

Análisis de los paradigmas de inteligencia artificial, para un modelo inteligente de gestión de la energía eléctrica

Analysis of paradigm of artificial intelligence, model for intelligent power management

Mauricio Martínez¹; Edgardo Santana¹ & Nicholas Beliz^{2*}

¹Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación – Facultad de Sistemas Computacionales
– Universidad Tecnológica de Panamá

²Departamento de Simulación y Computación – Facultad de Sistemas Computacionales
– Universidad Tecnológica de Panamá

77

Resumen El presente documento muestra la importancia del ahorro energético, así como la necesidad de diseñar modelos inteligentes que ayuden a dar un apoyo a la reducción del problema del consumo excesivo de la energía eléctrica. La herramienta principal para llegar a obtener un modelo inteligente son los paradigmas de inteligencia artificial, los cuales son modelos que se han diseñados para dar solución a muchos otros problemas de la ingeniería, en este caso se enfoca directamente en el tratamiento de datos y la visualización de un sistema para encontrar patrones que ayuden a hacer que el sistema se comporte de una manera adecuada, este comportamiento puede venir de datos previamente evaluados en auditorías eléctricas, o el modelo está diseñado para adquirir nuevos conocimientos de forma que al encontrar un patrón de consumo que no ponga en riesgo la estabilidad de la red eléctrica, este patrón puede ser consultado para hacer que el sistema se comporte igual en el futuro.

Palabras claves Paradigmas, inteligencia artificial, eficiencia energética, reglas, inferencia.

Abstract This document shows the importance of energy savings and the need to design intelligent models to help provide support for reducing the problem of excessive consumption of electricity. The main tool to arrive at an intelligent model are the paradigms of Artificial Intelligence, which are models that have been designed to solve many engineering problems, in this case focuses directly on data processing and visualization a system to find patterns that help make the system behave properly way, this behavior can come from data previously evaluated in electrical audits, or the model is designed to increase knowledge so as to find a pattern of consumption that does not jeopardize the stability of the grid, this pattern can be consulted to make the system behave likewise in the future.

Keywords Paradigms, artificial intelligence, energy efficiency, rules, inference.

* Corresponding author: nicholas.beliz@utp.ac.pa

1. Introducción

Cuando se habla de energía eléctrica lo primero que se debe pensar es si se tiene la suficiente o se genera la suficiente energía eléctrica como para usar sin necesidad de prestarle atención, así como pensar que el agua nunca se acabará, pero cuando se enfrenta a sequías extremas se sabe que el agua se puede agotar y se debe ahorrar.

En este mismo contexto la energía eléctrica debe ser ahorrada y aprovechada en su totalidad y es por ello que nace el término de eficiencia energética, esta nueva tendencia busca que la energía eléctrica se ahorre para evitar faltas de suministro de electricidad y por ellos es importante, cuando los países se enfrentan a fenómenos, como la del Niño que genera sequías en algunas zonas y lluvias en otras, estar preparados ante este fenómeno, y nos ayuda a tener un país sostenible, por eso el ahorro es la tendencia que está de moda.

En los últimos años se han realizados sistemas de gestión energética, y entre ellos algunos incorporan paradigmas de inteligencia artificial como las redes neuronales, y es donde nace la idea de desarrollar un modelo inteligente para la gestión de la energía eléctrica el cual pueda ayudar a lograr los objetivos de ahorro y uso adecuado mediante la monitorización y la detección de alarmas tempranas a posibles fallos que se presenten en el sistema de distribución eléctrica.

La inteligencia artificial juega un papel importante en el desarrollo de la tecnología de nuestra actualidad, pues los sistemas inteligentes son potentes y ayudan a solucionar problemas que requieren un grado de inteligencia, y el ámbito interdisciplinar no se puede dejar que todo el peso recaiga sobre un área específica, este problema es de todo, por tanto se ha realizado análisis de los paradigmas de inteligencia artificial, en busca de un modelo que se pueda adaptar a las condiciones de una red de distribución eléctrica sin importar la cantidad de componentes que tengan sino solamente teniendo datos que permitan encontrar patrones de consumo en una red eléctrica para generar modelos de mundo real

que permitan ser seguido por este modelo inteligente que se diseñará, en este artículo se presentan los paradigmas relevantes que se tomaron para evaluar el diseño del modelo, mostrando la importancia de la participación de todas las áreas en este problema que se abarca.

2. Antecedentes

La necesidad de un modelo inteligente para la gestión de la energía eléctrica, nace del consumo excesivo de la misma, y de la falta de agua para las hidroeléctricas de la ciudad de Panamá que son la principal fuente de generación de esta energía. En la ciudad, el consumo se ha visto en mayor cantidad en los centros comerciales que se han construido, y en los últimos años en el inicio de operaciones del Metro de Panamá, el nuevo medio de transporte.

Lo primero que se contempla para el desarrollo de este modelo inteligente, es conocer el comportamiento del sistema, y para ello se considera el monitoreo a través de un sistema de visualización conocidos como SCADA por sus siglas en inglés (*Supervisory Control And Data Acquisition*) [7], el término se empezó a escuchar en la década de los 80 en conjunto con los avances tecnológicos de la época, este sistema de visualización pretende mostrarnos como es el funcionamiento del sistema eléctrico para poder tomar decisiones sobre el sistema cuando sea necesario. Este sistema está compuesto por tres subsistemas importantes que son:

- Sistema de adquisición y mando, este contiene los sensores y actuadores para captar los datos.
- Sistema de interconexión, este permite la comunicación a distancia con los dispositivos.
- *Software* SCADA, es la interfaz que comunica al usuario con el entorno y permite la visualización.

Este sistema de visualización nos provee de una base de datos, la cual es importante puesto que aquí es donde entra la inteligencia artificial para el tratamientos de datos, no se puede crear

un modelo inteligente a partir de nada, y es por ello que es necesario tener datos para saber cómo la inteligencia artificial podrá ayudar a gestionar el sistema eléctrico.

La inteligencia artificial es la ciencia que busca diseñar *hardware* y *software* que tengan un comportamiento inteligente, o que realicen actividades o tareas que necesiten un grado de inteligencia [2] [6].

En 1957, el término de inteligencia artificial fue utilizado por primera vez por John McCarthy durante la conferencia de Darmouth [2], sin embargo, desde antes ya se había intentado diseñar un modelo que simulara el comportamiento humano.

En 1943, con los trabajos realizados por Warren McCulloch y Walter Pitts, proponen el modelo de una red neuronal tomando como base la neurona biológica, siendo este el primer modelo que simula el comportamiento de un sistema biológico. En 1947, el célebre matemático Alan Turing propuso por primera vez la posibilidad de construir una máquina inteligente, y propuso también el test de Turing que busca descubrir si una máquina ha alcanzado un grado de inteligencia capaz de engañar a una persona.

3. Paradigmas de inteligencia artificial

La inteligencia artificial ha desarrollado diferentes modelos, técnicas, métodos o tareas que realiza esta ciencia para alcanzar que los sistemas se comporten de forma inteligente, a esto se le conoce como paradigmas, en esta sección se hablará de las técnicas relevantes así como las aplicaciones de inteligencia artificial que fueron analizadas para el desarrollo del modelo inteligente de gestión de la energía eléctrica, solo se mencionarán algunos, aquellos que dieron un acercamiento al modelo final.

3.1 Técnicas

Las técnicas en inteligencia artificial se aplican a búsquedas en árboles, estas pueden ser informadas o no informadas, las búsquedas informadas se conocen como búsquedas heurísticas, estas reducen el tiempo en el que

se puede encontrar una solución, permitiendo de esta forma la optimización de los procesos que requieren encontrar la forma rápida de solucionar un problema [2] [5].

Para el modelo de gestión energética se consideró el uso de estas técnicas, sin embargo el sistema solo cuenta con datos numéricos, y estas variables no pueden controlarse, la cantidad de voltaje que se envía al sistema es constante lo que varía es el consumo por dispositivos eléctricos, luces y aires acondicionados. De esta forma las técnicas no fueron consideradas para un modelo inicial [2].

3.2 Tareas

Las tareas que la inteligencia artificial realiza, son: diagnósticos, planificación y control, las cuales se discuten a continuación.

3.2.1 Diagnósticos

Esta tarea busca mantener un sistema funcional el mayor tiempo posible, a través de conocimiento el sistema verifica si el sistema tiene un comportamiento adecuado o si este presenta alguna falla para notificar o si es posible tomar una decisión y actuar sobre el sistema.

Los principales sistemas que realizan estas tareas se encuentran en los sistemas basados en conocimientos, estos sistemas toman el conocimiento de un experto y lo estructura de forma que se puedan acceder a ellos para diagnosticar las fallas en el sistema, es muy similar al trabajo realizado por los doctores que de igual forma realizan un cuestionario para saber los síntomas que tiene un paciente que llega a sus consultorio, los sistemas basados en conocimientos pueden tener como entrada un cuestionario o tener datos que indiquen que el comportamiento esta fuera de lo considerado correcto en el sistema que se esté diagnosticando. Estos sistemas están compuestos por tres componentes los cuales son:

- Motor de Inferencia
- Base de conocimientos
- Interfaz de usuario

Donde la base de conocimientos contiene las reglas que se pueden aplicar para obtener un diagnóstico adecuado, o con un nivel de aceptación bastante alto, estas reglas son escritas mediante lógica de predicados [3] [6].

El concepto de diagnóstico fue considerado para el modelo final puesto que el sistema eléctrico se debe mantener en constante monitoreo para verificar si el comportamiento es adecuado, sin embargo el término de sistema basado en conocimiento no se consideró totalmente por el uso de la lógica de predicados, puesto que solo se trataban con datos numéricos.

3.2.2 Planificación

Esta tarea busca desarrollar algoritmos de control que le permitan sintetizar secuencias que le lleven a alcanzar sus objetivos.

La planificación requiere que se apliquen reglas o se ejecuten acciones para que el sistema tenga el comportamiento adecuado desde un estado inicial a un estado meta final [2].

La pregunta que nos lleva a tomar o no este paradigma es si este modelo inteligente para la gestión de la energía eléctrica puede ejecutar acciones de forma autónoma, y es donde nos encontramos con una limitante y es que no hay actuadores, sin embargo el sistema tendrá un operador y este puede tomar el rol de un agente inteligente, en donde el modelo inteligente muestra alarmas o notificaciones de fallos y notifica al operador para que este realice las acciones necesarias.

En este caso se consideró la planificación debido a que este cumple con una de las metas finales para el modelo inteligente, y es que se apliquen acciones sobre el sistema, que permitan verificar el estado actual del mismo, y notificar de algún tipo de fallo en este concepto la tarea de diagnosis y la tarea de planificación se tomaron en consideración debido a que ambos llevaron a idear que el sistema debía diagnosticar por medio del uso de reglas que fijaban límites para generar alertas.

3.2.3 Control

Controlar un sistema consiste en que este

se comporte de una manera deseada, es una de las tareas que la inteligencia artificial utiliza con frecuencia en sistemas cerrados, donde es posible controlar el flujo de variables y datos en el mismo.

Se pueden distinguir dos problemas de control que son:

- El problema de regulación, en donde el comportamiento deseado es mantener la salida de forma constante independiente de las perturbaciones que actúen sobre el sistema.
- Problema de seguimiento, cuando el comportamiento deseado consiste en hacer que la salida del sistema siga una referencia dada.

En el modelo inteligente de gestión de energía eléctrica, aplicar directamente este paradigma indicaría controlar las variables de entradas para reducir en consumo de la energía eléctrica, sin embargo como se mencionó en las técnicas las variables del sistema no se pueden controlar debido a la constante de voltaje, por tanto no se podría enviar un dato de entrada distinto al estándar porque esto podría generar problemas.

3.3 Sistema basado en reglas

La parte fundamental de estos sistemas son las bases de reglas, que contienen reglas que se aplican al sistema por medio de un motor de inferencia para que este tenga un comportamiento adecuado [3] [5].

De esta forma estos sistemas pueden trabajar con un modelo del mundo real y seguir dicho comportamiento.

Las partes que componen un sistema basado en regla son:

Base de hechos, que contiene lo que está ocurriendo o ha ocurrido en el sistema.

Base de reglas, que contiene las reglas aplicables al sistema.

Motor de inferencias, aplica las reglas necesarias hasta alcanzar un estado ideal.

Este sistema puede realizar las tareas de inteligencia artificial, permitiendo que los sistemas puedan ser monitoreados de una forma adecuada, y gracias a su base de reglas que pueden contener condiciones de tipo numéricas para límites de aceptación antes de generar

una alarma, hace posible que se pueda tomar cualquier dato que se esté recibiendo a través de un sensor y actuar mediante los límites que se definan en el sistema.

En la figura 1 se presentan los componentes del sistema basado en reglas donde la memoria de trabajo es la base de hechos del sistema.

3.4 Aprendizaje automático

Dentro de los modelos para aprendizaje automático, tenemos las redes neuronales [1] [4] que permiten identificar patrones en el sistema, y aprender su comportamiento para genera una salida adecuada.

Los sistemas de redes de neuronal [4] también están presentes en minería de datos, por el tratamiento de los mismos, es por esto que no se consideraron para el modelo inteligente a desarrollar, sin embargo es importante mencionarlos ya que para tareas de control necesarias estas redes pueden predecir el comportamiento del sistema y cambiar las variables ajustándolas a un valor aceptable que le permita evitar que el sistema presente fallos.

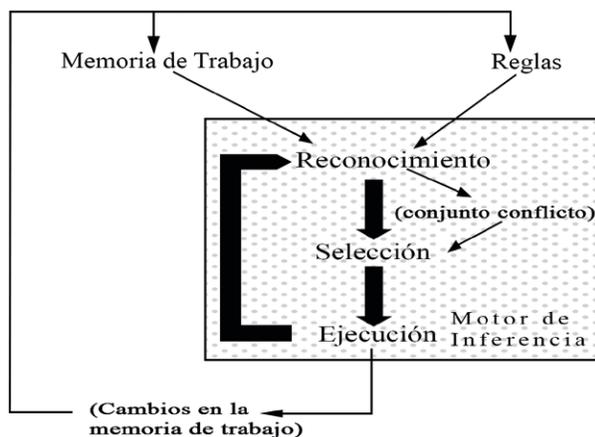


Figura 1. Diagrama de un sistema basado en reglas.

4. Resultados

Una vez se evaluaron estos modelos, tareas y técnicas, se toma la decisión de diseñar un modelo inteligente, basado en el sistema basado en reglas, pues este sistema nos permite conocer el entorno, es decir, como el sistema está actuando, como tenemos datos y no sensores pues los datos iniciales del sistema serán los que se encuentren

en la base de datos del sistema de visualización mencionado anteriormente en el punto 2, de esta forma se desarrollaran reglas que limiten al sistema comportarse dentro de un rango o intervalo adecuado al consumo eléctrico que no exceda los datos de auditoria realizados en el edificio donde se implementaría el modelo [2].

El modelo inteligente contara con los siguientes componentes necesarios:

- Base estática
- Base de hechos
- Base de reglas
- Nueva base de hechos
- Motor de inferencia
- Registro temporal de alarmas

Si bien los sistemas basados en reglas comprenden tres componentes, este modelo se le ha agregado dos componentes por separado, que son la nueva base de hechos, y el registro temporal de alarmas. A continuación se presentan la descripción de cada componente:

4.1 Base estática

La base estática contendrá los datos de consumo eléctrico que se hayan auditado, es decir, esta base de hechos contendrá el modelo a seguir por el sistema tomando en consideración que la auditoría que se realizó es con el consumo mínimo por los dispositivos electrónicos que se encuentren en el lugar donde el sistema será implementado.

El modelo aplicará reglas que indiquen que el comportamiento o consumo del sistema está fuera del rango permitido verificando siempre frente al modelo estático de datos, y alguna base nueva de hechos que se registre.

4.2 Base de hechos

Esta base debe presentar los datos del sistema de manera que el sistema pueda representar a través de él el comportamiento del mundo real del entorno que se está monitoreando.

Para el modelo inteligente la base de hechos, sería la base del sistema SCADA, la cual nos proporciona el estado del sistema, la idea de ver esta base de datos como una base de hechos, nace

de considerarla como fuente de información del entorno tal como la proporcionaría un sensor u otro dispositivo.

4.3 Base de reglas

Se guardarán las reglas que verificarán el consumo eléctrico entre otras variables como el voltaje que son los que pueden caer en algún momento, esto permitirá que se pueda notificar un fallo en el sistema referente a los voltajes. Si por una caída de voltaje se presenta una falla las reglas que se están aplicando pueden verificar el comportamiento anterior a la falla, consultando con la base de hechos nueva y el comportamiento actual del sistema.

Un ejemplo de estas reglas sería considerar que una variable 'A' ubicada en la base estática es igual o menor que una variable 'B' ubicada, en la base de datos del sistema de visualización, si es así y dicha variable debe tener un valor por encima de la otra variable se debe registrar y notificar que dicho valor esta fuera de lo considerado óptimo, en este concepto se aplicaría reglas de tipo Condición → Acción.

4.4 Nueva base de hechos

Cuando hablamos de una base nueva de hechos, estamos considerando que los datos de la base estática son los mínimos en consumo, y que se pueden presentar otros modelos de consumo dependiendo de las variables que actúan sobre el sistema, incluyendo el aumento en uso de dispositivos móviles o nuevas adquisiciones de sistemas eléctricos o electrónicos.

Cuando esto ocurre el modelo está en la capacidad de identificar este nuevo comportamiento del mundo real de tal forma que este, se pueda considerar nuevo conocimiento en el sistema, por lo que le permitirá actuar de una mejor forma frente a nuevos inconvenientes y problemas que se puedan generar durante el funcionamiento de la red eléctrica.

4.5 Motor de inferencia

Este componente es importante ya que en él, se deben ejecutar las reglas que se aplican al sistema, en el modelo de sistemas basado en

conocimiento el motor de inferencia ejecuta las reglas hasta alcanzar un estado meta.

En este modelo inteligente de gestión de la energía eléctrica, la función inicial del motor de inferencia es similar al antes mencionado en los sistemas basado en reglas, difiere en que el sistema no puede actuar directamente en la red eléctrica por lo que las reglas se ejecutarán y se registrarán para indicar un mal funcionamiento, enviando la información al operador en donde este debe atender a las necesidades de la red verificando si existe falla en algún dispositivo electrónico o en algún área específica del lugar donde se implementará el sistema con dicho modelo.

El agente humano (operador) aplicará las acciones necesarias dependiendo de la gravedad del mismo, esto permitirá que el sistema regrese a un flujo de consumo en un rango específico, de esta manera el motor de inferencia del modelo inteligente de gestión energética logrará alcanzar estados-metas.

4.6 Registro temporal de alarmas

Los registros temporales de posibles alarmas, tienen como función reunir información a través de las reglas que se aplican en el motor de inferencia.

Lo anterior consiste en que, cuando un patrón es constante, y se ha mantenido de igual forma en un tiempo determinado, y este no afecta el funcionamiento del sistema eléctrico, y no compromete el consumo energético de una forma exagerada es considerado un nuevo conocimiento y es agregado a la nueva base de hechos.

Sin embargo si un patrón está fuera de rango este debe notificarse haciendo énfasis en que se está poniendo en riesgo el funcionamiento adecuado del sistema, el registro se irá actualizando de acuerdo a la gravedad del patrón leído, después de un tiempo si dicho patrón no se registra se borra totalmente del registro sin poder acceder nuevamente a él.

En un inicio el modelo de gestión inteligente de la energía eléctrica consideró desarrollar una

base de alarmas, sin embargo se diseñó como registro temporal para evitar un desborde de datos inicialmente.

Este modelo puede cambiar dicho concepto de ser necesario, siempre pensando que la necesidad depende de la cantidad de espacio en memoria que queremos consumir, y lo importante que es mantener todas las alarmas, o solo aquellas que son directamente relevantes.

En la figura 2, se presenta el modelo propuesto de forma gráfica.

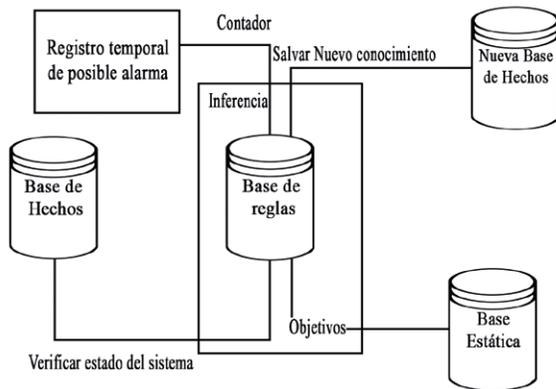


Figura 2. Modelo inteligente final, propuesta fase 1.

5. Discusión

El modelo propuesto, se basa en los paradigmas de inteligencia artificial en su totalidad, buscando desarrollar un sistema con capacidad de comportarse con un grado de inteligencia, cumpliendo con la definición de inteligencia artificial. Es un modelo que conlleva parte de sistemas de control, tomando algunos conceptos como el de seguimiento frente a un modelo de tiempo real, ya que esta facilidad la permiten los sistemas basados en reglas, es importante también mencionar que las redes neuronales pueden ayudar en este tipo de control, por lo que se sugiere poder evaluar para posteriores investigaciones.

Al incorporar nuevos componentes al modelo clásico de sistemas basado en reglas, lo que se busca es que el sistema pueda tener diferentes conocimientos para inferir las alarmas presentes en la red eléctrica, de esta forma estamos intentando que el sistema pueda aprender mediante la observación de las

variables que son captadas por el sistema de visualización SCADA.

El modelo es adaptable, ¿Cómo?, pues al ser un sistema basado en reglas, solo buscamos tener datos numéricos de esta forma al conectarse un dispositivo nuevo debemos direccionar la lectura de dicho componente de forma que el sistema pueda inferir y dar una solución, si tenemos un sensor de temperatura para un lugar donde están alojados servidores y decimos que la temperatura del lugar no debe aumentar de 22 grados Celsius, podemos usar el dato del sensor de temperatura para observar el comportamiento del área, en donde 22 sería nuestro límite para la nueva regla que se incorpora al sistema sin que este afecte el funcionamiento de los otros componentes.

En la actualidad se han desarrollado sistemas como EFIS que permiten el tratamiento de grandes volúmenes de datos e integración con sensores, el modelo propuesto busca romper un poco con la necesidad o dependencia de otros componentes, haciendo que este funcione con datos que puedan ser obtenidos desde una base de datos de un sistema de visualización, como también de una base de datos que contenga datos de dispositivos electrónicos como sensores u otros.

En este mismo concepto se visualiza la nueva tendencia del internet de las cosas en donde la idea radica en conectar cada vez una mayor cantidad de dispositivos y que estos puedan comunicarse entre sí.

De esta forma el modelo propuesto permite esta conectividad, haciendo que se puedan conectar dispositivos e integrarlos todos a través de un solo punto principal, de esta forma el concepto de eficiencia energética y ahorro energético no es solo parte de la ingeniería eléctrica sino también de otras disciplinas como las ciencias de la computación que aportan en el desarrollo de estos tipos de modelos.

6. Conclusiones

El modelo inteligente de gestión de la energía eléctrica, se adapta a las necesidades del entorno permitiendo que este pueda ser funcional con pequeños datos como con grandes datos.

La inteligencia artificial se relaciona con otras disciplinas sin tener límites y no solo como un área específica, es decir, solo en control o en diagnóstico, sino también integrando un poco de cada una para generar un conocimiento nuevo.

La visualización de los sistemas es el primer paso para llegar a controlar y mejorar los procesos, optimizándolos y reduciendo errores y fallas que impiden un funcionamiento adecuado del sistema que se esté monitoreando.

Agradecimiento

Se reconoce el apoyo de la Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales que brindó un espacio de estudio e investigación para lograr este trabajo.

Al Ingeniero Ignacio Chang, director del grupo de investigación de Sistemas de Control Inteligente e Informática Industrial que dio esta gran tarea de realizar este trabajo, en el cual se puede apoyar directamente a su grupo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] José Andrés Somolinos Sánchez. (2002). Avances en robótica y visión por computador. España: Servicio de publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- [2] Mauricio Martínez, Edgardo Santana. (2016). Implementación de un Sistema Inteligente para la Gestión de la Energía Eléctrica, del Edificio #1 del Campus Victor Levi Sasso. Panamá.
- [3] Pedro Ponce Cruz. (2010). Inteligencia Artificial con aplicaciones a la Ingeniería. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- [4] Isasi viñuela P.; Galván León. (2004). Redes de Neuronas Artificiales. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- [5] Palma Méndez, José Tomás Marín Morales, Roque. (2008) Inteligencia artificial: métodos, técnicas y aplicaciones. McGraw-Hill España.
- [6] Benítez, R., Escudero, G., Kanaan, S., & Rodó, D. M. (2014). Inteligencia artificial avanzada. Editorial UOC.
- [7] Rodríguez Penin, Aquilino (2008). Sistemas SCADA, Marcombo.