

GESTIÓN DIGITALIZADA DE LA ENERGÍA, AUTOCONSUMO, MOVILIDAD ELÉCTRICA Y ALMACENAMIENTO (GAMMA)

Ramón Gero Ciudad, Ingeniero I+D, Instituto Tecnológico de la Energía (ITE)

Julio César Díaz, Ingeniero I+D, Instituto Tecnológico de la Energía (ITE)

Noemi González, Ingeniero I+D, Instituto Tecnológico de la Energía (ITE)

Alfredo Quijano, Ingeniero I+D, ITE, Universitat Politècnica de València

Resumen: El objetivo de este artículo es presentar el proyecto GAMMA, el cual tiene como fin implementar pruebas de concepto que validen nuevas soluciones tecnológicas y modelos de negocio para el desarrollo de comunidades energéticas locales. Con este objetivo se dispone de herramientas de modelado y simulación (HiL y gemelos digitales), y de una infraestructura reconfigurable de microgrid en entorno demostrativo que engloba las actuales tecnologías de recursos energéticos distribuidos (DER), como fuentes de generación renovable (RES), sistemas de almacenamiento (ESS) y vehículos eléctricos (VE), de forma que se monitoricen, gestionen y controlen de forma óptima y coordinada a través de herramientas de digitalización. Este piloto integra plataformas digitales que implementan los principios de control inteligente de recursos energéticos distribuidos, para poder validar estos desarrollos mientras se integran en los sistemas de energía tradicionales. De esta forma, en este trabajo se propone una arquitectura funcional, tanto a nivel de software como de hardware, de la plataforma, los principios de su integración, así como de los medios de interacción con cada uno de los recursos gestionados. En concreto, en el presente artículo se describe la utilización del presente piloto para la validación de los desarrollos de algoritmos de predicción de demanda y generación llevados a cabo en el instituto.

Palabras clave: Comunidades energéticas, Digitalización, Almacenamiento, Predicción, Gestión de recursos energéticos distribuidos, BigData, Machine learning

INTRODUCCIÓN

En el actual contexto de transición energética en el que nos encontramos, el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas centradas en el ámbito de la energía y la sostenibilidad es de vital importancia. Para conseguir el objetivo de un mix energético con menos emisiones de CO₂ se necesitan herramientas que favorezcan el uso de energías de origen renovable y que faciliten la integración del almacenamiento energético como pieza clave para maximizar el aprovechamiento de estas fuentes de energía [1] [2].

Además, es importante aportar desarrollos tecnológicos que sirvan para mejorar el control de la red eléctrica, las fuentes de energía y los consumos asociados, consiguiendo mejorar la eficiencia energética al compatibilizar de forma dinámica y adaptada los recursos de generación disponibles y las distintas necesidades de uso energético.

Dicha operación de recursos requiere la implementación de sistemas de control inteligente automatizados para la coordinación DER, medición inteligente y soporte de respuesta a la demanda, sincronización con el sistema energético global, algoritmos de predicción y optimización para una mejor gestión de la incertidumbre de las fuentes de generación no gestionables, así como balance energético a nivel global y local.

PROYECTO GAMMA

El nuevo laboratorio de digitalización energética del Instituto Tecnológico de la Energía se ha ideado como un entorno demostrativo y de validación en el que poder testear todas estas herramientas innovadoras en el marco de una auténtica comunidad energética. El proyecto cuenta con la cofinanciación de la Generalitat Valenciana a través del Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial, IVACE, y la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunidad Valenciana 2014-2020. (EXP IMDE40/2018/2)

En este entorno de continuo desarrollo e innovación, el piloto GAMMA dispone de las últimas soluciones de digitalización de infraestructuras energéticas, con el objetivo de tener una completa monitorización y control sobre el sistema. Ofrece la posibilidad de gestionar los recursos de forma óptima, remota y descentralizada, mantener la estabilidad de la red, identificar errores en la operación, así como empoderar al usuario final habilitando su participación activa en esta transición y los nuevos mercados energéticos.

En este proceso es de vital importancia utilizar procedimientos y métodos de digitalización estandarizados, asegurando así la interoperabilidad de todos los elementos del sistema y la compatibilidad entre soluciones, permitiendo un desarrollo e integración más rápido de estas en el entorno energético.

De esta forma se facilita la gestión e integración de todos los recursos de energía renovable incluidos en el piloto, así como de las diversas soluciones de almacenamiento energético presentes en el sistema. Sin ellas no sería posible integrar de forma eficiente la generación no gestionable que representan estas fuentes energéticas.

Todo este entorno se encuentra totalmente digitalizado mediante el uso de un conjunto de soluciones computacionales y analíticas basados en modelos de funcionamiento y gemelos digitales (tanto energéticos como eléctricos) de los sistemas involucrados. Con estas herramientas se permite analizar el comportamiento del sistema tanto en tiempo real como mediante históricos, evaluar la eficiencia de los componentes que lo integran, así como otras funciones como el mantenimiento predictivo de los equipos o el análisis del impacto de nuevas soluciones mediante herramientas de modelado y simulación avanzadas [3].

Estas diferentes soluciones, enmarcadas dentro del contexto de las comunidades energéticas, necesitan de un ámbito regulatorio y económico que se adapte a las nuevas condiciones del sistema energético. De esta forma, este piloto demostrativo es el entorno ideal para evaluar nuevos mercados energéticos, como los mercados P2P o de flexibilidad, así como nuevos marcos normativos que permitan la correcta evolución e integración de estas tecnologías.

Piloto y estructura

Este piloto demostrativo dispone de todas las tecnologías energéticas actuales integradas en un mismo entorno real:

- Generación renovable fotovoltaica y eólica, emulando diferentes tipos de instalaciones dentro de una comunidad energética completa, industrial y doméstica.
- Almacenamiento energético, disponiendo de diferentes tecnologías y presentando diferentes modos de conexión y la posibilidad de reconfigurar su arquitectura de forma que se encuentren de forma centralizada o distribuidos entre diferentes propietarios.
- Movilidad sostenible, englobando todos los sistemas de recarga presentes en el mercado.
- Distintos tipos de consumos, gestionables y no gestionables, dentro del marco de la comunidad que representa ITE, totalmente monitorizados.
- Sensorización de salas, para caracterizar el comportamiento de los usuarios de la comunidad.
- Estaciones meteorológicas para evaluar las condiciones del entorno en tiempo real.

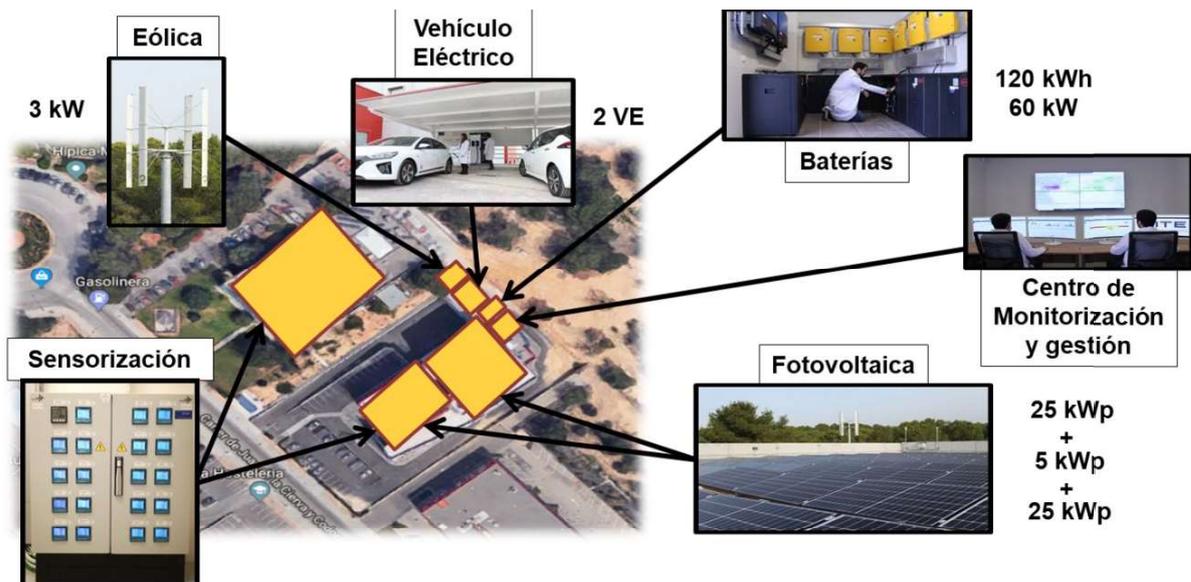


Figura 1. Esquema del piloto físico del laboratorio GAMMA

Todos estos sistemas, además de presentarse de forma física en el contexto del piloto, también están digitalizados haciendo uso de herramientas avanzadas de modelado y simulación.

Como nexo entre las capas digitales y reales del piloto, la total monitorización y captura del dato, así como las capacidades de control y gestión remota, permiten probar desarrollos software y de algoritmia de forma rápida y segura, siendo esta una de las actividades principales desarrolladas en el piloto.

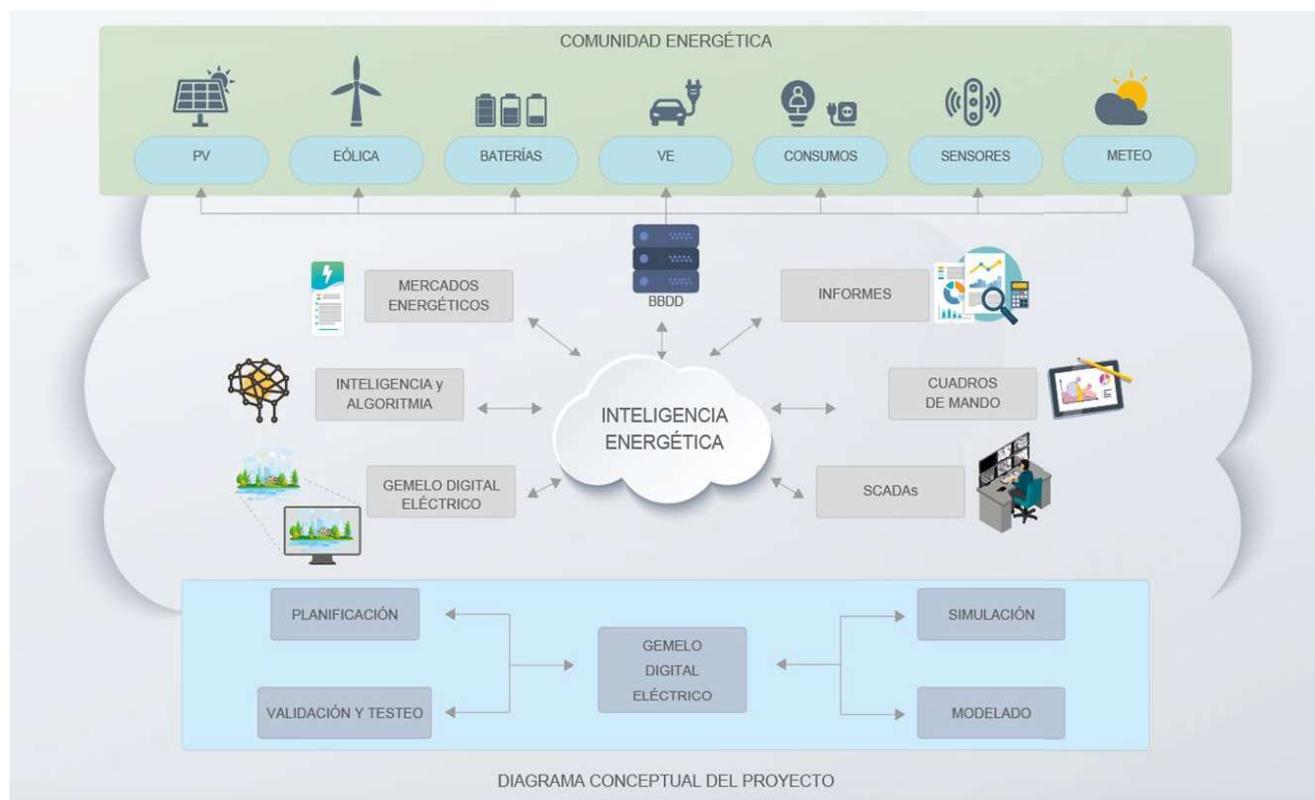


Figura 2. Esquema de la arquitectura del laboratorio de digitalización energética GAMMA

En términos de arquitectura de software, los subsistemas se dividen en microservicios, a saber, módulos compactos, acoplados libremente y fácilmente modificables que interactúan mediante protocolos de comunicación estándar y pasarelas tipo REST con la plataforma central, permitiendo la integración flexible de nuevos servicios.

Objetivo y líneas de trabajo

Las aplicaciones y oportunidades que ofrece este laboratorio para las empresas son múltiples, empezando por la mejora de la trazabilidad de los procesos y la reducción de los costes de mantenimiento y de inversión, además de la integración eficiente y un mayor aprovechamiento de nuevos elementos incipientes en la industria como los recursos energéticos de autogeneración, el almacenamiento eléctrico o la movilidad sostenible. Asimismo, todas estas soluciones contribuirán a la rama social del desarrollo sostenible impulsando la generación nuevos puestos de trabajo.

Dentro de este marco se engloban herramientas para la toma de decisiones antes de acometer inversiones de carácter energético, soluciones de energía colaborativa para maximizar la eficiencia global de los sistemas además de ayudar a la dinamización de la puesta en marcha de comunidades energéticas, nuevas tecnologías para garantizar los certificados de origen de generación renovable mediante la trazabilidad de los procesos, entre muchos otros.

Estas herramientas se engloban dentro de las líneas de investigación del instituto, permitiendo la validación y testeo de desarrollos en los siguientes ámbitos:

- Operación de red
- Gestión y control de recursos

- Planificación de red
- Mercados energéticos
- Gestión de la demanda (activa y pasiva)
- Movilidad sostenible

Asimismo, estas diferentes soluciones, enmarcadas dentro del contexto de las comunidades energéticas, necesitan de un ámbito regulatorio y económico que se adapte a las nuevas condiciones del sistema energético. De esta forma, este piloto demostrativo es el entorno ideal para evaluar nuevos mercados energéticos, como los mercados P2P o de flexibilidad, así como nuevos marcos normativos que permitan la correcta evolución e integración de estas tecnologías.

Gemelo Digital

Gracias a la sensorización y al tratamiento masivo de datos, todo este entorno se encuentra totalmente digitalizado, permitiendo así desarrollar un gemelo digital energético y eléctrico de la instalación. El gemelo energético reproduce los flujos de potencia del sistema en base a las condiciones meteorológicas y de consumo. Esta distribución de flujos es comparable con la instalación real o una comunidad energética cualquiera una vez adaptado. El gemelo eléctrico reproduce el comportamiento de toda la electrónica de potencia asociada al sistema energético. Sirve para refinar modelos de generación, probar nuevos algoritmos de control y estudiar los límites de estabilidad de la microrred.

Con estas herramientas es posible analizar el comportamiento del sistema tanto en tiempo real como mediante históricos, evaluar la eficiencia de los componentes que lo integran, así como otras funciones como el mantenimiento predictivo de los equipos, el testeo de nuevos algoritmos de control y nuevo equipamiento antes de su implantación y, además, permite simular condiciones extremas para analizar cómo reaccionaría el sistema.

De este modo, este piloto permite certificar y validar nuevos desarrollos en el contexto eléctrico, por ejemplo testeando el cumplimiento de los códigos de red por parte de nuevos elementos a integrar en las nuevas redes inteligentes en base a la legislación actual.

Gracias a la herramienta de HiL y a softwares de simulación avanzados, se permite unificar el mundo digital, de las simulaciones, con el mundo real. Integrando equipamiento físico (como un inversor o un controlador) en la simulación, pudiendo así comprobar el comportamiento de un equipo en cualquier tipología de red sin generar elevados costes y bajo una infinidad de supuestos, reduciendo tiempos hasta su desarrollo comercial [4].

Algoritmia aplicada

Dentro de las líneas mencionadas, se presta especial atención al análisis de las oportunidades para utilizar tecnologías de inteligencia artificial, en particular, el aprendizaje automático, como parte de la plataforma dentro del piloto, para realizar diversos procedimientos predictivos y de optimización para diferentes aplicaciones.

En particular, a nivel de algoritmia y software, se aplican diferentes técnicas de machine learning y de optimización avanzada para desarrollar soluciones que mejoren la operación y gestión no solo de las redes eléctricas actuales sino también de los sistemas energéticos que puedan surgir como pueden ser, por ejemplo, las comunidades energéticas locales.

A la hora de integrar nuevos recursos energéticos ya sea en redes de distribución o a nivel usuario es fundamental contar con herramientas de planificación que permitan dimensionar y ubicar de manera estratégica estos recursos teniendo en cuenta las características del entorno y las necesidades del usuario. En este sentido, aplicando herramientas de optimización avanzadas, en ITE se desarrollan algoritmos de planificación adaptados a diferentes objetivos y usos.

Otra de las principales líneas de investigación en ITE es el desarrollo de sistemas de gestión de recursos energéticos, y sobre todo, orientados a sistemas de almacenamiento y baterías. Por otra parte, ya que dentro de la transición energética, la electrificación va a jugar un papel fundamental, también se trabaja en el desarrollo de sistemas de gestión enfocados a las estaciones de recarga dentro del concepto de Smart charging o recarga inteligente.

Dentro de estos desarrollos, esta planta piloto juega un papel importante ya que permite testarlos tanto en un entorno real como un entorno simulado bajo diferentes escenarios de operación.

A la hora de gestionar la comunidades energéticas y en concreto, sus recursos, sistemas de almacenamiento, estaciones de recarga etc., es fundamental disponer de buenos algoritmos de predicción que permitan conocer con cierta exactitud la evolución de la demanda y la generación a corto y medio plazo para tomar las correspondientes decisiones de operación y planificación de forma correcta. En este sentido, esta planta piloto proporciona datos reales con los que mejorar los desarrollos y ajustar mejor estos algoritmos de predicción.

A partir de este punto, a modo de ejemplo, se describen las tareas realizadas en el piloto para la validación de los desarrollos de algoritmia de predicción, tanto de generación renovable (especialmente fotovoltaica) así como de demanda, a nivel doméstico y residencial, así como los resultados obtenidos dentro del proyecto.

Algoritmo de predicción

El algoritmo de predicción que se ha integrado en el entorno del laboratorio GAMMA se caracteriza por utilizar herramientas avanzadas de predicción, como las máquinas de soporte vectorial (SVM), permitiendo predecir tanto demanda eléctrica como generación fotovoltaica de forma precisa, ya que posibilitan la caracterización de su naturaleza estocástica. Esto se debe a la estructura de dicho algoritmo, combinando la teoría de probabilidad con una combinación de técnicas de aprendizaje supervisado junto con algoritmia metaheurística, haciendo que tanto los datos de generación fotovoltaica, como todo tipo de datos de demanda agregada (industrial, doméstica o comercial), se adapten a este algoritmo. Además, la integración de esta algoritmia como servicio en tiempo real en el piloto, así como sus características de aprendizaje automático, representan un avance en el desarrollo de la técnica.

El algoritmo integrado tiene la estructura especificada en la Figura 3. Cabe destacar que su gran versatilidad es fruto no sólo de la estructura que combina todas las técnicas y teorías enumeradas, sino también del hecho de que es capaz de trabajar con variables exógenas, haciendo que la precisión de sus resultados mejore.

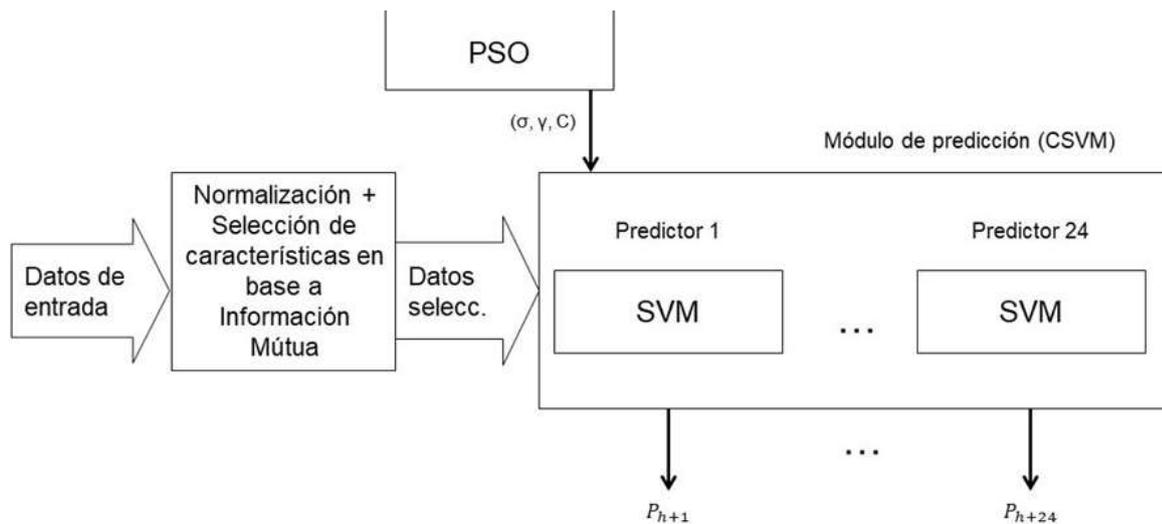


Figura 3. Esquema de la arquitectura del algoritmo de predicción

Como se puede ver en la estructura esquematizada en la ilustración, el algoritmo consta de tres partes diferenciadas, que son el pretratamiento de datos, el módulo de optimización, y el módulo de predicción. Esta estructura permite que el conjunto trabaje de tal manera que los datos de entrada son pretratados, y se extraen los datos más significativos de ellos, para que acto seguido estos datos entrenen un conjunto de máquinas de soporte vectorial que se ejecutan en cascada, también denominada CSVM (del inglés Cascaded Support Vector Machine), que son optimizadas por un algoritmo metaheurístico, en este caso del tipo PSO (del inglés Particle Swarm Optimization). Como resultado del proceso en conjunto, se obtiene un modelo de predicción que se utiliza para generar las predicciones de demanda y generación fotovoltaica [5] [6].

Por último, cabe destacar que la veracidad y calidad de los datos de entrada condicionan el comportamiento del algoritmo, por lo que en el caso de ser necesarias predicciones auxiliares para generar alguna predicción en concreto, como pudiera ser el caso de la predicción de generación fotovoltaica, es preciso tener una fuente fiable de datos para que la fiabilidad del algoritmo no se vea comprometida.

Resultados

A continuación se muestran algunos resultados de casos reales de predicciones de demanda eléctrica y generación fotovoltaica en un horizonte de 24 horas, y una resolución de una hora para la producción solar y de quince minutos para el consumo.

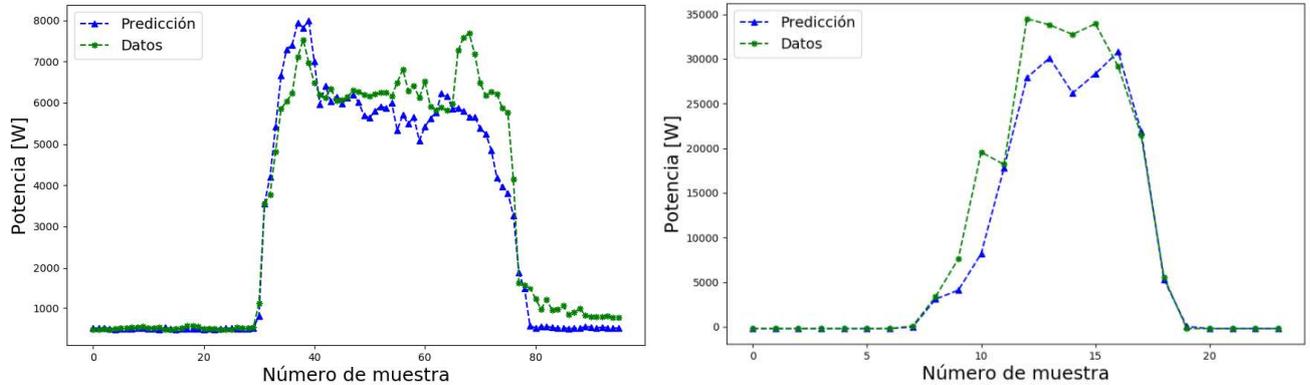


Figura 4. Predicción de la demanda de un edificio de oficina (izquierda) y de generación fotovoltaica (derecha)

Como resumen, para un periodo de validación de 2 semanas, se han obtenido indicadores de exactitud de los algoritmos de predicción de un MAE (Mean Absolute Error) de 2,8kW para la generación y 270W para la demanda, lo que suponen un 5,7% de la potencia instalada para la instalación fotovoltaica, y un 3,9% de la potencia pico para la demanda asociada.

Conclusiones

La actual emergencia climática necesita de nuevas herramientas que favorezcan la transición energética que nos espera. El piloto GAMMA se convierte en el entorno perfecto para el correcto desarrollo de estas soluciones por parte de las empresas, impulsando el futuro sostenible desde la tecnología y la innovación a través de la digitalización de la energía y la utilización de gemelos digitales.

En este contexto, el piloto nos permite validar desarrollos de forma rápida, flexible y fiable, para acelerar la integración de nuevas soluciones en el mercado, posibilitando así su desarrollo comercial en un menor tiempo y coste. En concreto, los resultados obtenidos en la validación de los algoritmos de predicción han permitido ajustar los parámetros en un entorno real demostrativo, además de evaluar su rendimiento y fiabilidad, antes de ser implantados en soluciones comerciales, donde pueden representar un factor diferenciador y un valor añadido importante para las plataformas de gestión energética y la optimización de la operación de los recursos en una comunidad energética.

REFERENCIAS

- [1] Directive (EU) 2019/944
- [2] Directive (EU) 2018/2001
- [3] S. K. Andryushkevich, S. P. Kovalyov, E. Nefedov "Composition and application of power system digital twins based on ontological modelling" (Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN'19, 2019, pages 1536–1542).
- [4] P. Kotsamopoulos, D. Lagos, N. D. Hatzigiorgiou "A benchmark system for Hardware-in-the-Loop testing of Distributed Energy Resources" IEE Power and Energy Technology Systems Journal PP(99):1-1, 2018.
- [5] E. Ceperic, V. Ceperic y A. & Baric, "A strategy for short-term load forecasting by support vector regression machines" IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, nº 4, pp. 4356-4364, 2013.
- [6] X. Guo y J. & Su, "Improved Support Vector Machine Short-term Power Load Forecast Model Based on Particle Swarm Optimization Parameters" Journal of Applied Sciences, vol. 13, nº 9, pp. 1467-1472, 2013.