



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
4.1. Identificación y adquisición de las variables del sistema	9
4.1.1. Variables de entrada	9
4.1.2. Variables de salida	11
4.1.3. Variables de control	12
4.2. Aplicación de lógica difusa para la determinación de los estados meteorológicos	13
4.3. Creación de las relaciones y restricciones propias del modelo	13
4.4. Generación optimizada de energía mediante programación lineal	13
4.5. Persistencia de datos y creación del servidor	13
5. Conclusiones	15
A. El primer anexo	17
Bibliografía	19

ÍNDICE DE FIGURAS

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

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE LISTADOS

4.1. Función para obtener los valores meteorológicos	10
4.2. Función para obtener los valores del precio eléctrico	11

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 [9] 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 [13], 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.

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. Además, también debe tenerse en cuenta el factor económico. Actualmente la mayoría de particulares tienen una única fuente de suministro de energía que vendría a ser la compañía eléctrica de la cuál son clientes, importando la totalidad de la energía que su hogar demanda a dicha compañía, a un precio establecido PVPC [2] (Precio voluntario al pequeño consumidor) que representa el precio máximo de referencia que pueden contratar los consumidores con hasta 10 Kwh de potencia contratada. Su valor tiene una discriminación horaria, lo que hace que en las horas de mayor consumo el precio sea mas alto. Sería interesante poder reducir la cantidad de energía que se obtiene de esta fuente en las horas pico (horas de máximo consumo donde el PVPC suele alcanzar el valor alto) y obtenerla de otra fuente cuyo precio sea menor, para así obtener un promedio mucho mas barato que con una única fuente de energía. Esto se puede lograr añadiendo nuevas fuentes al hogar, como puede ser la instalación de placas fotovoltaicas. Visto así parece muy sencillo y demasiado bueno para ser cierto, pero en el año 2015 mediante el Real Decreto 900/2015 [1] se establecieron unas condiciones para la instalación de placas fotovoltaicas, lo que se conoce coloquialmente como el impuesto al sol". Por suerte, para potencias contratadas no superiores a 10 Kwh, no se pasa este impuesto, así que no es problema para el desarrollo y aplicación del sistema. Para tener el mínimo gasto posible, habría que obtener la cantidad óptima de cada una de las fuentes en cada momento, lo que supone un oficio tedioso y difícil para el ser humano. Afortunadamente para esta problemática, estamos inmersos en la era digital y las tecnologías de la información e inteligencia artificial están en auge. La inteligencia artificial [14] es la ciencia encargada de construir máquinas que:

- Piensan como humanos
- Piensan racionalmente

- Actúan como humanos
- Actúan racionalmente

Por lo tanto la inteligencia artificial podría abordar el problema definido anteriormente, mediante un sistema inteligente que se encargue de la gestión de energía automáticamente. Un sistema inteligente [14] es un sistema que aprende durante su existencia como actuar para alcanzar sus objetivos, en un entorno que le rodea.

Con todo lo expuesto antes, se puede concluir en que este trabajo se centrará en la creación de un **sistema inteligente** para la gestión de energía en el hogar de la manera más óptima y eficiente posible. 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 energía eléctrica recibida por cada una de las entradas. De igual modo, se modelará la cantidad de energía eléctrica suministrada a cada una de las salidas. Esto se traduce en una optimización y aprovechamiento de la energía, que además tiene como consecuencia un ahorro económico en la obtención de la energía necesaria. En la Figura 1 se muestra un esquema del sistema donde se identifican desde un alto nivel de abstracción las entradas y salidas.

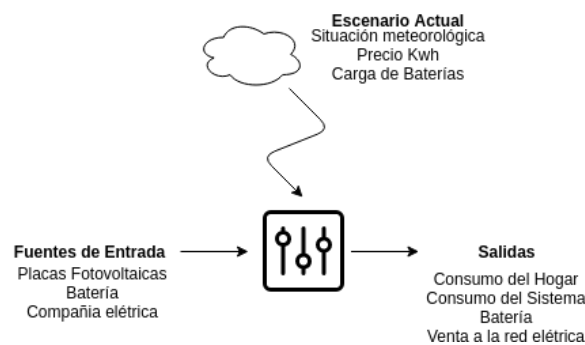


Figura 1.1: Dibujo del sistema

OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal a abordar será la construcción de un sistema inteligente para la simulación y predicción de la **distribución óptima** de energía entre **elementos generadores** y **elementos consumidores** en el hogar teniendo en cuenta que toda la energía generada debe ser consumida de una u otra forma.

El objetivo del sistema es ajustar en cada momento la cantidad de energía obtenida de cada elemento de los mencionados anteriormente con el objetivo de minimizar el gasto económico dedicado en el hogar. Este objetivo puede ser abordado como un problema de satisfacción de restricciones (PSR). Un problema de satisfacción de restricciones [14] 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 y se alcanza el objetivo.

Cómo se puede observar en la Figura 2, la funcionalidad del sistema sería la de modelar cada una de las salidas en función del valor de cada una de las entradas, que representan el conjunto de variables del problema de satisfacción de restricciones, el cuál se definirá mas adelante.

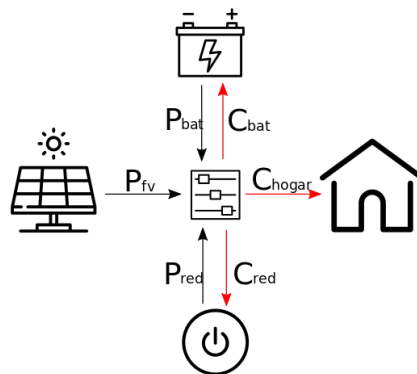


Figura 2.1: Esquema del sistema

En este sistema las fuentes de suministro de energía (entradas) son:

- Módulos fotovoltaicos
- Red eléctrica

- Baterías de almacenaje

Como fuentes de consumo (salidas) existen:

- Consumo energético del hogar
- Consumo propio del sistema que se propone
- Carga de baterías de almacenaje
- Venta al mercado eléctrico como particular

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:** Estudio de las entradas del sistema y el grado de importancia que tiene cada una en cada situación. La información meteorológica será obtenida utilizando una API oficial de AEMET [5], 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 la red, o cargada en baterías de almacenaje en caso de superar la energía demandada por el consumo que se realiza.
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 que dará una planificación temporal de 24 horas. Esto se podrá llevar a cabo incorporando inteligencia artificial.
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 [11] 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.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En este capítulo se explican los resultados obtenidos en cada uno de los sprints del desarrollo del trabajo y cómo se relacionan con los objetivos definidos.

[... Hablar acerca de los sprints, que se va a hacer ...]

4.1. IDENTIFICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA

En el primer sprint se busca identificar cada una de las variables que entran en juego en el sistema. Se debe tener clara la diferencia entre variables de entrada y salida y variables de control.

4.1.1. Variables de entrada

Son las fuentes de suministro de energía al sistema. Tendremos tres:

- **Energía fotovoltaica (EF)**
Energía procedente de las placas solares. Su valor viene determinado por varios factores, como son el número de módulos fotovoltaicos instalados y la máxima potencia posible en cada momento, *current module power* (CMP). Hace referencia a la potencia de salida, en vatios que produce un panel fotovoltaico en condiciones de máxima iluminación solar, con una radiación de aproximadamente 1 kW/m². Será dependiente de la situación meteorológica del momento, de cuya obtención se hablará mas adelante. Como se puede observar, tendrá un valor máximo de obtención, que representa el tope de energía que podemos obtener de los módulos fotovoltaicos en ese momento.
- **Energía de red (ER)**
Energía procedente de la compañía eléctrica como cliente particular. Al contrario que en el caso anterior, no existe un límite superior a la hora de obtener energía de esta fuente.
- **Energía almacenada en batería (EB)**
Energía obtenida de la batería de almacenaje, que se ha guardado previamente para su posterior uso cuando el resto de fuentes de entrada tengan un mayor costo. Al igual que la energía fotovoltaica tiene un límite superior y viene determinado por la cantidad de carga de la misma y la profundidad de descarga que se le puede realizar sin resultar perjudicial para su ciclo de vida, que debe ser de un 50 % como máximo.

Cómo se ha mencionado, la energía fotovoltaica en una hora t será dependiente de la situación meteorológica de esa hora, algo evidente. Para obtener dicha información se utiliza la API oficial de AEMET [5]. Una API (*Application Programming Interface*) es un conjunto de reglas o especificaciones que permite a las aplicaciones proporcionar servicios a otras o comunicarse. Para su uso, se ha debido solicitar un **API**

key ya que es una API cerrada, esto es, su uso está restringido a un conjunto cerrado de clientes. Para realizar una petición a la misma, debe incluirse el *API key* mencionado anteriormente en la url solicitada, así como una serie de parámetros como el código del municipio que se desea consultar. La respuesta a la petición contiene la previsión meteorológica de las próximas 24 horas en ese municipio.

Para esta funcionalidad se ha creado el módulo *api_aemet*, que contiene la función *get_weather*, la cual se muestra en el listado 4.1. Nótese que la url para la petición es obtenida como una constante de *const*,

Listado 4.1: Función para obtener los valores meteorológicos

```

1 def get_weather (city):
2     weather_buffer = []
3     url = const.AEMET_URL.replace('$CITY', city)
4     response = requests.get(url)
5     data = response.json()
6
7     if data['estado'] == 200:
8         url = data['datos']
9         response = requests.get(url)
10        data = response.json()[0]
11        weather_buffer = create_weather_buffer(data)
12    return weather_buffer
13

```

alias que hace referencia al módulo de constantes del proyecto: *project_constants*. Este método realiza una petición a la API mediante la librería *requests* [0], y en caso de obtener un código de éxito (código de estado http 200), procesa la respuesta en la función **create_weather_buffer** y devuelve una lista con los 24 estados meteorológicos, correspondientes a las 24 horas de la simulación, del tipo: ["Despejado", "Poco Nuboso", "Despejado", ..., "Despejado"]

Las variables de entrada no son excluyentes, es decir, se puede obtener un tanto por ciento de la energía requerida procedente de cada una de ellas, lo que vendrá determinado por el precio en ese momento de cada una, ya que lo que buscamos es minimizar el gasto producido. A continuación se muestra el modo de determinación de los precios de las variables de entrada en una hora *t*:

El precio de la energía fotovoltaica se calcula a partir de la inversión realizada en la instalación de los módulos fotovoltaicos y la cantidad de años en los que se desea amortizar dicha inversión. Así, el precio en €/Kw de EF se toma a partir de la fórmula 4.1

$$Costo_{EF} = \frac{coste_{anual}}{promedio_{anual}^{kw}} \text{ €/kw} \quad (4.1)$$

Siendo el coste anual la cantidad invertida entre el número de años(*n*) en amortizarla (Fórmula 4.2)

$$Coste_{anual} = \frac{inversion}{n} \text{ €} \quad (4.2)$$

El precio de la energía de red es el ya comentado PVPC. Para obtenerlo, se hace uso de la **API oficial de Red Eléctrica de España (e-sios)** [3]. Para su uso se ha debido solicitar un *Token* de acceso que se utiliza en las llamadas a la misma, al tratarse de una API cerrada análogamente al caso de la API de AEMET. Para el procesado de esta API se ha creado el módulo *api_esios*, que contiene la función *get_incoming_prices*, la cuál se muestra en el listado 4.2.

Esta función es llamada desde el proyecto con el indicador deseado, que se corresponde con el precio que se desea consultar (en este caso PVPC), cuyo código numérico es obtenido de las constantes del proyecto, al igual que la url necesaria para la petición (ESIOS_URL), que se forma con los parámetros

Listado 4.2: Función para obtener los valores del precio eléctrico

```

1  def get_incoming_prices(indicator, start, end):
2      url = const.ESI0S_URL.replace('$INDICATOR', indicator)
3      url = url.replace('$START_DATE', dt.datetime.strftime(start, ←
      ↪ '%Y/%m/%d'))
4      url = url.replace('$END_DATE', dt.datetime.strftime(end, ←
      ↪ '%Y/%m/%d'))
5
6      response = requests.get(url, headers=HEADERS)
7      if response.status_code == 200:
8          data = response.json()
9          price_buffer = create_price_buffer(data, start)
10         return price_buffer
11     return None

```

adecuados y se realiza la petición *get* haciendo uso de la librería *requests* [0]. En este caso el *API key* no se concatena en la url, si no que debe incluirse en la cabecera de la petición en un campo específico, ya que se trata de una autenticación por token como tal. Si la petición ha sido exitosa (código de respuesta http 200), la función retornará un *buffer* de tamaño 24, que se corresponde con los valores del PVPC en las 24 horas definidas en la simulación. Para ello llama a *create_price_buffer*, que se encargará de generar la lista con los 24 valores del precio solicitado procesando la respuesta recibida de la petición a la API. De esta manera se consigue el precio por Kw de la energía de red en cada momento.

Por último, el precio de la energía de baterías se puede calcular de un modo muy parecido al de la energía fotovoltaica. Hace referencia al coste que supone extraer energía almacenada en la batería y está relacionado con la inversión realizada en la batería.

$$Costo_{EB} = \frac{coste_{anual}}{capacidad_{bat} \cdot 182,5} \text{ €/kw} \quad (4.3)$$

Habiendo obtenido previamente el coste anual de forma similar a la fórmula 4.2. La constante 182,5 hace referencia al número de días del año (365) multiplicado por 0,5, debido a que no se va a realizar una profundidad de descarga mayor al 50 % de la capacidad total de la batería. El valor obtenido es el precio que supone recoger 1 Kw de la batería.

4.1.2. Variables de salida

Representan las fuentes de consumo de energía del sistema. Habrá un total de cuatro:

- **Consumo del hogar (C)**

Demanda energética del hogar en cuestión, cuantía que debe ser satisfecha siempre, ya que es el uso de energía que necesita el hogar para su uso cotidiano.

- **Consumo interno del sistema (C_{int})**

El sistema propuesto tiene un consumo constante de funcionamiento, cuyo valor se ha estimado en aproximadamente 2 Kw al día, alrededor de unos 0,088 vatios por hora. Consta del consumo por funcionamiento de placas fotovoltaicas y realización de carga y descarga de batería.

- **Carga de batería (CB)**

Cantidad de energía que se almacena en la batería para su posterior uso (almacenaje en batería). Esta variable cobra sentido en el caso de un abaratamiento de alguna fuente de generación de energía, lo que propicia que se obtenga más de la necesitada y se almacene para cuando el precio sea mayor.

- **Vertido al mercado eléctrico (CR)**

Cantidad de energía que se vende al mercado eléctrico. Como particular, se puede disponer de una

instalación fotovoltaica y verter energía a la red eléctrica, aunque es una práctica sujeta a numerosas trabas legales y dificultades en las que no se entrará en el desarrollo de este trabajo fin de grado. Esta energía se vertería al intramercado de red conocido como el mercado SPOT, aquel donde los activos que se compran o venden se entregan al precio de mercado del momento de la compra/venta.

Como se puede observar, el vertido al mercado eléctrico es un consumo que tiene un beneficio económico que ha de tenerse en cuenta. Existe una retribución por Kw vertido a la red dependiente del momento del día, ya que como se ha comentado antes, el valor de compra/venta del mercado SPOT varía. Para la obtención de estos valores se vuelve a hacer uso de la ya mencionada API e-sios, proporcionando a la función `get_incoming_prices` el indicador del precio SPOT, presente en el fichero de constantes del proyecto. Análogo a la obtención del PVPC, se retorna un buffer con los 24 valores requeridos del precio SPOT correspondientes a las 24 horas a simular.

Aunque a priori parezca que el hecho de cargar las baterías no tiene una compensación económica, esto no es del todo correcto. Existe un beneficio económico, aunque no directo, con esta práctica. Puede ser explicado como la cantidad ahorrada por almacenar esa energía y no consumirla, ya que se ha pagado por ella. Este valor puede verse como el mínimo de los precios de las fuentes de generación de energía en el momento de la carga. Veamos un breve ejemplo:

En la hora t se ha obtenido energía fotovoltaica a un precio de 0,11 € el Kwh. Por otro lado, se ha obtenido energía de la compañía eléctrica contratada a un precio de 0,14 € el Kwh. El beneficio económico indirecto por cargar un Kw de energía en batería en esta hora t será de 0,11 €.

4.1.3. Variables de control

Los valores de las variables definidas anteriormente son los que se intentan optimizar, pero existe otro conjunto de variables conocido como las variables de control. Aunque se denotan como variables, en el caso concreto de una simulación son constantes, ya que sus valores están predefinidos para la simulación del modelo. Este conjunto está formado por los valores de los que dependen las variables de entrada y salida y en función de los que se busca una optimización, y caracterizan tanto la simulación como la situación en una hora determinada.

Este conjunto está formado por:

- **Fecha de inicio**

Valor que hace referencia al inicio de la simulación. Este valor es representado mediante el módulo `datetime` de Python. `Datetime [0]` es un módulo de la librería estándar de Python que permite manipular y trabajar con fechas. Este valor será un día y una hora de ese día.

- **Fecha de fin**

Corresponde al fin de la simulación. Siempre será 24 horas a partir de la fecha de inicio. Al igual que el anterior, se representa haciendo uso de `datetime`.

- **Número de módulos fotovoltaicos**

El número de módulos fotovoltaicos juega un papel fundamental. A mayor número de módulos, se producirá mas energía, pero mayor deberá ser la inversión para adquirirlos.

- **Precio de un módulo fotovoltaico**

En este trabajo el tipo de módulo fotovoltaico sera el se suele usar a nivel particular, de tamaño pequeño, con una potencia nominal en condiciones ideales de 50 watios hora. Este modulo tiene un precio por unidad de 40 €, por lo tanto este valor tendrá el mismo valor en todas las simulaciones.

- **Años en amortizar la inversión de los módulos fotovoltaicos**

El número de años en los que se desea amortizar la inversión realizada en la adquisición de los

módulos fotovoltaicos, exclusivamente mediante su uso. Como se ha comentado anteriormente, no es algo trivial ya que determinará en gran medida el precio de extracción de energía fotovoltaica.

- **Precio de la batería**

En este trabajo el tipo de batería usado será una batería estacionaria compuesta por plomo abierto y gel. Este tipo de batería esta compuesta por dos vasos de 2V cada uno que disponen de un amplio rango de autonomía y una vida útil bastante larga, alrededor de unos 20 años. Son aconsejadas en instalaciones con un consumo medio (microondas, horno, lavadora, aire acondicionado, etc), es decir, perfectas para un hogar de tamaño normal. Como su tensión es de 2V, se debe instalar un total de 6 vasos en serie, al estar la instalación solar a 12V. Su precio es elevado debido a la gran capacidad, siendo un precio de 7900 € el de la obtención de los 6 vasos.

- **Capacidad de la batería**

El tipo de batería usado, es decir, batería estacionaria de 6 vasos, tiene una capacidad total de aproximadamente 21 Kw. La profundidad de descarga de este tipo de batería es aproximadamente del 50 %, esto es, como se comento durante la explicación de las variables de entrada y salida, el tanto por ciento que se puede descargar dicha batería sin resultar perjudicial para su salud y por lo tanto afectar a su ciclo de vida útil.

- **Nivel de carga inicial de la batería**

Variable de control que define el estado inicial de la batería a la hora de realizar la simulación del modelo. Esto es la cantidad de energía que tiene almacenada la misma.

- **Años en amortizar la inversión de la batería**

Como ocurre en el caso de la inversión fotovoltaica, se debe determinar el número de años en los que se desea realizar la amortización de la inversión por adquirir la batería. Al tratarse de un valor mucho mas elevado debe ser mucho mayor al del caso anterior, ya que si no se dispararía el precio de descargar las baterías y dejaría de ser una entrada a tener en cuenta al no resultar rentable.

Con esto quedan identificadas cada una de las variables que entran en juego en el modelo, así como su medio de adquisición.

4.2. APLICACIÓN DE LÓGICA DIFUSA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS ESTADOS METEOROLÓGICOS

4.3. CREACIÓN DE LAS RELACIONES Y RESTRICCIONES PROPIAS DEL MODELO

4.4. GENERACIÓN OPTIMIZADA DE ENERGÍA MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL

4.5. PERSISTENCIA DE DATOS Y CREACIÓN DEL SERVIDOR

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] Ministerio de Energía. *Real Decreto 900/2015*. 2015. URL: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-10927&p=20181006&tn=0> (visitado 26-03-2019).
- [2] Red Eléctrica de España. *Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor*. 2014. URL: <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/precio-voluntario-pequeno-consumidor-pvpc> (visitado 25-03-2019).
- [3] Red Eléctrica de España S.A. *API Rest e-sios Docs*. URL: <https://www.esios.ree.es/es/pagina/api> (visitado 15-01-2019).
- [4] IBM. *IBM Cloud Docs*. 2016. URL: <https://console.bluemix.net/docs/overview/ibm-cloud-platform.html> (visited on 12/28/2018).
- [0] Kennethreitz. *Requests: HTTP for Humans*. URL: <http://docs.python-requests.org/en/master> (visited on 03/28/2019).
- [0] Python Standard Library. *datetime — Basic date and time types*. URL: <https://docs.python.org/3/library/datetime.html> (visited on 03/28/2019).
- [5] Agencia Estatal de Meteorología. *API AEMET OpenData Docs*. URL: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio> (visitado 27-12-2018).
- [6] Armin Ronacher. *Flask Docs*. 2015. URL: <http://flask.pocoo.org/docs/1.0/> (visited on 12/20/2018).

FUENTES NO ONLINE

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

