



UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA
ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
TECNOLOGÍA ESPECÍFICA DE COMPUTACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Sistema Inteligente para la Gestión y Optimización de Energía
basado en la Nube

Pablo Palomino Gómez

Julio, 2019



**UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA
ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA**

Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información

TECNOLOGÍA ESPECÍFICA DE COMPUTACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

**Sistema Inteligente para la Gestión y Optimización de
Energía basado en la Nube**

Autor(a): Pablo Palomino Gómez

Director(a): Luis Jiménez Linares

Director(a): Luis Rodríguez Benítez

Julio, 2019

Sistema Inteligente para la Gestión y Optimización de Energía basado en la Nube
© Pablo Palomino Gómez, 2019

Este documento se distribuye con licencia Creative Commons Atribución Compartir Igual 4.0. El texto completo de la licencia puede obtenerse en <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

La copia y distribución de esta obra está permitida en todo el mundo, sin regalías y por cualquier medio, siempre que esta nota sea preservada. Se concede permiso para copiar y distribuir traducciones de este libro desde el español original a otro idioma, siempre que la traducción sea aprobada por el autor del libro y tanto el aviso de copyright como esta nota de permiso, sean preservados en todas las copias.



TRIBUNAL:

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

FECHA DE DEFENSA: _____

CALIFICACIÓN: _____

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARIO

Fdo.:

Fdo.:

Fdo.:

A mis padres, por inculcarme el valor del esfuerzo
A Nuria, por potenciarlo

Resumen

(... versión del resumen en español ...)

El resumen debe ocupar como máximo una página y en dicho espacio proporcionará información crucial sobre el *‘qué’* (problemática que trata de resolver el TFG), el *‘cómo’* (metodología para llegar a los resultados) y los objetivos alcanzados.

Abstract

(... english version of the abstract ...)

Versión del resumen en inglés. En los trabajos cuyo idioma principal sea el inglés, el orden de Resumen y Abstract se invertirá.

AGRADECIMIENTOS

Aunque es un apartado opcional, haremos bueno el refrán «*Es de bien nacidos, ser agradecidos*» si empleamos este espacio es un medio para agradecer a todos los que, de un modo u otro, han hecho posible que el TFG «llegue a buen puerto». Esta sección es ideal para agradecer a familiares, directores, profesores, compañeros, amigos, etc.

Estos agradecimientos pueden ser tan personales como se desee e incluir anécdotas y chascarrillos, pero nunca deberían ocupar más de una página.

Pablo Palomino Gómez

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| Índice de figuras | XVII |
| Índice de tablas | XIX |
| Índice de listados | XXI |
| Índice de algoritmos | XXIII |
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Objetivos e hipótesis de trabajo | 3 |
| 2.1. Objetivo Principal | 3 |
| 2.2. Objetivos Parciales | 4 |
| 3. Metodología | 7 |
| 4. Resultados | 9 |
| 5. Conclusiones | 11 |
| A. El primer anexo | 13 |
| Bibliografía | 15 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|------------------------------------|---|
| 1.1. Dibujo del sistema | 2 |
| 2.1. Esquema del sistema | 3 |

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE LISTADOS

ÍNDICE DE ALGORITMOS

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía juega un papel muy importante en el progreso y bienestar de la sociedad. Tanto es así, que la demanda energética no deja de crecer, por ello deben llevarse a cabo medidas para reducir el consumo elevado de energía, lo que se conoce como eficiencia energética. La eficiencia energética [7] se refiere al empleo de medios de optimización en la producción y aprovechamiento de la energía, con el objetivo de proteger el medio ambiente. Esto ha pasado a ser una necesidad debido a que las emisiones de CO_2 van en aumento y el cambio climático es un hecho.

Por otro lado, puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, podría llegar el día en el que no se pueda satisfacer la demanda energética, salvo que se apueste por los métodos alternativos de obtención de energía. Es aquí donde entran en juego las energías renovables. Una de ellas es la energía solar [11], que permite el aprovechamiento de la radiación electromagnética del sol. Resulta interesante su estudio, debido a que es tan abundante que se considera inagotable: la cantidad de energía que el Sol vierte diariamente sobre la Tierra es diez mil veces mayor que la consumida al día en todo el planeta. Finalmente, además de ser una energía inagotable, es una energía limpia, una muy buena alternativa a los combustibles fósiles o energía nuclear. Entre las aplicaciones más comunes de la energía solar fotovoltaica se encuentra la producción de energía eléctrica para su inyección en la red eléctrica (mercado eléctrico), abordada en este trabajo fin de grado.

Teniendo en cuenta estos dos antecedentes, existe una motivación a la hora de obtener la energía demandada de la forma mas óptima y limpia posible. Este trabajo se centrará en la creación de un **sistema inteligente** para la gestión de energía de una infraestructura fotovoltaica desde el punto de vista de una empresa distribuidora. En función de un escenario determinado en una hora t (situación meteorológica, precio del kilovatio-hora (kwh) en el mercado eléctrico, nivel de carga de las baterías de almacenaje, etc) se modelará la cantidad de potencia eléctrica recibida por cada una de las entradas. De igual modo, se modelará la cantidad de potencia eléctrica suministrada a cada una de las salidas. Esto se traduce en una optimización y aprovechamiento de la energía. En la Figura 1 se muestra un esquema del sistema donde se identifican desde un alto nivel de abstracción las entradas y salidas.

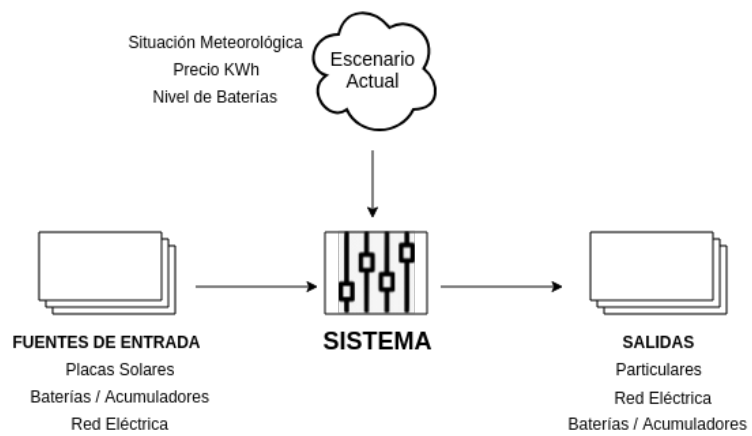


Figura 1.1: Dibujo del sistema

OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal a abordar será la construcción de un simulador para la predicción de la **distribución óptima** de energía entre **elementos generadores** (placas solares, energía almacenada en las baterías de almacenaje, o suministro de la red eléctrica) y **elementos consumidores** (clientes particulares, venta a la red eléctrica, almacenaje, etc) teniendo en cuenta que toda la energía generada debe ser consumida de una u otra forma. Este problema podría ser modelado como un problema de satisfacción de restricciones (PSR). Un problema de satisfacción de restricciones [12] está caracterizado por:

- Un conjunto de variables, donde cada variable dispone de un dominio de valores que puede tomar.
- Un conjunto de restricciones, que permite conocer las posibles combinaciones de las variables.
- La solución al PSR será la asignación de valores a las variables de forma que se satisfacen las restricciones.

Cómo se puede observar en la Figura 2, la funcionalidad del sistema sería la de modelar cada una de las salidas (cantidad de energía a la baterías, C_{bat} ; cantidad de energía al hogar, C_{hogar} ; y cantidad de energía a la red, C_{red}), en función del valor de cada una de las entradas (potencia suministrada de las placas fotovoltaicas, P_{fv} ; potencia suministrada de la red, P_{red} ; y potencia suministrada de las baterías, P_{bat}), que representan el conjunto de variables del problema de satisfacción de restricciones.

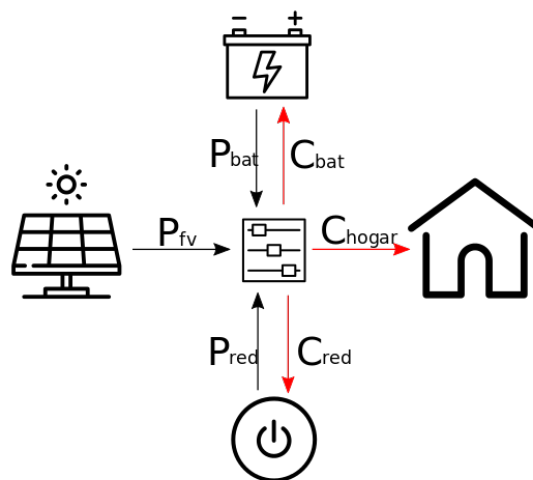


Figura 2.1: Esquema del sistema

2.2. OBJETIVOS PARCIALES

A lo largo del trabajo habrá que satisfacer una serie de subobjetivos necesarios para lograr el objetivo principal tales como:

1. **Identificación y adquisición de los datos y variables que definen el sistema:** Se estudiarán las entradas del sistema y el grado de importancia que tiene cada una en cada situación. La información meteorológica de las próximas 24 horas será obtenida utilizando una API oficial de AEMET [3], y los datos del mercado eléctrico serán obtenidos utilizando la API oficial e-sios de Red Eléctrica de España S.A. [Esios]
2. **Establecer las relaciones y restricciones propias del consumo eléctrico:** Las variables obtenidas en el objetivo anterior estarán sujetas a unas restricciones que nos permitirán conocer las combinaciones posibles de valores, teniendo en cuenta que toda la energía generada debe ser consumida de alguna forma, ya sea por medio de venta a clientes, venta a la red eléctrica, o cargada en baterías de almacenaje.
3. **Añadir una IA para la generación optimizada de energía y dar lugar a una planificación:** Una vez obtenidos los datos y variables del problema y conociendo el grado de implicación de los mismos, se creará un modelo del sistema con una planificación temporal de 24 horas. Esto se podrá llevar a cabo incorporando inteligencia artificial, mediante **redes LSTM** (Long Short Term Memory) [6]. Las redes LSTM son empleadas en problemas de predicción de secuencia, diferentes a otros problemas de aprendizaje supervisado. En una secuencia existe un orden que debe preservarse a la hora de entrenar el modelo y realizar predicciones, como ocurrirá en nuestro caso. Implementar un problema de este tipo con una red neuronal clásica (perceptrón multicapa) es posible pero tiene algunas limitaciones, ya que carece de una estructura temporal y sus entradas son de tamaño fijo. Por su parte, las redes LSTM cuentan con una formulación única que permite evitar problemas que impiden el entrenamiento obteniendo muy buenos resultados. Es por esto que se ha decidido implementar el modelo de predicción a partir de ellas.
4. **Simular la planificación:** Se llevará a cabo la simulación de la planificación realizando un seguimiento y una comprobación de la desviación que se puede haber producido con respecto a los datos reales. A partir de lo deducido en la simulación anterior, se tomará la decisión de ajustar o no el modelo para futuras predicciones.

Introduce y motiva la problemática (i.e. *¿cuál es el problema que se plantea y porqué es interesante su resolución?*)

Debe concretar y exponer detalladamente el problema a resolver, el entorno de trabajo, la situación y qué se pretende obtener. También puede contemplar las limitaciones y condicionantes a considerar para la resolución del problema (lenguaje de construcción, equipo físico, equipo lógico de base o de apoyo, etc.). Si se considera necesario, esta sección puede titularse *Objetivos del TFG e hipótesis de trabajo*. En este caso, se añadirán las hipótesis de trabajo que el alumno pretende demostrar con su TFG.

Una de las tareas más complicadas al proponer un TFG es plantear su Objetivo. La dificultad deriva de la falta de consenso respecto de lo que se entiende por *objetivo* de un trabajo de esta naturaleza. En primer lugar se debe distinguir entre dos tipos de objetivo:

1. La *finalidad específica* del TFG que se plantea para resolver una problemática concreta aplicando los métodos y herramientas adquiridos durante la formación académica. Por ejemplo, «Desarrollo de una aplicación software para gestionar reservas hoteleras on-line».
2. El *propósito académico* que la realización de un TFG tiene en la formación de un graduado. Por ejemplo, la *adquisición de competencias específicas de la especialización cursada*.

En el ámbito de la memoria del TFG se tiene que definir el primer tipo de objetivo, mientras que el segundo tipo de objetivo es el que se añade al elaborar la propuesta de un TFG presentada ante un comité para su aprobación. Este segundo tipo de objetivo no debe incluirse en el apartado correspondiente de la memoria y en todo caso puede valorarse su satisfacción en la sección de resultados y conclusiones.

Un objetivo bien planteado para el TFG debe estar determinado en términos del «*producto final*» esperado que resuelve un problema específico. Es por tanto un sustantivo que debería ser *concreto* y *medible*. El Objetivo planteado puede pertenecer una de las categorías que se indica a continuación:

- *Diseño y desarrollo de «artefactos»* (habitual en las ingenierías),
- *Estudio* que ofrece información novedosa sobre un tema (usual en las ramas de ciencias y humanidades), y
- *Validación de una hipótesis* de partida (propio de los trabajos científicos y menos habitual en el caso de los TFG).

Estas categorías no son excluyentes, de modo que es posible plantear un trabajo cuyo objetivo sea el diseño y desarrollo de un «artefacto» y éste implique un estudio previo o la validación de alguna hipótesis para guiar el proceso. En este caso y cuando el objetivo sea lo suficientemente amplio puede ser conveniente su descomposición en elementos más simples hablando de *subobjetivos*. Por ejemplo, un programa informático puede descomponerse en módulos o requerir un estudio previo para plantear un nuevo algoritmo que será preciso validar.

La descomposición de un objetivo principal en subobjetivos u objetivos secundarios debería ser natural (no forzada), bien justificada y sólo pertinente en los TFG de gran amplitud.

Junto con la definición del objetivo del TFG se puede especificar los *requisitos* que debe satisfacer la solución aportada. Estos requisitos especifican *características* que debe poseer la solución y *restricciones* que acotan su alcance. En el caso de TFG cuyo objetivo es el desarrollo de un «artefacto» los requisitos pueden ser *funcionales* y *no funcionales*.

Al redactar el objetivo de un TFG se debe evitar confundir los medios con el fin. Así es habitual encontrarse con objetivos definidos en términos de las *acciones* (verbos) o *tareas* que será preciso realizar para llegar al verdadero objetivo. Sin embargo, a la hora de planificar el desarrollo del trabajo si es apropiado descomponer todo el trabajo en *hitos* y estos en *tareas* para facilitar dicha *planificación*.

La categoría del objetivo planteado justifica modificaciones en la organización genérica de la memoria del TFG. Así en el caso de estudios y validación de hipótesis el apartado de resultados y conclusiones debería incluir los resultados de experimentación y los comentarios de cómo dichos resultados validan o refutan la hipótesis planteada.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En el proyecto se emplea como metodología software un modelo iterativo e incremental, que da lugar a una toma de decisiones a corto plazo lo que se traduce en ampliar requisitos y soluciones en cada iteración (sprint) en función de las necesidades. Esto proporciona inmediatez y funcionalidad en el proyecto lo que hace que exista una mayor motivación e implicación en el mismo. Además, permite encontrar y solucionar errores a lo largo del trabajo y hace que el cliente esté más implicado debido a las numerosas entregas a lo largo del desarrollo del trabajo.

Como metodología de desarrollo y gestión de proyecto se usará **Extreme Programming (XP)**. La programación extrema [9] es un método ligero de desarrollo iterativo e incremental formulado por Kent Beck. Consta de varios períodos:

Exploración: Período donde el objetivo será identificar, priorizar y estimar los requisitos del trabajo, por lo tanto se obtendrá como salida un documento de especificación de requisitos. El cliente expone sus necesidades y los programadores deben eliminar la ambigüedad para asegurarse de que los objetivos pueden ser alcanzados.

Punto de Fijación: Se trata de una prueba rápida para profundizar en un determinado aspecto. Este punto se puede concretar durante la exploración o en cualquier otro momento en el que el equipo necesite resolver una cuestión.

Planificación de la Versión: Cada versión del sistema proporciona un valor de negocio al cliente, quien, en cada planificación de versión, selecciona las historias o requisitos que van a ser implementados. Esto proporciona el máximo valor de negocio aunque no sea lo más acertado técnicamente.

Planificación de la Iteración: Cada versión se divide en varias iteraciones. La longitud de iteración del trabajo se decide al principio y se mantiene constante durante el desarrollo. El equipo proporciona al cliente una estimación que representa cuanto trabajo se puede hacer en la iteración y el cliente selecciona que es lo que se implementará durante la iteración. Por lo tanto, se mantiene el marco de trabajo anteriormente mencionado en la planificación de la versión.

Desarrollo: El software se desarrolla para un caso de prueba. Cuando éste consigue satisfacerse se pasa al siguiente caso de prueba. Para integrar el código en el sistema principal se deben satisfacer todas las pruebas. Durante el desarrollo el equipo no debe intentar anticiparse a tareas futuras, solo centrarse en la tarea actual.

RESULTADOS

En esta sección se describirá la aplicación del método de trabajo presentado en el capítulo 3 en este caso concreto, mostrando los elementos (modelos, diagramas, especificaciones, etc.) más importantes. Este apartado debe explicar cómo la metodología satisface los objetivos y requisitos planteados.

CONCLUSIONES

En este capítulo se realizará un juicio crítico y discusión sobre los resultados obtenidos. Si es pertinente deberá incluir información sobre trabajos derivados como publicaciones o ponencias, así como trabajos futuros, solo si estos están planificados en el momento en que se redacta el texto. Además incluirá obligatoriamente la explicación de cómo el trabajo realizado satisface las competencias de la tecnología específica cursada.

EL PRIMER ANEXO

En los anexos se incluirá de modo opcional material suplementario que podrá consistir en breves manuales, listados de código fuente, esquemas, planos, etc. Se recomienda que no sean excesivamente voluminosos, aunque su extensión no estará sometida a regulación por afectar esta únicamente al texto principal.

Bibliografía Esta sección, que si se prefiere puede titularse «Referencias», incluirá un listado por orden alfabético (primer apellido del primer autor) con todas las obras en que se ha basado para la realización del TFG en las que se especificará: autor/es, título, editorial y año de publicación. Solo se incluirán en esta sección las referencias bibliográficas que hayan sido citadas en el documento. Todas las fuentes consultadas no citadas en el documento deberían incluirse en una sección opcional denominada «Material de consulta», aunque preferiblemente estas deberían incluirse como referencias en notas a pie de página a lo largo del documento.

Se usará método de citación numérico con el número de la referencia empleada entre corchetes. La cita podrá incluir el número de página concreto de la referencia que desea citarse. Debe tenerse en cuenta que el uso correcto de la citación implica que debe quedar claro para el lector cuál es el texto, material o idea citado. Las obras referenciadas sin mención explícita o implícita al material concreto citado deberían considerarse material de consulta y por tanto ser agrupados como «Material de consulta» distinguiéndolas claramente de aquellas otras en las que si se recurre a la citación.

Cuando se desee incluir referencias a páginas genéricas de la Web sin mención expresa a un artículo con título y autor definido, dichas referencias podrán hacerse como notas al pie de página o como un apartado dedicado a las «Direcciones de Internet».

Todo el material ajeno deberá ser citado convenientemente sin contravenir los términos de las licencias de uso y distribución de dicho material. Esto se extiende al uso de diagramas y fotografías. El incumplimiento de la legislación vigente en materia de protección de la propiedad intelectual es responsabilidad exclusiva del autor del trabajo independientemente de la cesión de derechos que este haya convenido. De este modo será responsable legal ante cualquier acción judicial derivada del incumplimiento de los preceptos aplicables. Así mismo ante dicha circunstancia los órganos académicos se reservan el derecho a imponer al autor la sanción administrativa que se estime pertinente.

Índice temático Este índice es opcional y se empleará como índice para encontrar los temas tratados en el trabajo. Se organizará de modo alfabético indicando el número de página(s) en el que se aborda el tema concreto señalado.

BIBLIOGRAFÍA

FUENTES ONLINE

- [1] Red Eléctrica de España S.A. *API Rest e-sios Docs*. 2010. URL: <https://www.esios.ree.es/es/pagina/api> (visitado 15-01-2019).
- [2] IBM. *IBM Cloud Docs*. 2016. URL: <https://console.bluemix.net/docs/overview/ibm-cloud-platform.html> (visited on 12/28/2018).
- [3] Agencia Estatal de Meteorología. *API Rest AEMET OpenData Docs*. 2010. URL: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio> (visitado 27-12-2018).
- [4] Armin Ronacher. *Flask Docs*. 2015. URL: <http://flask.pocoo.org/docs/1.0/> (visited on 12/20/2018).

FUENTES NO ONLINE

- [5] Sujit Pal. Antonio Gulli. *Deep Learning with Keras*. Packt Publishing Ltd., 2007.
- [6] Jason Brownlee. *Long Short-Term Memory Networks With Python. Develop Sequence Prediction Models With Deep Learning*. eBook v1.0, 2007.
- [7] Juan Manuel García Sánchez. *Gestión de la eficiencia energética : cálculo del consumo, indicadores y mejora*. AENOR, D.L., 2012.
- [8] John Goerzen. *Foundations of Python Network Programming*. 1st ed. Apress, 2004.
- [9] Robert C. Martin James Newkirk. *La Programación Extrema en la Práctica*. ADDISON WESLEY, Pearson Educación S.A., 2002.
- [10] Adrian Mouat. *Using Docker*. O'REILLY, 2015.
- [11] Perpiñán O. *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos*. Progensa, 2012.
- [12] Norving P. Russell S. *Inteligencia Artificial, un enfoque moderno*. 2.^a ed. Prentice Hall, 2006.

