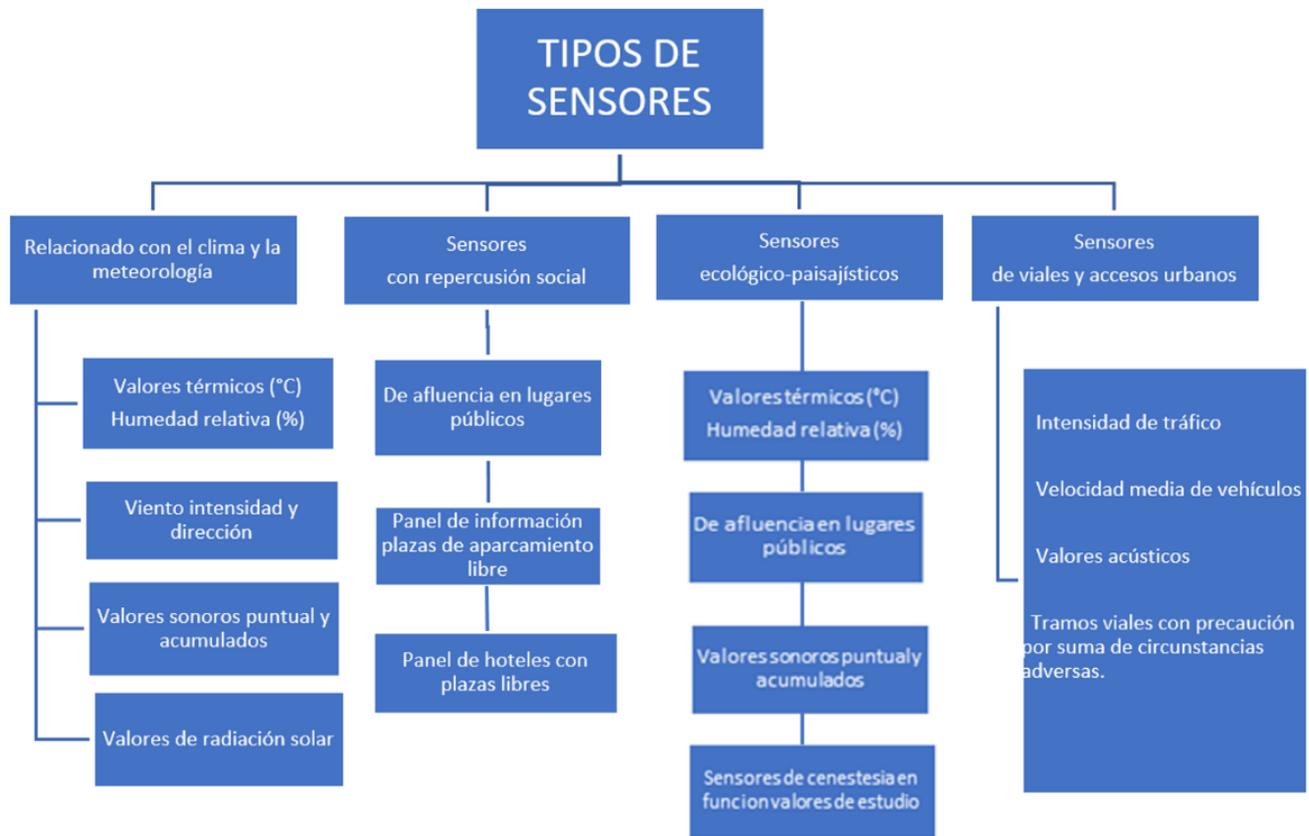


Fig. 2. Tipos de sensores para la “big data” de la “Smart City”

tipo. Por tanto según el tipo de ciudad que se estudie puede ser más valorada las zonas verdes que se asemejen a la naturaleza libre y en otros casos prevalecerá el gusto por una naturaleza menos salvaje y más controlada con topiaria, muchos elementos arquitectónicos, elementos de agua artificiosos, etc. Una vez analizadas las áreas verdes de una determinada población y si se llega a la conclusión que son insuficientes y en las nuevas directrices del próximo planeamiento se decide aumentarlas, lo primero que se debiera hacer para ser realista, el tener en cuenta no sólo los costes de implantación sino también los de su mantenimiento que es un factor fundamental para su uso como servicio público, pues las áreas verdes mal cuidadas o con apariencia de abandono suelen ser poco utilizadas por los ciudadanos e incluso rechazadas. (Alberti, 2008) concibe los ecosistemas urbanos como complejos sistemas humanos-naturales acoplados donde las personas son los modificadores dominantes de los ecosistemas, produciendo así patrones y procesos híbridos de paisaje social-ecológico.

IV. MÉTODO PROPUESTO PARA OBTENER EL TIPO DE TRAMA URBANA POR SECTORES URBANOS

Se puede tomar uno de los métodos existentes por ejemplo el “modelo IPRUGA” (Gonzalez-Duque et Panagopoulos, 2013) para definir qué proporción se tiene en la trama urbana de zonas verdes en relación de los restantes tipos de componentes que integran la trama urbana de la ciudad. Para hacerlo de una forma inicial y rápida en primer lugar se haría una sectorización del casco urbano, teniendo en cuenta, casco antiguo (si lo hay), ensanches, zonas de transición, zonas de borde, grandes barriadas, zonas de servicios intraurbanas, etc. En segundo lugar a estos sectores mediante técnica GIS se hallaría en cada uno la superficie que ocupan: las zonas verdes, los espacios libres (si los hay), los viales y las edificaciones (manzanas, viviendas no agrupadas interurbanas, etc.). En tercer lugar se aplicaría un indicador modelo como puede ser el IPRUGA (véase Tabla 1) que nos facilitará la proporción de cada uno de los componentes de la trama urbana. Y por último se aplicaría la tabla de valoración de estos que de ello resultaría un indicador de las características de cada sector (véase el ejemplo Tabla 2). Pudiéndose observar que los sectores que tiene mayor proporción de zonas verdes son los de color verde (en la tabla 1 y gráfica 1). Y también se puede analizar en la tabla 2 la proporción existente entre los viales y las zonas edificadas.

Una vez delimitado los sectores urbanos se han de colocar los distintos tipos de sensores a los que denominaremos la red neuronal de la “Smart city” (ciudad inteligente). Esta red actuará como un ser vivo, asesor, informando de las diferentes situaciones y estados en los distintos sectores a través de sus respectivos sensores (véase fig. 1) y con un software creado expresamente para este fin y este realizará un diagnóstico con los diferentes datos aportados. Esta operación se iniciará con la instalación en los sectores con más problemas o en los lugares con mayores aglomeraciones o trasiego urbano, actos sociales, etc.

V. CONCLUSIONES

La planificación y el diseño urbano son una responsabilidad compartida y la puesta en práctica de los objetivos depende de evaluaciones dentro de un contexto político-económico amplio. Por esta razón, una visión común por cada sector de la sociedad necesita ser determinante y para que esto se

materialice a largo plazo, sin concesiones Se deben hacer esfuerzos a fin de no recurrir a soluciones baratas y de baja calidad. Finalmente, los formuladores de políticas necesitan volverse un poco más volitivo en cómo se vende el cambio hacia un medio ambiente más sostenible, y la presión gubernamental sobre los individuos para comprometerse con las prácticas ambientales es muy necesaria (Derya, 2012).

En definitiva las áreas verdes se deben contemplar en un urbanismo moderno como un elemento integrador y cohesionador, y no como un capítulo costoso que se ha de incluir en los planes de ordenación urbana, y atender a los fines sociales de la ciudad y a los propios que deben cumplir las zonas verdes urbanas por ser, el medio urbano, un espacio muy diverso y con condicionantes muy especiales en función de cada tipología de ciudad por lo que se hará necesario introducir parámetros modernos para su mejora como son los sensores adecuados que nos facilite la toma de datos para su estudio y obtener soluciones con un software adecuado para resolver los problemas complejos a los que se enfrentarán los planificadores multidisciplinares del territorio en el día a día y en el futuro atendiendo a los nuevos retos de la ecología urbana.

REFERENCIAS

- [1] Alberti, M., “Advances in Urban Ecology. Springer Science”, New York, 2008.
- [2] Cadenasso, M.L., Pickett, S.T.A., Schwarz, K., “Spatial heterogeneity in urban ecosystems: reconceptualizing land cover and a framework for classification Front”. *Ecol. Environ.*, vol. 5, pp. 80-88, 2007.
- [3] Canosa, E.; Sáez, E.; Sanabria, C.; Zavala I., “Metodología para el estudio de los parques urbanos: la Comunidad de Madrid, Geofocus”. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, vol. 3, pp. 160-185, 2003.
- [4] Gámez, V., “Sobre sistemas, tipologías y estándares de áreas verdes en el planeamiento urbano”. *Revista Electrónica. Diseño Urbano y Paisaje*, vol. 2, n. 6, pp. 1-22, 2005.
- [5] Gómez, G. A., “El verde urbano de las ciudades de Salamanca, Valladolid y Zamora: Delimitación, localización y percepción”. Ediciones Universidad de Salamanca, España. ProQuest Ebook Central, 2014.
- [6] Farr, D., “Sustainable urbanism: Urban design with nature”. New Jersey: Wiley, 2008.
- [7] Ferreira, V., Panagopoulos, T., “Predicting Soil Erosion Risk at the Alqueva Dam Watershed”. *Spatial and Organizational Dynamics*, vol. 9, pp. 60-80, 2012.
- [8] Frederick Steiner, “Landscape ecological urbanism: Origins and trajectories”. *Landscape and Urban Planning*, vol. 100, pp. 333-337, 2011.
- [9] Gonzalez-Duque J.A et Panagopoulos T., “Evaluation of the Urban Green Infrastructure using Landscape Modules, GIS and a Population Survey: Linking environmental with social aspects in studying and managing urban forests”. *Journal of Spatial and Organizational Dynamics*, 01 June, vol. 1, n. 2, pp. 82-9, 2013.
- [10] Jankovska, I., Straupe, I., Panagopoulos, T., “Professional’s awareness in promotion of conservation and management of urban forests as green infrastructure of Riga, Latvia”. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, vol. 6, n. 8, pp. 614-623, 2010.
- [11] Jiang B., Chang, C.Y, Sullivan, W.C., “Una dosis de la naturaleza: cobertura arbórea, reducción del estrés y diferencias de género. Paisaje y planificación urbana”, vol. 132, pp. 26-36, 2014.
- [12] Kuo, F.E., Sullivan, W.C., “Aggression and violence in the inner city effects of environment via mental fatigue. *Environment and Behavior*”, vol. 33, n. 4, pp. 543-571, 2001.
- [13] Muga, M., “La utilización de los espacios verdes en la ciudad de Logroño”. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, vol. 6, pp. 71-93, 1980.
- [14] Oh, K., Jeong, Y., Lee, D., Lee, W., Choi, J., “Determining development Density Using the Urban Carrying Capacity Assessment System”, *Landscape and Urban Planning*, vol. 73, pp. 1-15, 2005.
- [15] Oktay, Derya, “Urbanismo humano sostenible: en busca de la sostenibilidad ecológica y sociocultural”. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 36, pp. 16-27, 2012.

- [16] Panagopoulos, T.; González-Duque, J.A. y Bostenaru Dan, M., "Urban planning with respect to environmental quality and human well-being". *Environmental Pollution*, January, vol. 208, pp.137-144, 2016.
- [17] Papangelis, G., Tombrou, M., Dandou, A., Kontos, T., "An urban "green planning" approach utilizing the Weather Research and Forecasting (WRF) modeling system. A case study of Athens, Greece. *Landscape and Urban Planning*, vol. 105, pp. 174-183, 2012.
- [18] Richards D., Yu Ye; Xiaoping Song, Yi Lu; Zhuang, Yu; Zeng, Wei; Zhong, Teng, "Themes and trends in visual assessment research: Introduction to the Landscape and Urban Planning special collection on the visual assessment of landscapes", vol. 191, artículo 103434, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.028>
- [19] Rojas Cortorreal, G.M., "Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano: caso de estudio Barcelona, España y Santo Domingo, República Dominicana". Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Tecnologia de l'Arquitectura, España, 2016.
- [20] Robert D., "Mejora de los efectos del cambio climático: modificación de microclimas a través del diseño. *Paisajismo y Urbanismo*", vol. 100, n. 4, pp. 372-374, 2011.
- [21] Rodríguez, I; Díaz, E. M., "Las secuelas de la ciudad negocio: los parques urbanos de Madrid. En *VVAA: La ciudad: nuevos procesos, nuevas respuestas*". Universidad de León, Secretariado de Publicaciones y Medios Audiovisuales. León, pp. 193-204, 2003.
- [22] Savard, J.-P.L., P. Clergeau, G. Mennechez. "Biodiversity concepts and urban ecosystems". *Landsc. Urban Plan.*, vol. 48, pp. 131-142, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00037-2)
- [23] World Urbanization Prospects, "Department of Economic and Social Affairs, Population Division", 2018.