

Trabajo Fin de grado  
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Desarrollo de aplicación en Python para simulación y análisis del mercado eléctrico

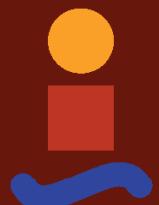
Autor: David Saborido del Castillo-Luna

Tutores: Ángel Luis Trigo García,

Juan Manuel Roldán Fernández

Dpto. Ingeniería Eléctrica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Desarrollo de aplicación en Python para simulación y análisis del mercado eléctrico**

Autor:

David Saborido del Castillo Luna

Tutores:

Ángel Luis Trigo García

Profesor Titular

Juan Manuel Roldán Fernández

Profesor Sustituto Interino

Dpto. de Ingeniería Eléctrica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado: Desarrollo de aplicación en Python para simulación y análisis del mercado eléctrico

Autor: David Saborido del Castillo Luna  
Tutores: Ángel Luis Trigo García,  
Juan Manuel Roldán Fernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal



*A mi familia  
A mis maestros*



# Agradecimientos

---

Me gustaría agradecer este proyecto a mi familia, en especial a mis padres. A mi madre por su preocupación para que siempre esté feliz y me encuentre bien, por darme su cariño incondicional, por su gran esfuerzo, por comprenderme y animarme para conseguir mi meta. A mi padre por su gran esfuerzo y dedicación para que sus dos hijos tuviesen estudios. Él me ha enseñado el trabajo duro, el esforzarme y mejorar todos los días, siempre con buenos consejos y mi gran apoyo en mis peores momentos. Gracias a mis padres por enseñarme y ser la persona que soy.

Mi hermano esa gran persona que siempre he admirado, tanto por su conocimiento como por su actitud. Es mi referencia y la causa por la que he estudiado ingeniería como él. Siempre ha estado conmigo, ha cuidado de mí y me ha dado sus mejores consejos, para que yo evolucione como persona y profesional. Agradecer a Bianca, por ayudarme con el inglés, siempre estar para cualquier problema y preocuparse por mí, y como olvidar a mi sobrino que es lo que más quiero y me hace sonreír.

A mi novia Rosa, muchas gracias por ser la luz de la noche más oscura y por estar tantos años a mi lado. Siempre me has animado, me has sacado una sonrisa cuando más lo necesitaba, me has levantado cuando me he caído, me has dado tu apoyo incondicional y me has ayudado en todo lo que he necesitado. De nuevo te doy las gracias por ser tan perseverante, por confiar en mí, por ser una gran abogada y una persona admirable, eres la razón por la que me esfuerzo cada día para ser mejor persona y profesional.

Y por último a mis suegros, cuñado y compañeros de la carrera que me han apoyado y me han animado en todos estos años que llevamos juntos.



# **Resumen**

---

En este proyecto se crea una herramienta de escritorio mediante el lenguaje de programación Python y la herramienta GUI multiplataforma Qt, para obtener la casación de ofertas de venta y de adquisición de energía eléctrica. Esta herramienta sirve para simular, de manera simplificada, el proceso de casación que tiene lugar en el mercado Mibel (España y Portugal).

Con el fin de averiguar el comportamiento del sector eléctrico, se representa de forma gráfica las ofertas de venta y adquisición según la curva agregada de oferta y demanda y se utiliza la herramienta creada para prever los precios de la electricidad modificando la energía ofertada.

Esta previsión se hace en base al escenario que el usuario quiera realizar. Un escenario importante es en el que las energías renovables asumen el principal peso de la cobertura de energía eléctrica, eliminando las ofertas de las centrales térmicas convencionales o eliminando las ofertas de las centrales nucleares.



# **Abstract**

---

In this project, a desktop tool is created by means of the Python programming language and the multi-platform GUI tool Qt, to obtain the matching of sale offers and electric power acquisition. This tool serves to simulate, in a simplified way, the matching process that takes place in the Mibel market (Spain and Portugal).

In order to determine the behavior of the electricity sector, the sale and acquisition offers are represented graphically according to the aggregate supply and demand curve and the tool created to forecast the prices of electricity is used, modifying the energy offered.

This forecast is made based on the scenario that the user wants to perform. An important scenario is in which renewable energies assume the main weight of electric power coverage, eliminating the offers of conventional thermal power plants or eliminating offers from nuclear power plants.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>x</b>
<b>Resumen</b>	<b>xii</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiv</b>
<b>Índice</b>	<b>xvi</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xix</b>
<b>1 Objetivos del Trabajo Fin de Grado</b>	<b>1</b>
<b>2 Mercado Eléctrico Español</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Mercado diario</i>	4
2.2 <i>Agentes de energía en el mercado diario</i>	4
2.3 <i>Ofertas del mercado diario</i>	6
2.3.1 Ofertas simples	6
2.3.2 Ofertas Complejas	6
2.4 <i>Presentación de ofertas de venta o adquisición</i>	7
2.5 <i>Procedimiento de casación de ofertas</i>	8
2.5.1 Determinación de la curva de oferta	9
2.5.2 Determinación de la curva de demanda	9
2.5.3 Procedimiento de casación	10
2.6 <i>Liquidación</i>	11
2.6.1 Derechos de cobros	12
2.6.2 Obligaciones de pagos	12
<b>3 Que es Python</b>	<b>13</b>
3.1 <i>Lenguaje interpretado</i>	13
3.2 <i>Tipado dinámico</i>	13
3.3 <i>Fuertemente tipado</i>	13
3.4 <i>Multiplataforma</i>	14
3.5 <i>Orientada a objetos</i>	14
3.6 <i>Características importantes de Python</i>	14
<b>4 ¿Por Qué Python?</b>	<b>15</b>
<b>5 Instalación de Python</b>	<b>17</b>
<b>6 El entorno de desarrollo</b>	<b>19</b>
6.1 <i>Como Instalar PyCharm en Windows</i>	19
<b>7 Instalación de las librerías</b>	<b>25</b>
7.1 <i>NumPy</i>	25
7.2 <i>Matplotlib</i>	26
7.3 <i>SciPy</i>	26
7.4 <i>PyQt5</i>	27
7.5 <i>Pandas</i>	28
<b>8 Manual de Usuario del Programa EMELEC</b>	<b>31</b>
8.1 <i>Interfaz de Usuario: Pantalla principal</i>	31

8.1.1	Barra de menú	33
8.1.2	Toolbar	34
8.1.3	Ventana principal	34
8.1.4	Statusbar	35
<b>8.2</b>	<b>Archivos</b>	<b>36</b>
8.2.1	Unificador de archivos	37
8.2.2	Abrir	41
8.2.3	Salir	44
<b>8.3</b>	<b>Datos Históricos</b>	<b>44</b>
8.3.1	Precio horario del mercado diario	45
8.3.2	Curva agregada de oferta y demanda	52
<b>8.4</b>	<b>Herramientas</b>	<b>55</b>
8.4.1	Estudio por Tecnología	55
8.4.2	Simulador de Mercado Mibel simple	72
<b>8.5</b>	<b>Ventana</b>	<b>79</b>
8.5.1	Datos de UOF's	80
8.5.2	Maximizar	82
8.5.3	Minimizar	82
<b>8.6</b>	<b>Ayuda</b>	<b>83</b>
8.6.1	Acerca de...	84
<b>9</b>	<b>Realización de pruebas</b>	<b>85</b>
9.1	<i>Ejemplo de unificador de archivos</i>	85
9.2	<i>Ejemplo de cargar un DataFrame</i>	85
9.3	<i>Ejemplo de funcionamiento de precios de mercados</i>	86
9.4	<i>Ejemplo de obtención de las curvas agregadas de oferta y demanda</i>	88
9.5	<i>Ejemplo de obtención de las gráficas de estudio por tecnología</i>	89
9.6	<i>Ejemplo de obtención de las gráficas del simulador de mercado simple</i>	90
<b>10</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>93</b>
10.1	<i>Conclusiones</i>	93
<b>11</b>	<b>Propuestas de Mejoras</b>	<b>95</b>
11.1	<i>Descargador de archivos automático</i>	95
11.2	<i>Algoritmo Euphemia</i>	95
11.3	<i>Mejoras en el simulador</i>	95
11.4	<i>Machine learning</i>	95
11.5	<i>Informes</i>	95
11.6	<i>Añadir combo de UOF's</i>	96
<b>Referencias</b>		<b>97</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>Figura 1 Ordenación de ofertas de venta y de adquisición.....</i>	10
<i>Figura 2: Welfare.....</i>	10
<i>Figura 3: Instalación de la herramienta PyCharm .....</i>	20
<i>Figura 4: Instalación de la herramienta PyCharm 2 .....</i>	20
<i>Figura 5: Configuración de PyCharm paso 4.....</i>	21
<i>Figura 6: Configuración de PyCharm paso 5.....</i>	21
<i>Figura 7: Configuración de PyCharm paso 6.....</i>	22
<i>Figura 8: Configuración de PyCharm paso 7.....</i>	23
<i>Figura 9: Pantalla de Qt Designer .....</i>	28
<i>Figura 10: Pantalla principal EMELEC [22] .....</i>	32
<i>Figura 11: Opciones de maximización, minimización y cerrar .....</i>	32
<i>Figura 12: Funcionalidades de la interfaz .....</i>	33
<i>Figura 13: Posición del toolbar en la interfaz .....</i>	34
<i>Figura 14: Posición de la pantalla principal en la interfaz .....</i>	35
<i>Figura 15: Posición de la statusbar en la interfaz .....</i>	36
<i>Figura 16: Pestaña de Archivos.....</i>	37
<i>Figura 17: Pestaña unificador de archivos [23] [24] .....</i>	38
<i>Figura 18: Ventana de nuevo dataset sub-ventana 1 .....</i>	39
<i>Figura 19: Ventana de nuevo dataset sub-ventana 2 .....</i>	40
<i>Figura 20: Ventana de nuevo dataset sub-ventana 3 .....</i>	40
<i>Figura 21: Ventana de nuevo dataset sub-ventana 3 datos del dataset .....</i>	41
<i>Figura 22: Añadir nombre del dataset .....</i>	41
<i>Figura 23: Pestaña Abrir.....</i>	42
<i>Figura 24: Ventana de carga dataframe sub-ventana 1 .....</i>	42
<i>Figura 25: Ventana de carga dataframe sub-ventana 2 .....</i>	43
<i>Figura 26: Ventana de selección de dataset.....</i>	44
<i>Figura 27: Pestaña Salir.....</i>	44
<i>Figura 28: Pestaña datos históricos .....</i>	45
<i>Figura 29: Pestaña precio horario del mercado diario [25] .....</i>	46
<i>Figura 30: Pantalla de precio horario del mercado diario .....</i>	46
<i>Figura 31: Pantalla de cálculos de precio de horario de mercado diario .....</i>	47
<i>Figura 32: Pantalla de grafica de precio de horario de mercado diario [26] .....</i>	48
<i>Figura 33: Gráfica precio marginal de España – Portugal del mercado diario .....</i>	49
<i>Figura 34: Gráfica precio marginal de compra y venta España.....</i>	50
<i>Figura 35: Gráfica desviación estándar del precio de España del mercado diario .....</i>	50
<i>Figura 36: Gráfica media del precio de España del mercado diario .....</i>	51
<i>Figura 37: Gráfica suma de energía ofertada España.....</i>	52
<i>Figura 38: Pestaña curva agregada de oferta y demanda .....</i>	52
<i>Figura 39: Pantalla de la curva agregada de oferta y demanda.....</i>	53
<i>Figura 40: Gráfica de curva agregada de oferta y demanda con market coupling.....</i>	54
<i>Figura 41: Gráfica de curva agregada de oferta y demanda con market splitting.....</i>	55
<i>Figura 42: Pestaña herramientas .....</i>	55
<i>Figura 43: Pestaña estudio por tecnología .....</i>	56
<i>Figura 44: Pantalla de estudio por tecnología .....</i>	57

<i>Figura 45: Pantalla de estudio por tecnología ofertada</i> .....	58
<i>Figura 46: Pantalla de estudio por tecnología casada</i> .....	58
<i>Figura 47: Gráfica clúster bombeo ofertada</i> .....	59
<i>Figura 48: Gráfica clúster bombeo casada</i> .....	60
<i>Figura 49: Gráfica clúster comercialización ofertada</i> .....	61
<i>Figura 50: Gráfica clúster comercialización casada</i> .....	61
<i>Figura 51: Gráfica clúster exportación ofertada</i> .....	62
<i>Figura 52: Gráfica clúster carbón importado ofertada</i> .....	62
<i>Figura 53: Gráfica clúster carbón importado casada</i> .....	63
<i>Figura 54: Gráfica clúster carbón nacional ofertada</i> .....	64
<i>Figura 55: Gráfica clúster carbón nacional casada</i> .....	64
<i>Figura 56: Gráfica clúster ciclo combinado ofertada</i> .....	65
<i>Figura 57: Gráfica clúster ciclo combinado casada</i> .....	66
<i>Figura 58: Gráfica clúster eólica ofertada</i> .....	66
<i>Figura 59: Gráfica clúster eólica casada</i> .....	67
<i>Figura 60: Gráfica clúster fotovoltaica ofertada</i> .....	67
<i>Figura 61: Gráfica clúster fotovoltaica casada</i> .....	68
<i>Figura 62: Gráfica clúster hidráulica ofertada</i> .....	68
<i>Figura 63: Gráfica clúster hidráulica</i> .....	69
<i>Figura 64: Gráfica clúster nuclear ofertada</i> .....	69
<i>Figura 65: Gráfica clúster nuclear casada</i> .....	70
<i>Figura 66: Gráfica clúster RECORE ofertada</i> .....	70
<i>Figura 67: Gráfica clúster RECORE casada</i> .....	71
<i>Figura 68: Gráfica clúster turbinación ofertada</i> .....	71
<i>Figura 69: Gráfica clúster turbinación casada</i> .....	72
<i>Figura 70: Pestaña simulador de mercado simple</i> .....	73
<i>Figura 71: Pantalla de simulador de mercado simple</i> .....	73
<i>Figura 72: Ejemplo de visualización de la pantalla de simulador de mercado simple</i> .....	74
<i>Figura 73: Gráfica simulador de mercado simple bombeo</i> .....	75
<i>Figura 74: Gráfica simulador de mercado simple carbón importado</i> .....	75
<i>Figura 75: Gráfica simulador de mercado simple carbón nacional</i> .....	76
<i>Figura 76: Gráfica simulador de mercado simple ciclo combinado</i> .....	76
<i>Figura 77: Gráfica simulador de mercado simple comercialización</i> .....	77
<i>Figura 78: Gráfica simulador de mercado simple genérica</i> .....	77
<i>Figura 79: Gráfica simulador de mercado simple hidráulica</i> .....	78
<i>Figura 80: Gráfica simulador de mercado simple nuclear</i> .....	78
<i>Figura 81: Gráfica simulador de mercado simple RECORE</i> .....	79
<i>Figura 82: Pestaña de ventana</i> .....	80
<i>Figura 83: Pestaña datos de UOF's</i> .....	81
<i>Figura 84: Pantalla de datos de UOF's</i> .....	82
<i>Figura 85: Pestaña maximizar</i> .....	82
<i>Figura 86: Pestaña de minimizar</i> .....	83
<i>Figura 87: Pestaña Ayuda</i> .....	83
<i>Figura 88: Pestaña Acerca de</i> .....	84
<i>Figura 89: Pantalla de Acerca de</i> .....	84
<i>Figura 90: Ejemplo de unificador de archivo</i> .....	85
<i>Figura 91: Ejemplo de carga DataFrame</i> .....	86
<i>Figura 92: Ejemplo de visualización de cálculos de mercado diario</i> .....	87
<i>Figura 93: Ejemplo de visualización de gráficas de mercado diario</i> .....	88
<i>Figura 94: Ejemplo de ejecución de curva agregada de oferta y demanda</i> .....	89

<i>Figura 95: Ejemplo de ejecución de gráfica estudio por tecnología.....</i>	90
<i>Figura 96: Ejemplo de ejecución de gráfica de simulador de mercado .....</i>	91



# 1 OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE GRADO

---

**E**l objeto del presente proyecto es la creación de una herramienta de escritorio llamada EMELEC (Estudio de Mercado Eléctrico), con el fin de analizar los informes de las curvas agregadas de oferta y demanda facilitados por el operador de mercado (OMIE). Esta herramienta será capaz de realizar las mismas funciones que OMIE y adicionalmente tendrá un analizador de ofertas por tecnología y un simulador de mercado simple.

La solución adoptada para la creación de la herramienta de escritorio EMELEC, será mediante el lenguaje de programación Python junto con la herramienta GUI multiplataforma Qt. Esta herramienta le proporciona a cualquier empresa que participe en el mercado eléctrico, la posibilidad de analizar los precios de la energía, según la participación de la tecnología en el mercado diario o la capacidad de hacer simulaciones modificando la energía para obtener los precios para sus estrategias en el mercado.

Para llevar a cabo el análisis de la información aportado por OMIE, se descargará de forma manual los datos de las curvas agregadas de oferta y demanda del mercado diario (curvas\_pbc\_uof) y será almacenada dentro del ordenador a modo de base de datos.

Este proyecto no sólo servirá como proyecto de diseño, sino que además tiene la intención de ser un proyecto aclarativo y explicativo de la herramienta EMELEC y del mercado diario de electricidad y por ello se introducirán diferentes figuras que serán capturas de pantalla de la herramienta EMELEC.



## 2 MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL

---

H

asta el año 1997, el sistema eléctrico español era un sistema regulado en el que el Gobierno fijaba el precio de la energía para ser capaces de remunerar la totalidad de los costes a las compañías eléctricas. Sin embargo, en ese año se promulgó la Ley 54/1997 referente al sector eléctrico, en que se liberalizaba dicho sector, naciendo, a raíz de eso, el mercado eléctrico español.

La Ley del Sector Eléctrico establece que el Operador del Mercado y el Operador del Sistema asumen las funciones necesarias para realizar la gestión económica y la garantía de la gestión técnica del sistema eléctrico. Ambos deben funcionar con un elevado grado de coordinación para hacer frente a situaciones excepcionales que puedan producirse en las redes de transporte o en el sistema de generación de electricidad.

En España, el Operador del Sistema es Red Eléctrica de España (REE). Su obligación es asegurar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico y garantizar en todo momento la continuidad y seguridad del suministro.

En el mercado ibérico de la energía eléctrica (MIBEL) el Operador del Mercado gestiona la casación entre las ofertas de venta de energía por parte de los generadores y la demanda que hay programada. Su función es asignar la cobertura de esa demanda a las unidades más convenientes entre las que han ofertado energía. El Operador del Mercado (OMI) pasa a convertirse en una entidad compuesta por dos sociedades: OMIP y OMIE. El OMIP opera el mercado a plazo y el OMIE, el mercado spot.

El Mercado de Producción de energía eléctrica en la Península Ibérica se estructura en Mercado diario, Mercado intradiario, Mercados a plazo y Mercado de servicios de ajuste. También se integran en él los contratos bilaterales.

- Mercado diario: Lleva a cabo las transacciones de energía eléctrica para el día siguiente mediante la presentación de ofertas de venta y adquisición de energía eléctrica por parte de los agentes de mercado. Se trata de un mercado marginalista, el punto de equilibrio entre la oferta y la demanda establece el precio y el volumen de energía contratada en cada hora.
- Contratos Bilaterales: son acuerdos entre generadores y comercializadores para hacer una compra-venta directa, sin pasar por mercado.
- Mercado Intradadiarios: Los mercados intradiarios se estructura actualmente en el mercado intradiario de subastas y un mercado intradiario continuo transfronterizo.
  - El mercado intradiario de subastas tiene por objeto atender, mediante la presentación de ofertas de venta y adquisición de energía eléctrica por parte de los agentes del mercado, los ajustes sobre el Programa Diario Viable Definitivo cuya base de programación es el resultado del mercado diario.
  - Los mercados intradiarios continuos (XBID) ofrece la posibilidad a que los agentes del mercado puedan beneficiarse de la liquidez del mercado a nivel regional de España y Portugal y de la liquidez disponible en los mercados de otras áreas de Europa, siempre que haya capacidad de transporte transfronteriza disponible entre las zonas y el ajuste puede realizarse hasta una hora antes del momento de entrega de la energía. [1]

- Los mercados a plazo: son un conjunto de mercados en los que con años, meses, semanas o días de antelación a la entrega física de la energía, se intercambian contratos de compra-venta de electricidad con plazos de entrega superiores a 24 horas. [2]
- Mercado de servicios de ajustes: Su finalidad es resolver las restricciones del sistema, mediante la limitación o modificación, en su caso, de los programas de producción de las unidades de generación y de consumo de bombeo que resuelven las restricciones técnicas identificadas con el menor coste para el sistema. A continuación, también lleva a cabo el reequilibrio de generación y demanda para compensar las modificaciones de programa incorporadas para resolver las restricciones técnicas identificadas.
  - Restricciones por garantía de suministro.
  - Restricciones técnicas del sistema.
  - Servicios complementarios.
  - Gestión de desvíos

En este proyecto nos centraremos más en el mercado diario de la electricidad que es el principal mercado de electricidad en la Península Ibérica y funciona los 365 días del año. En él se negocia alrededor de las tres cuartas partes de la energía consumida al año. Todos los días se reciben ofertas de compra y de venta de energía eléctrica para el día siguiente y el precio alcanzado en la subasta, se usa como referencia en toda la negociación financiera y muchos de los pagos regulados.

## 2.1 Mercado diario

El mercado diario [3] tiene por objeto llevar a cabo las transacciones de energía eléctrica mediante la presentación de ofertas de venta y adquisición de energía eléctrica por parte de los agentes del mercado para el día siguiente.

Estas ofertas se presentarán al operador del mercado (OMIE), y serán incluidas en un procedimiento de casación teniendo efectos para el horizonte diario de programación, correspondiente al día siguiente al de la sesión, y comprendido en veinticuatro períodos horarios consecutivos (veintitrés o veinticinco períodos en los días en que se produzca cambio de hora).

El mercado diario se estructurará en una sola sesión para cada horizonte diario de programación.

## 2.2 Agentes de energía en el mercado diario

Los agentes de venta en el mercado de producción de energía eléctrica están obligados a adherirse a las Reglas de Funcionamiento del Mercado de Producción de Energía Eléctrica por medio de la suscripción del correspondiente Contrato de Adhesión. Es condición necesaria para que los vendedores citados puedan presentar ofertas de venta de energía eléctrica en el mercado diario que las instalaciones de producción de energía eléctrica de las que sean titulares estén debidamente inscritas en el Registro Administrativo de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica, sin perjuicio de lo establecido en la Disposición transitoria primera del Real Decreto 2019/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica.

La actual Ley del Sector Eléctrico y la anterior con sus posteriores desarrollos legislativos han establecido y definido el papel de los diferentes sujetos participantes en el sector eléctrico que se describen a continuación:

- **Los productores de energía eléctrica:**

Son aquellas personas físicas o jurídicas que tienen la función de generar energía eléctrica, así como las de construir, operar y mantener las centrales de producción. En ningún caso tendrán la condición de productores los consumidores con autoproducción de energía eléctrica.

- **Los comercializadores:**

Son aquellas sociedades mercantiles, o sociedades cooperativas de consumidores usuarios que, accediendo a las redes de transporte o distribución, adquieren energía para su venta a los consumidores, a otros sujetos del sistema o para realizar operaciones de intercambio internacional.

- **Los consumidores:**

Son las personas físicas o jurídicas que compran la energía para su propio consumo.

- **Consumidores directos en mercado:**

Son las personas físicas o jurídicas que adquieran energía directamente en el mercado de producción. [4]

- **Representantes:**

Agentes que actúan por cuenta de cualquier sujeto a los efectos de su participación en el mercado de producción y de los cobros y pagos de los peajes, cargos, precios y retribuciones reguladas. La representación por cuenta ajena podrá ser indirecta, cuando el representante actúa en nombre propio, o directa, cuando el representante actúa en nombre del representado. En los casos de representación indirecta, los efectos del negocio jurídico realizado por el representante se imputan directamente a éste, sin perjuicio de la relación interna que le ligue con su representado. [5]

- **Representantes de régimen especial a tarifa regulada:**

Se consideran como tales a las comercializadoras de último recurso cuando actúen como representantes según la disposición adicional séptima del Real Decreto 485/2009, de 3 de abril, o a los representantes a los que se refiere el artículo 30.1 del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, por la energía eléctrica procedente de las correspondientes instalaciones que pudiera ser vertida a la red de transporte o distribución. [6]

- **Agentes Vendedores:**

Se trata de representantes cualificados para el régimen especial que añaden, sólo para la integración de la producción, a las facultades de representación ordinaria propias del representante común la posibilidad de agrupar ofertas de sus representados, de modo que exista una posición final neta de todos los representados frente al Mercado. [7]

- **Los gestores de cargas del sistema:**

Son los servicios de recarga energética para vehículos eléctricos y este nuevo sujeto tiene dos vertientes: es un consumidor, pero a la vez tiene carácter mercantil y suministra a cliente final, por lo que se asemeja a la figura del comercializador. [8]

## 2.3 Ofertas del mercado diario

Las ofertas económicas de venta de energía eléctrica que los vendedores presenten al operador del mercado pueden ser simples o complejas en razón de su contenido.

### 2.3.1 Ofertas simples

A los efectos de lo establecido en las Reglas de Funcionamiento del Mercado son ofertas simples, las ofertas económicas de venta de energía eléctrica que los vendedores presenten para cada período horario de programación y unidad de producción de la que sean titulares con expresión de un precio y de una cantidad de energía, pudiendo existir para cada período horario de programación dentro de un mismo horizonte diario de programación hasta un máximo de 25 tramos de capacidad de producción para una misma unidad de producción, con un precio diferente para cada uno de dichos tramos, siendo éste creciente. Las ofertas simples no incluyen ninguna condición adicional que deba ser tenida en cuenta en la casación.

### 2.3.2 Ofertas Complejas

A los efectos de lo establecido en las Reglas de Funcionamiento del Mercado son ofertas complejas aquellas ofertas de venta de energía eléctrica que, cumpliendo con los requisitos exigidos para las ofertas simples incorporan todas, algunas o alguna de las condiciones que se relacionan a continuación. Estas condiciones las incorporará el operador del mercado en la casación en los términos establecidos en la Regla 6<sup>a</sup>. Son condiciones que pueden incorporar las ofertas complejas, las siguientes:

#### 2.3.2.1 Condición de Indivisibilidad

La condición de indivisibilidad es aquella por cuya virtud la aceptación por el operador del mercado de la oferta económica de venta de energía eléctrica genera en favor del titular de la unidad de producción el derecho a que, si el tramo indivisible de la oferta resulta casado, lo sea, por toda la energía eléctrica ofertada y nunca por una fracción de la misma, salvo en lo establecido en la Regla 8, o por la aplicación de la condición de gradiente de carga.

Los vendedores sólo pueden incorporar a la oferta económica de venta de energía eléctrica por cada unidad de producción la condición de indivisibilidad para el tramo de menor precio de oferta de los 25 tramos de capacidad de producción posibles en cada período horario de programación.

Las unidades de gestión hidráulica no podrán incorporar esta condición salvo que se trate de centrales de régimen fluyente.

#### 2.3.2.2 Condiciones de ingresos mínimos

Los vendedores pueden incluir como condición en las ofertas económicas de venta de energía eléctrica que presenten por cada unidad de producción que dicha oferta sólo se entiende presentada a los efectos de la casación si obtiene unos ingresos mínimos que se expresarán como una cantidad fija en pesetas o céntimos de euro, sin decimales y, como una cantidad variable expresada en pesetas o céntimos de euro por kWh, pudiéndose incluir tres cifras decimales.

En el caso de que se presenten ofertas, para cada unidad de producción, con más de doce tramos a precio cero, no se podrá incluir en la oferta la condición de ingresos mínimos.

La condición de ingresos mínimos no podrá ser tal que el ingreso solicitado supere en más de un 100% al ingreso resultante de la aceptación completa de la oferta al precio ofertado.

#### **2.3.2.3 Condición de parada programada**

Es la condición que los vendedores pueden incluir en la oferta económica de venta de energía eléctrica que presenten por cada unidad de producción, para el caso de que estas ofertas no resulten casadas por aplicación de la condición de ingresos mínimos, de modo que puedan ser consideradas como ofertas simples en el primer tramo de los tres primeros períodos horarios de programación del horizonte diario de programación. La energía eléctrica ofertada que incorpore la condición de parada programada deberá ser decreciente durante los referidos tres períodos horarios de programación, y no será de aplicación a las ofertas económicas de venta de energía eléctrica en estos tres períodos horarios de programación la condición de variación de capacidad de producción.

En todo caso, las ofertas rechazadas por la condición de ingresos mínimos que tienen la condición de parada programada son también no divisibles, salvo en lo establecido en las reglas de reparto, sin que pueda existir ningún otro tramo de producción no divisible en el mismo periodo de programación.

#### **2.3.2.4 Condición de variación de capacidad de producción o gradiente de carga**

Los vendedores podrán incorporar esta condición a las ofertas económicas de venta de energía eléctrica. La condición de variación de capacidad de producción consiste en establecer para cada unidad de producción una diferencia máxima de variación de capacidad de producción al alza o a la baja de la misma, entre dos períodos horarios de programación consecutivos, pudiendo incluirse también la que corresponde al arranque y parada de dicha unidad de producción. Esta condición se expresará en MW/minuto, con un solo decimal, y el resultado de su aplicación estará, en todo caso, limitado por la capacidad máxima de producción de dicha unidad de producción. Esta condición habrá de respetar en todo caso la variación lineal de manera continua de la producción de la unidad de producción en el período horario de programación para el que el vendedor haya presentado la oferta económica de venta de energía eléctrica.

### **2.4 Presentación de ofertas de venta o adquisición**

Los vendedores habrán de incluir, en las ofertas económicas de venta de energía eléctrica que presenten al operador del mercado por cada unidad de producción y para período de programación, las siguientes informaciones:

- Código de la unidad de producción.
- Descripción de la oferta. Campo alfanumérico que no utiliza el algoritmo.
- Clase de oferta, que deberá ser necesariamente oferta de venta.
- Fecha del horizonte diario de programación. Es aquella para la que se presenta la oferta. Estará en blanco en caso de ser una oferta por defecto.
- Oferta por defecto. Los datos válidos que se pueden incluir en la oferta son:
  - ✓ SI, indica que la oferta es por defecto y el agente la mantiene vigente para todos los horizontes diarios de programación, a partir del momento de recepción de la misma por el operador del mercado. En este caso la fecha del horizonte diario de programación no se utiliza.
  - ✓ NO, indica que la oferta no es por defecto y que sólo es válida para la fecha del horizonte diario de programación indicada.

- Indicador de ‘Oferta por defecto para’, que indica si la oferta por defecto es para la ejecución de la casación del mercado diario o para el proceso de primera iteración. Solo tiene validez si la oferta es por defecto.
- Indicador de si los precios de la oferta se expresan en pesetas o en céntimos de euro.
- Condición de ingreso mínimo para la unidad de producción, que se expresará por medio de los dos valores siguientes:
  - ✓ Término fijo (TF) para un mismo horizonte diario de programación, fijado en pesetas o céntimos de euro, sin que puedan incluirse decimales.
  - ✓ Término variable (TV), que permanecerá invariable para un mismo horizonte diario de programación, fijado en pesetas o céntimos de euro por kWh, pudiéndose incluir tres cifras decimales.
- El gradiente máximo de variación de carga de la unidad de producción al alza y a la baja (gradientes máximos de subida y bajada, y de arranque y parada) expresados en MW/minuto con un máximo de una cifra decimal. En el caso de ser igual a “cero” significa que la oferta no incorpora esta condición.
- Por cada uno de los hasta veinticinco tramos en que puede dividirse una oferta de venta de una unidad de producción, y cada uno de los períodos horarios de programación, se darán los siguientes datos:
  - ✓ Período horario de programación al que corresponde la oferta económica de venta.
  - ✓ Volumen de energía eléctrica ofertada en el tramo por la unidad de producción para cada período horario de programación expresada en MWh con un máximo de un decimal.
  - ✓ Precio al que se oferta el tramo expresado en pesetas o céntimos de euro por kWh, con un máximo de tres decimales.
  - ✓ Indicación en el primer tramo de cada periodo de programación de si el tramo de energía eléctrica es o no divisible.
  - ✓ Indicación, en los tres primeros periodos horarios del periodo de programación, de si la oferta económica de venta del primer tramo de energía eléctrica corresponde o no a una condición de parada programada.

## 2.5 Procedimiento de casación de ofertas

El operador del mercado realizará la casación de las ofertas de compra y venta de energía por medio del algoritmo denominado Euphemia.

La producción de energía objeto de los contratos bilaterales en los que intervengan no serán incorporadas en el proceso de casación, ni tenidas en cuenta durante el proceso de casación para realizar la comprobación de máximos de venta o de gradiente de carga de la unidad de venta de que se trate.

El precio en cada periodo de programación en cada zona de oferta será el correspondiente al resultado del algoritmo Euphemia.

Previo a la realización del proceso de casación se realizarán una serie validaciones, para seleccionar las ofertas que se consideran en el proceso de casación. [5]

El operador del mercado obtendrá los precios marginales para cada uno de los períodos horarios de programación del mismo horizonte de programación, y realizará el reparto de la energía eléctrica ofertada en cada período horario de programación entre las ofertas de venta y de adquisición por medio de una casación compuesta por las siguientes operaciones:

### **2.5.1 Determinación de la curva de oferta**

El operador del mercado establecerá, para cada período horario de programación del horizonte diario de programación, el orden de precedencia económica de las ofertas de venta partiendo de la más barata, hasta llegar a la más cara necesaria para cubrir la demanda de energía eléctrica en dicho período horario de programación. En el caso de que existan tramos de energía al mismo precio se ordenarán con los siguientes criterios:

- Fecha, hora, minuto y segundo de inserción en el sistema de información del operador del mercado de la oferta de menor a mayor.
- Volumen de energía del tramo de menor a mayor. En el caso de que la mencionada fecha, hora, minuto y segundo también coincida en ambas ofertas, estas serán retiradas en orden inverso de cantidad de energía en el tramo.
- Orden alfabético de menor a mayor. En caso de que la cantidad de energía también coincida se ordenarán por orden alfabético, y numérico en su caso, decreciente.

El operador del mercado determinará la curva agregada de oferta de energía eléctrica añadiendo por orden ascendente el precio de las cantidades de energía eléctrica ofertadas con independencia de la unidad de producción a la que dichas cantidades correspondan.

### **2.5.2 Determinación de la curva de demanda**

El operador del mercado establecerá para cada período horario de programación de un mismo horizonte diario de programación la curva agregada de demanda de energía eléctrica, añadiendo por orden descendente de precio, en su caso, las ofertas de adquisición aceptadas.

A estos efectos el operador del mercado podrá incorporar para el cálculo de la curva agregada de demanda los siguientes supuestos:

- Ofertas de adquisición en las que el comprador ha establecido un precio máximo y una cantidad de energía eléctrica. Este supuesto resultará en una curva de demanda descendente en precio.
- Ofertas de adquisición en las que el comprador no ha establecido un precio máximo a la energía eléctrica que quiere adquirir. En este supuesto, que equivale a una demanda rígida, el comprador acepta el precio marginal resultante de la casación para cada uno de los períodos horarios de programación de un mismo horizonte diario de programación, sin perjuicio del precio instrumental que utiliza el sistema de información del operador del mercado para tratar estas ofertas.
- En el supuesto de que concurrieren ambos tipos de supuestos el operador del mercado construirá una curva de demanda en la que las ofertas de adquisición de energía eléctrica sin precio máximo precederán, en todo caso, a aquéllas que sí lo incorporen.

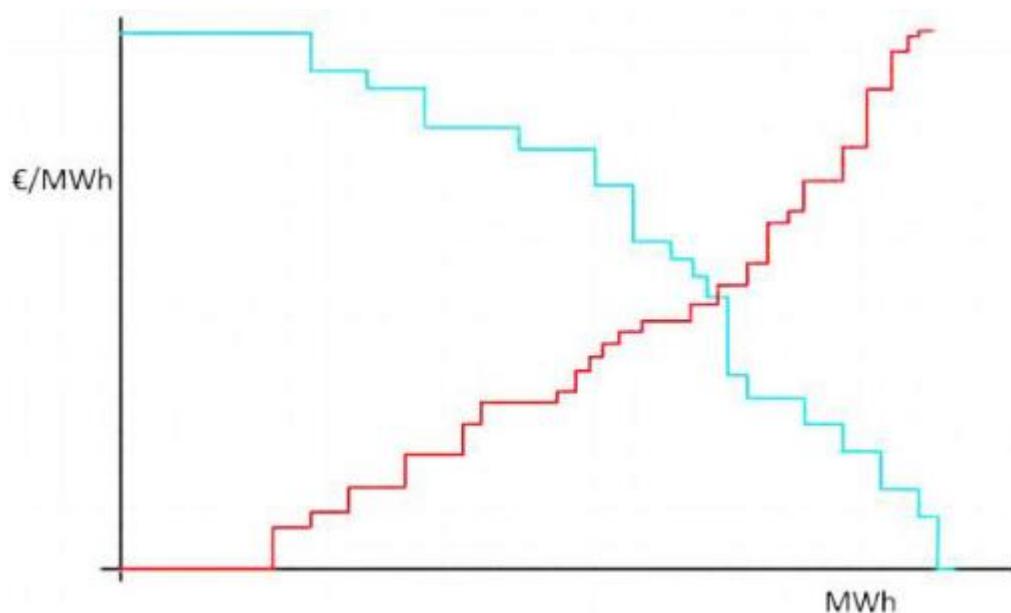


Figura 1 Ordenación de ofertas de venta y de adquisición

### 2.5.3 Procedimiento de casación

El algoritmo de casación Euphoria busca la optimización del denominado «welfare» o bienestar social, que corresponde a la suma para el conjunto de todos los períodos horarios del horizonte de programación del beneficio de las ofertas de compra, más el beneficio de las ofertas de venta, más la renta de congestión. Se entiende por beneficio de las ofertas de compra la diferencia entre el precio de la oferta de compra casada y el precio marginal recibido, y se entiende por beneficio de las ofertas de venta la diferencia entre el precio marginal recibido y el precio de oferta de venta casada.

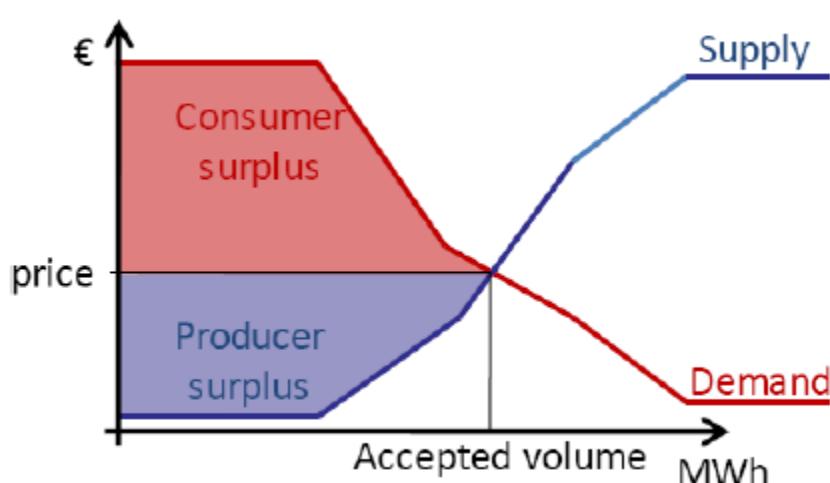


Figura 2: Welfare

El algoritmo Euphemia considera curvas agregadas en escalón, que corresponden con las curvas para las que el precio de inicio de aceptación de un tramo de energía y el precio de aceptación completa de dicho tramo de energía es coincidente, y con curvas agregadas interpoladas, que son aquellas que corresponden con curvas para las que el precio de inicio de aceptación de un tramo de energía y el precio de aceptación completa de dicho tramo de energía difieren al menos en el salto mínimo entre precios de oferta.

Para el tratamiento de ambos tipos de curvas el algoritmo Euphemia realiza el proceso de casación con una precisión en los valores de precios y en los valores de energía, superior al límite de decimales establecido para la presentación de ofertas. Una vez realizado el proceso de casación se realiza para cada mercado el redondeo de los valores de energías y precios, a la precisión establecida en cada mercado. La precisión establecida para el mercado ibérico es de dos decimales para los precios, establecidos en euros por MWh, y de un decimal para las energías, establecidas en MWh.

El algoritmo Euphemia considera en cada mercado las condiciones de bloque o condiciones complejas específicas de dicho mercado, siendo las condiciones para las ofertas del mercado ibérico las establecidas en estas reglas.

El resultado del algoritmo Euphemia está limitado a las condiciones de intercambio establecidas en cada mercado entre las zonas de oferta. En este sentido el flujo neto entre las zonas de oferta internas al mercado ibérico (flujo entre España y Portugal) y las fronteras del sistema ibérico (flujo entre España y Francia, y flujo entre España y Marruecos), estarán limitadas a la capacidad disponible para el mercado comunicada por los operadores del sistema responsables de dicha comunicación.

El algoritmo Euphemia trata todas las ofertas simples como una única oferta, suma del conjunto de todas las ofertas simples de la zona de oferta. Una vez finalizado el proceso de casación, el operador del mercado procederá a la asignación de los tramos casados y no casados de las ofertas simples en cada zona de oferta.

Una vez realizado el proceso de casación de Euphemia, quedarán asignados los valores de los tramos de energía casados y no casados de todas las ofertas que han declarado alguna de las condiciones complejas, excluida la condición de indivisibilidad, así como los valores de los tramos de energía casados y no casados por el conjunto de ofertas que no han declarado ninguna condición compleja o han declarado solamente la condición de indivisibilidad. [5]

## 2.6 Liquidación

De acuerdo con las normas generales de confidencialidad establecidas en estas reglas, el operador del mercado pondrá a disposición de los agentes del mercado la información sobre los derechos de cobro y las obligaciones de pago, derivadas del mercado diario, para el horizonte diario de programación, correspondiente a cada sesión de contratación.

Estos cálculos serán provisionales mientras no se hubieren incorporado los resultados de la medición que el operador del sistema comunique al operador del mercado y se calcularán sin perjuicio de los demás componentes del precio final de la energía.

El operador del mercado determinará la retribución que corresponda percibir a los titulares de las unidades de producción que incrementen su producción para solventar las restricciones técnicas.

El operador del mercado calculará, a partir de las ofertas válidas recibidas en el mercado diario, el precio al que se retribuirán las energías correspondientes a las unidades de producción que hayan solventado las restricciones técnicas.

### **2.6.1 Derechos de cobros**

El vendedor cuyas ofertas económicas de venta hayan resultado casadas en la sesión de contratación del mercado diario, tendrá un derecho de cobro que se calculará como el producto de la energía eléctrica cuya producción se asigne en cada período horario de programación a la unidad de producción de la que sea titular, por el precio marginal fijado para el mismo.

### **2.6.2 Obligaciones de pagos**

El comprador cuyas ofertas económicas de compra hayan resultado casadas en la sesión de contratación del mercado diario tendrá una obligación de pago que se calculará como el producto de la energía eléctrica cuya adquisición se asigne en cada periodo horario de programación a la unidad de adquisición de la que sea titular, por el precio marginal fijado para el mismo.

# 3 QUE ES PYTHON

---

**P**ython es un lenguaje de programación creado por Guido van Rossum a principios de los años 90 cuyo nombre está inspirado en el grupo de cómicos ingleses “Monty Python”. Es un lenguaje similar a Perl, pero con una sintaxis muy limpia y que favorece un código legible.

Es administrado por la Python Software Foundation. Posee una licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License [9], que es compatible con la Licencia pública general de GNU a partir de la versión 2.1.1, e incompatible en ciertas versiones anteriores.

Se trata de un lenguaje interpretado o de script, con tipado dinámico, fuertemente tipado, multiplataforma y orientado a objetos.

## 3.1 Lenguaje interpretado

Un lenguaje interpretado o de script es aquel que se ejecuta utilizando un programa intermedio llamado intérprete, en lugar de compilar el código a lenguaje máquina que pueda comprender y ejecutar directamente una computadora (lenguajes compilados).

La ventaja de los lenguajes compilados es que su ejecución es más rápida. Sin embargo, los lenguajes interpretados son más flexibles y más portables.

Python tiene, no obstante, muchas de las características de los lenguajes compilados, por lo que se podría decir que es semi interpretado. En Python, como en Java y muchos otros lenguajes, el código fuente se traduce a un pseudo código máquina intermedio llamado bytecode la primera vez que se ejecuta, generando archivos. pyc o .pyo (bytecode optimizado), que son los que se ejecutarán en sucesivas ocasiones.

## 3.2 Tipado dinámico

La característica de tipado dinámico se refiere a que no es necesario declarar el tipo de dato que va a contener una determinada variable, sino que su tipo se determinará en tiempo de ejecución según el tipo del valor al que se asigne, y el tipo de esta variable puede cambiar si se le asigna un valor de otro tipo.

Python usa tipado dinámico y conteo de referencias para la administración de memoria.

## 3.3 Fuertemente tipado

No se permite tratar a una variable como si fuera de un tipo distinto al que tiene, es necesario convertir de forma explícita dicha variable al nuevo tipo previamente. Por ejemplo, si tenemos una variable que contiene un texto (variable de tipo cadena o string) no podremos tratarla como un número (sumar la cadena “9” y el número 8). En otros lenguajes el tipo de la variable cambiaría para adaptarse al comportamiento esperado, aunque esto es más propenso a errores.

### 3.4 Multiplataforma

El intérprete de Python está disponible en multitud de plataformas (UNIX, Solaris, Linux, DOS, Windows, OS/2, Mac OS, etc.) por lo que si no utilizamos librerías específicas de cada plataforma nuestro programa podrá correr en todos estos sistemas sin grandes cambios.

### 3.5 Orientada a objetos

La orientación a objetos es un paradigma de programación en el que los conceptos del mundo real relevantes para nuestro problema se trasladan a clases y objetos en nuestro programa. La ejecución del programa consiste en una serie de interacciones entre los objetos.

### 3.6 Características importantes de Python

Una característica importante de Python es la resolución dinámica de nombres; es decir, lo que enlaza un método y un nombre de variable durante la ejecución del programa (también llamado enlace dinámico de métodos).

Otro objetivo del diseño del lenguaje es la facilidad de extensión. Se pueden escribir nuevos módulos fácilmente en C o C++. Python puede incluirse en aplicaciones que necesitan una interfaz programable.

## 4 ¿POR QUÉ PYTHON?

---

**P**ython es un lenguaje que todo el mundo debería conocer. Su sintaxis simple, clara y sencilla, el tipado dinámico, el gestor de memoria, la gran cantidad de librerías disponibles y la potencia del lenguaje, entre otros, hacen que desarrollar una aplicación en Python sea sencillo, muy rápido y, lo que es más importante, divertido.

La sintaxis de Python es tan sencilla y cercana al lenguaje natural que los programas elaborados en Python parecen pseudocódigo. Por este motivo se trata además de uno de los mejores lenguajes para comenzar a programar.

Python no es adecuado sin embargo para la programación de bajo nivel o para aplicaciones en las que el rendimiento sea crítico.

Algunos casos de éxito en el uso de Python son Google, Yahoo, la NASA, Industrias Light & Magic, y todas las distribuciones Linux, en las que Python cada vez representa un tanto por ciento mayor de los programas disponibles. [9]

En este trabajo fin de grado, utilice el lenguaje de programación Python junto con la herramienta GUI multiplataforma Qt para crear una herramienta de escritorio, que se usa para manipular la información que facilita el operador de mercado. Para manejar esta información, es necesaria la utilización de un lenguaje de programación estandarizado, que se utiliza para administrar bases de datos relacionales y realizar varias operaciones en los datos, como es el SQL o utilizar una librería de software escrita como extensión de Numpy, para la manipulación y análisis de los datos, como es Pandas.

Una razón simple por la que he decidido utilizar la librería de datos de Pandas, en lugar de SQL, es que éste, por definición, significa usar una base de datos. En estos casos, la carga, almacenamiento, manipulación y extracción de una base de datos no es viable, puesto que el tiempo de almacenar la información de los ficheros de las curvas agregadas de oferta y demanda del mercado diario, en una base de datos SQL es superior que la utilización de Pandas, porque con este último, solo se tiene que leer el fichero en cualquier extensión (.xls, .csv, .txt...) y una vez leído el fichero, ya se puede manipular un gran volumen de datos, en un tiempo muy reducido. Asimismo, en mis casos para este trabajo simplemente se requiere bits de datos.

Otra razón por la que he decidido utilizar Pandas es por la principal ventaja que tienen esto sobre SQL, y es que forma parte del universo de Python, lo que significa que de una sola vez se puede cargar, limpiar, manipular y visualizar los datos. Otra ventaja interesante es que para análisis complejos pandas es mucho mejor.

Además, como este trabajo consiste en analizar las curvas agregadas de oferta y demanda del mercado diario proporcionada por el operador de mercado, pandas es muchísimo más ágil que el SQL, lo que te permite crear fácilmente muchos tipos de gráficos, estadísticas de cómputo, etc., como se puede visualizar más adelante.



# 5 INSTALACIÓN DE PYTHON

---

**P**rimeros pasos para la instalación de Python:

1. Ir al área de descargas para Windows del sitio oficial y descargar el instalador ejecutable Python 3.6 de 32 o 64 bit (<https://www.python.org/downloads/>).
2. Iniciar la instalación ejecutando el archivo descargado Python-3.6.4.exe o Python-3.6.4-amd64.exe con doble clic. Si es necesario, confirmar la ejecución en la ventana de advertencia de seguridad de Abrir archivo.
3. Una vez iniciado el instalador, en la ventana Install Python 3.6.4 (64 bit) activar las casillas de las opciones: Install launcher for all users (recommended) y Add Python 3.6 to PATH.
4. Después, continuar seleccionando la opción Customize installation.
5. Choose Location and features
6. En la ventana Optional features verificar que están activas todas las opciones y hacer clic en el botón [Next]
7. En la ventana Advanced Options verificar que están activas las opciones de la imagen, escribir la ruta del directorio de instalación "C:\Python36" (o aceptar la ruta por defecto) y comenzar la instalación haciendo clic en el botón [Install].
8. A continuación, después de unos segundos de espera, comenzará el proceso de instalación de Python.
9. En la ventana Setup was successful, una vez que ha concluido el proceso de instalación hacer clic en el botón [Close]. Desde esta ventana es posible acceder a un tutorial online de Python, a la documentación oficial del lenguaje y a información con las novedades de la presente versión.
10. Para probar Python acceder a la línea de comandos ejecutando el programa cmd.exe o Símbolo del sistema. Después, escribir "python" y aceptar para iniciar el entorno interactivo de Python donde se puede verificar la versión de Python instalada y es posible introducir comandos Python.
11. Para finalizar, introducir quit() o presionar Ctrl+D.
12. A partir de este momento se puede instalar cualquier paquete de un tercero utilizando, entre otros, el instalador PIP. Por ejemplo, para instalar el entorno interactivo iPython:
  1. C:\>pipinstallipython
13. Se instalará iPython con todas sus dependencias. En el repositorio PyPI hay decenas de miles de paquetes disponibles para abordar todo tipo de proyectos Python. [10] [11]



# 6 EL ENTORNO DE DESARROLLO

---

**P**yCharm es un entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado en la programación de computadoras, específicamente para el lenguaje Python. Está desarrollado por la compañía checa JetBrains. Proporciona análisis de código, un depurador gráfico, un probador de unidades integrado, integración con sistemas de control de versiones (VCS) y es compatible con el desarrollo web con Django.

PyCharm es multiplataforma, con versiones de Windows, macOS y Linux. La Edición de la Comunidad se publica bajo la Licencia de Apache, y también hay una Edición Profesional lanzada bajo una licencia propietaria, esto tiene características adicionales.

El IDE Pycharm es muy completo, creado por JetBrains. Este IDE es profesional y viene en dos modalidades: Una edición Free y otra muy completa privada que apunta a empresas de desarrollo de software. La popularidad del IDE Pycharm se puede medir a partir de que grandes empresas como Twitter, Groupon, Spotify, eBay y telefónica, han utilizado éste para su trabajo.

La mayoría de sus características están disponibles en la versión gratuita, se integra con IPython, soporta Anaconda, así como otros paquetes científicos como matplotlib y NumPy.

Características como desarrollo remoto, soporte de bases de datos, soporte de frameworks de desarrollo web, etc. están disponibles solo para la edición profesional de PyCharm.

Algo muy útil de Pycharm es su compatibilidad con múltiples marcos de desarrollo web de terceros como Django, Pyramid, web2py, motor de aplicaciones Google y Flask, lo que lo convierte en un competente IDE de desarrollo de aplicaciones rápidas.

Se encuentra disponible para Windows y Linux, puedes descargarlo desde la siguiente URL:  
<http://www.jetbrains.com/pycharm/> [12]

## 6.1 Como Instalar PyCharm en Windows

1. Una vez finalizada la descarga, ejecute el archivo descargado, debe aparecer el asistente de instalación.
2. Haga clic en siguiente

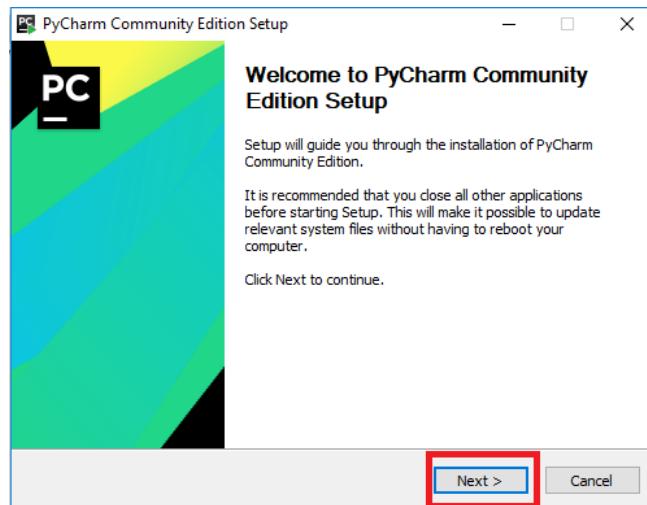


Figura 3: Instalación de la herramienta PyCharm

3. Señalar donde quiere instalarlo y pulsamos siguiente.

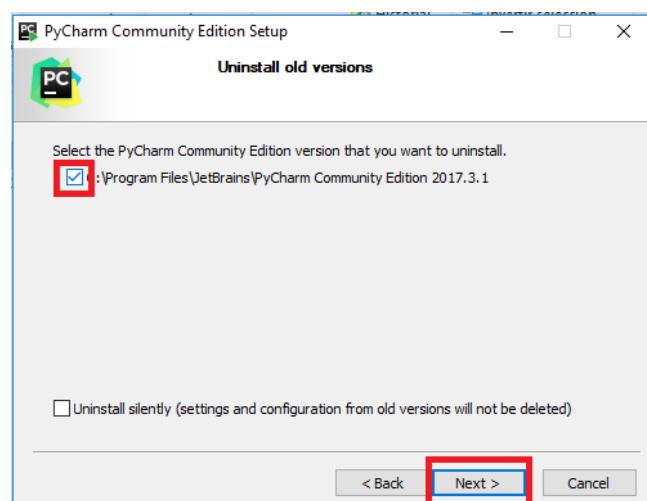


Figura 4: Instalación de la herramienta PyCharm 2

4. Una vez se ejecuta el programa, se selecciona en File→Setting y en este apartado Project PFC\_ELEC instalamos el intérprete de Python pulsando en la rueda dentada que está en la parte superior de la derecha.

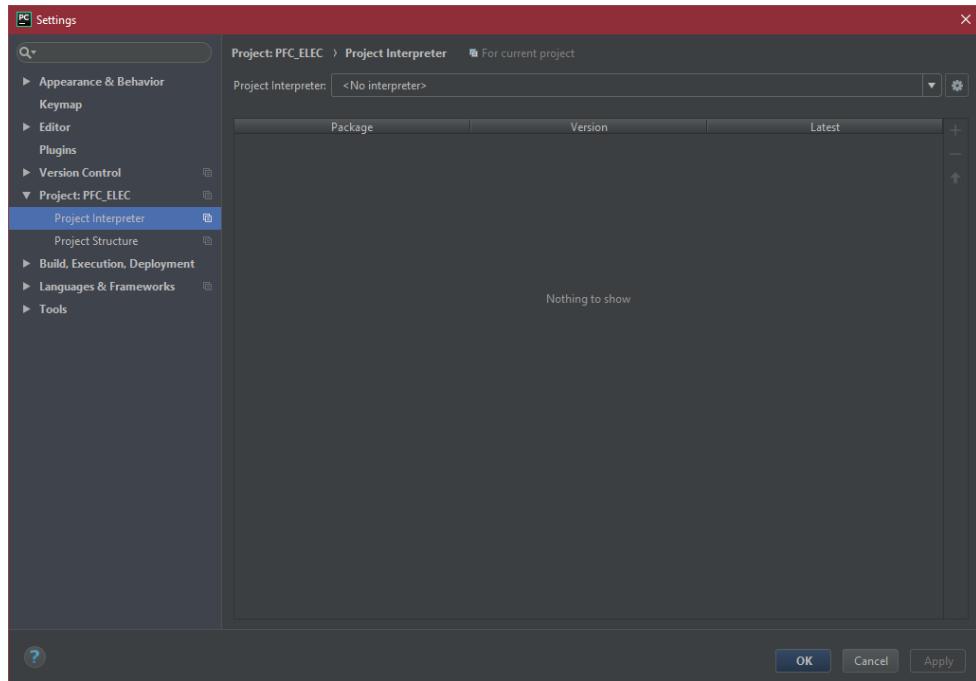


Figura 5: Configuración de PyCharm paso 4

5. Cuando se pulsa la rueda dentada, se abre otra pantalla donde seleccionaremos el intérprete de Python, buscaremos donde se realiza la instalación y nos aparecerá todas las librerías instaladas.

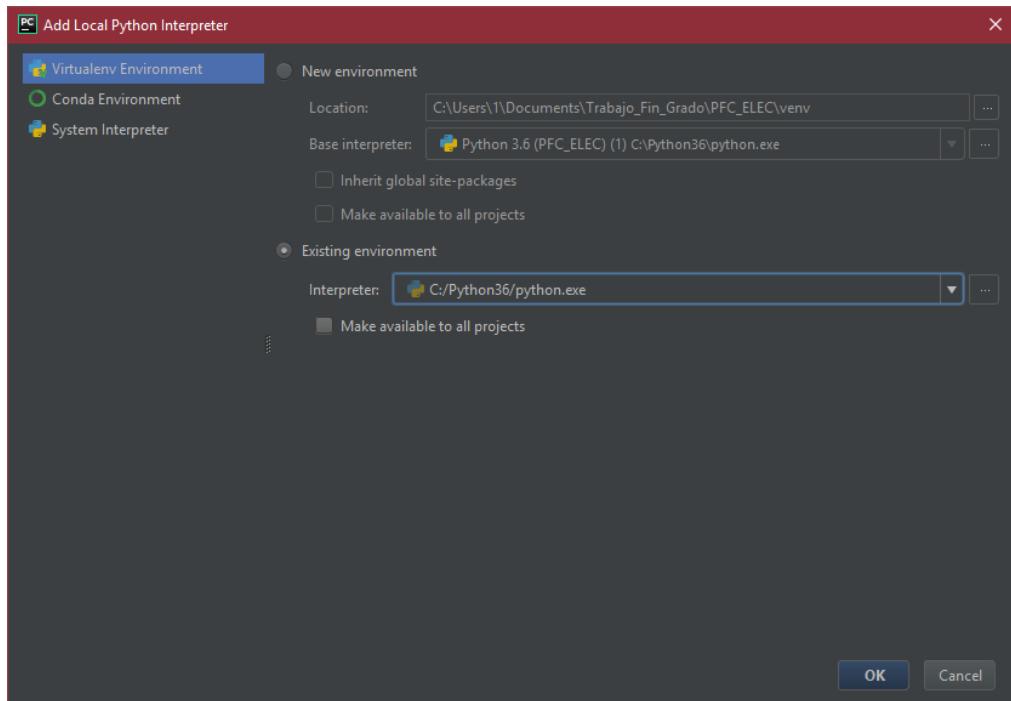


Figura 6: Configuración de PyCharm paso 5

6. Cuando se hace clic en “OK” nos aparece la pantalla con toda la librería instalada.

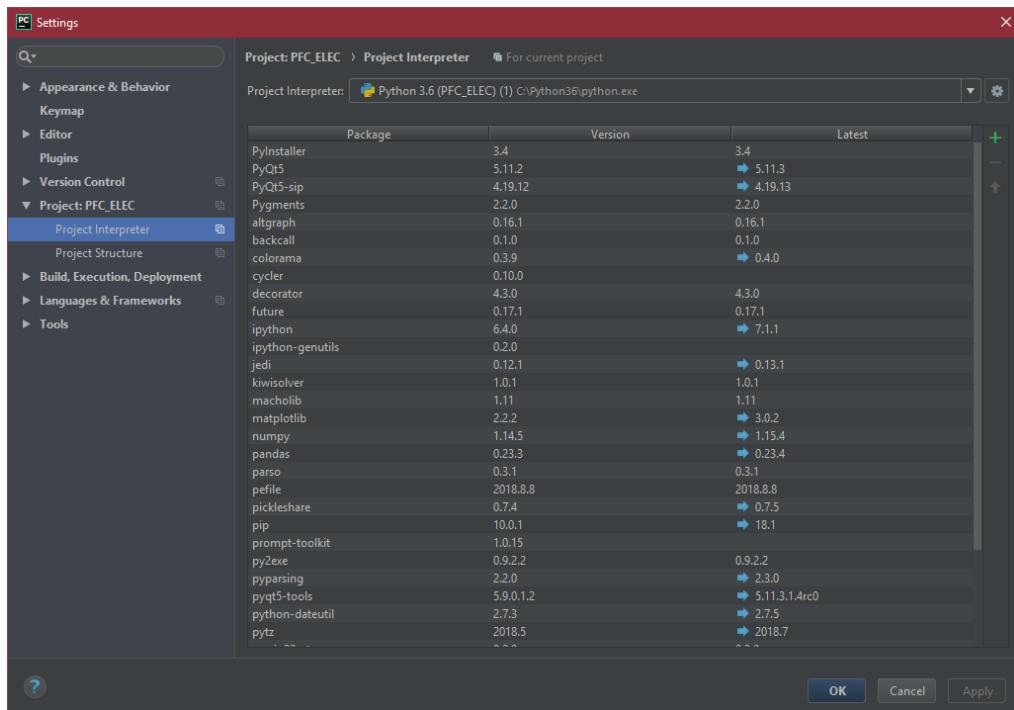


Figura 7: Configuración de PyCharm paso 6

7. Una vez instalado el intérprete de Python, se selecciona la opción Tools→External Tools, en este apartado crearemos dos herramientas externas:

- a. La primera, la denominaremos Convertidor\_UI, su funcionalidad es la de convertir los archivos “.UI” en “.PY”.
- b. La segunda, se llamará Convertidor\_QRC, su funcionalidad es la de convertir las imágenes que se le añade en el QT Design con extensión “.qrc” a “.py”.

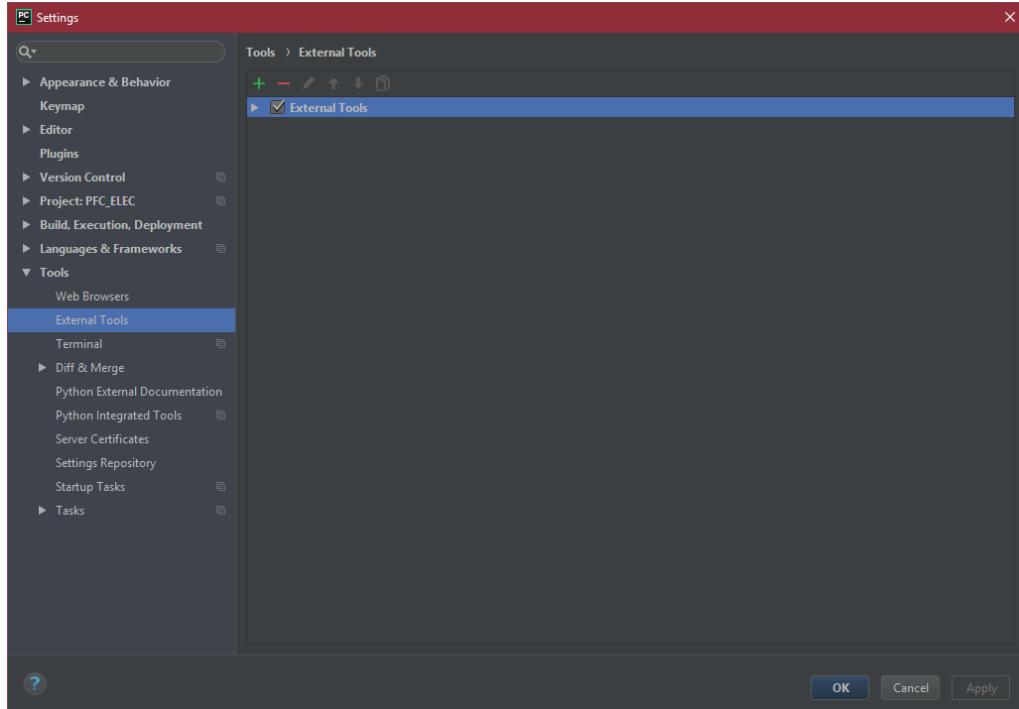


Figura 8: Configuración de PyCharm paso 7

Una vez que todos los pasos anteriores estén ejecutados correctamente estará todo listo para comenzar a programar y analizar los datos de las curvas\_pbc\_uof. [13] [14] [15]

Las curvas\_pbc\_uof es un fichero que contiene todos los puntos que configuran las curvas agregadas para todas las horas, e incluyendo las unidades una vez superado el periodo de confidencialidad (a los tres meses).

Los registros del fichero están agrupados por el tipo de oferta (Compra/Venta) y ordenados por precio, de mayor a menor en compras y de menor a mayor en ventas, y según el orden de precedencia establecido en las Reglas de Funcionamiento del Mercado en caso de igualdad de precio. Hay dos series consecutivas de datos, la correspondiente a la curva agregada de energías ofertadas (Flag = O), la correspondiente al programa resultante de la casación (Flag = C).

La publicación de las curvas con unidades se realizará en un .ZIP mensual (curva\_pbc\_uof\_aaaamm.zip) que contendrá todos los ficheros de curvas del mes con el mismo formato antes indicado, pero con el nombre curva\_pbc\_uof\_aaaammdd.v [16]

La descripción de los campos del fichero es la siguiente:

- Hora: Período horario de programación.
- Fecha: Fecha para la que se realiza la oferta.
- País: Indicador de país España (ES), Portugal (PT), Mibel (MI, cuando no haya separación de mercado).
- Unidad: Nombre de la unidad ofertante en el mercado una vez pasado el tiempo de confidencialidad.
- Tipo Oferta: Compra o venta
- Energía Compra/Venta: La energía ofertada/casada por la unidad ofertante.

- Precio Compra/Venta: El precio ofertado.
- Ofertada/Casada: Flag para indicar que los datos son ofertados o casados en el mercado.

# 7 INSTALACIÓN DE LAS LIBRERÍAS

---

**E**n este apartado se explica la instalación de las distintas librerías que he tenido que instalar para llevar a cabo la realización del proyecto.

## 7.1 NumPy

NumPy es una librería para el lenguaje de programación Python, que agrega soporte para matrices grandes y multidimensionales, junto con una gran colección de funciones matemáticas de alto nivel para operar en estas matrices.

El antecesor de NumPy, Numeric, fue creado originalmente por JimHugunin con contribuciones de varios otros desarrolladores. En 2005, TravisOliphant creó NumPy incorporando características de Numarray competidoras en Numeric, con modificaciones extensas. NumPy es un software de código abierto y tiene muchos colaboradores.

NumPy aborda la implementación de referencia del CPython de Python, que es un intérprete de bytecode que no optimiza. Los algoritmos matemáticos escritos para esta versión de Python a menudo se ejecutan mucho más lento que los equivalentes compilados.

NumPy aborda el problema de la lentitud, en parte, al proporcionar matrices multidimensionales, funciones y operadores, que operan de manera eficiente en las matrices, lo que requiere reescribir algún código, en su mayoría circuitos internos que utilizan NumPy.

El uso de NumPy en Python ofrece una funcionalidad comparable a MATLAB, ya que ambas se interpretan y permiten al usuario escribir programas rápidos, siempre que la mayoría de las operaciones funcionen en matrices. En comparación, MATLAB tiene una gran cantidad de cajas de herramientas adicionales, especialmente Simulink, mientras que NumPy está intrínsecamente integrado con Python, un lenguaje de programación más moderno y completo.

Por otro lado, los paquetes complementarios de Python están disponibles, como por ejemplo SciPy, que es una librería, que agrega más funcionalidades similares a MATLAB y Matplotlib. Es un paquete de rastreo que brinda una funcionalidad de rastreo similar a MATLAB. Internamente, tanto MATLAB como NumPy confían en BLAS y LAPACK para cálculos de álgebra lineal eficientes.

La funcionalidad principal de NumPy es su "ndarray", para matriz n-dimensional, estructura de datos. Estas matrices son vistas en zancadas en la memoria. En contraste con la estructura de datos de lista incorporada de Python (que, a pesar del nombre, es una matriz dinámica), estas matrices se tipan homogéneamente, puesto que todos los elementos de una única matriz deben ser del mismo tipo.

Dichas matrices también pueden ser vistas en búferes de memoria asignados por C / C ++, CPython y extensiones Fortran para el intérprete CPython, sin la necesidad de copiar datos, lo que otorga un grado de compatibilidad con las librerías numéricas existentes.

Esta funcionalidad es explotada por el paquete SciPy, que envuelve varias de esas librerías (especialmente BLAS y LAPACK). NumPy tiene soporte incorporado para ndarrays mapeados en memoria. [17]

### Instalación de la librería NUMPY

Para poder instalar la librería de Numpy podemos hacerlo de dos formas:

1. A través de símbolo de sistema
2. Abriendo la terminal en PyCharm

En este caso, recomiendo que se realice de ésta última forma. Para ello, se debe abrir la terminal en PyCharm e introducir el siguiente comando “`pip install numpy`”.

## 7.2 Matplotlib

Matplotlib es una librería de trazado, para el lenguaje de programación Python y su extensión matemática numérica NumPy. Proporciona una API orientada a objetos para incrustar tramas en aplicaciones utilizando kits de herramientas de GUI de propósito general como Tkinter, wxPython, Qt o GTK +. También hay una interfaz de procedimiento "pylab" basada en una máquina de estado (como OpenGL), diseñada para parecerse mucho a la de MATLAB, aunque se desaconseja su uso.

Matplotlib fue escrito originalmente por John D. Hunter, como una comunidad activa de desarrollo, y se distribuye bajo una licencia de estilo BSD. Michael Droettboom fue nominado como desarrollador principal de matplotlib poco antes de la muerte de John Hunter en 2012, y se unió a Thomas CaswellÍndice y/o Índice general

### Instalación de la librería Matplotlib

Para poder instalar la librería de Matplotlib podemos hacerlo de dos formas:

1. A través de símbolo de sistema
2. Abriendo la terminal en PyCharm

En este caso, se recomienda igualmente, realizarlo de la segunda forma descrita. Para su instalación, se debe abrir la terminal en PyCharm e introducir el siguiente comando “`pip install matplotlib`”. [18]

## 7.3 SciPy

SciPy es una librería de Python gratuita y de código abierto utilizada para informática científica e informática técnica.

SciPy contiene módulos para optimización, álgebra lineal, integración, interpolación, funciones especiales, FFT, procesamiento de señal e imagen, solucionadores de ODE y otras tareas comunes en ciencia e ingeniería.

SciPy se basa en el objeto de matriz NumPy y es parte de la pila NumPy, que incluye herramientas como Matplotlib, pandas y SymPy, y un conjunto en expansión de librerías de informática científica. Esta pila NumPy tiene usuarios similares a otras aplicaciones como MATLAB, GNU Octave y Scilab. La pila NumPy también se conoce a veces como la pila SciPy.

La librería SciPy se distribuye actualmente bajo la licencia BSD, y su desarrollo está patrocinado y respaldado por una comunidad abierta de desarrolladores.

La estructura de datos básica utilizada por SciPy es una matriz multidimensional proporcionada por el módulo NumPy. Esta librería, proporciona algunas funciones para álgebra lineal, transformadas de Fourier y generación de números aleatorios, pero no con la generalidad de las funciones equivalentes en SciPy. NumPy también se puede usar como un contenedor de datos multidimensional eficientes, con tipos de datos arbitrarios. Esto permite a NumPy integrarse de manera rápida y sin problemas con una amplia variedad de bases de datos. Las versiones anteriores de SciPy utilizaban Numeric como tipo de matriz, ahora está en desuso, en favor del código de matriz NumPy más nuevo. [19]

### **Instalación de la librería Scipy**

Para poder instalar la librería de Scipy podemos hacerlo de dos formas:

1. A través de símbolo de sistema
2. Abriendo la terminal en PyCharm

Igualmente, se recomienda instalarlo de la segunda forma. Para ello, se debe abrir la terminal en PyCharm e introduzco el siguiente comando “pip install scipy”

## **7.4 PyQt5**

En agosto de 2009, Nokia, el entonces dueño del kit de herramientas de Qt, lanzó PySide, proporcionando una funcionalidad similar, pero bajo LGPL, después de no llegar a un acuerdo con Riverbank Computing para cambiar sus términos de licencia para incluir LGPL como una licencia alternativa.

PyQt es un enlace de Python del conjunto de herramientas GUI multiplataforma Qt, implementado como un complemento de Python.

PyQt es un software gratuito desarrollado por la firma británica Riverbank Computing. Está disponible en términos similares a las versiones de Qt anteriores a 4.5; esto significa una variedad de licencias que incluyen la Licencia Pública General de GNU (GPL) y la licencia comercial, pero no la Licencia Pública General Reducida (LGPL) de GNU. PyQt es compatible con Microsoft Windows, así como con varios sabores de UNIX, incluidos Linux y MacOS (o Darwin).

PyQt implementa alrededor de 440 clases y más de 6,000 funciones y métodos, que incluyen:

1. Un conjunto considerable de widgets de GUI clases para acceder a bases de datos SQL (ODBC, MySQL, PostgreSQL, Oracle, SQLite)
2. QScintilla,
3. Widget de editor de texto enriquecido basado en Scintilla
4. Widgets con reconocimiento de datos que se completan automáticamente desde una base de datos
5. Un analizador XML
6. Soporte SVG
7. Clases para incrustar controles ActiveX en Windows (solo en versión comercial)

Para generar automáticamente estos enlaces, Phil Thompson desarrolló la herramienta SIP, que también se usa en otros proyectos.

## Instalación de la librería PyQt5

Para poder instalar la librería de PyQt5 podemos hacerlo, al igual que los anteriores, de dos formas:

1. A través de símbolo de sistema
2. Abriendo la terminal en Pycharm

En este caso, es necesario utilizar las dos formas. La primera, es para instalar la librería y la segunda es para instalar el QT Designer. Para abrir la terminal en PyCharm, introduzco el siguiente comando “pip install PyQt5”

## Instalación del PyQt5 tools a través del cmd de Windows:

Primero, es necesario descargarse el archivo: `pyqt5_tools-5.9.0.1.2-cp36-none-win32.whl`

También se puede desde la web, desde el siguiente enlace: <https://pypi.python.org/pypi/pyqt5-tools>

Una vez descargado el archivo, inicia el símbolo del sistema (cmd) para buscar la carpeta donde se ha descargado e introduce la siguiente línea para la instalación del **PyQt5 designer**: `pip install PyQt5_tools-5.9.0.1.2-cp36-none-win32.whl` [20]

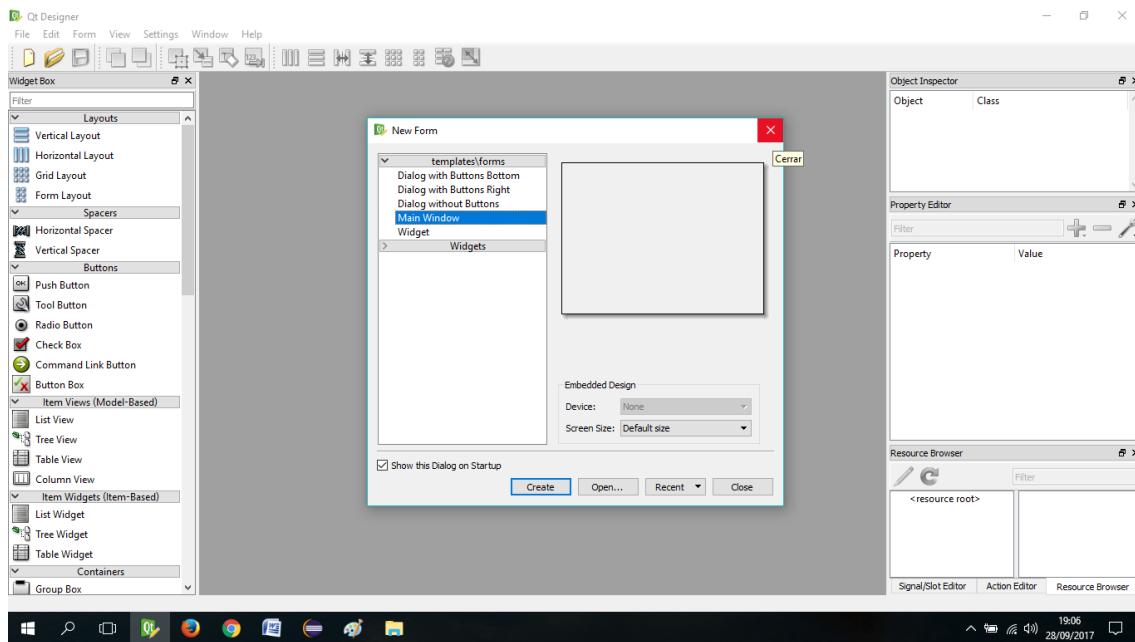


Figura 9: Pantalla de Qt Designer

## 7.5 Pandas

Su principal desarrollador, Wes McKinney, empezó a desarrollar Pandas en el año 2008, mientras trabajaba en AQR Capital, por la necesidad que tenía de una herramienta flexible de alto rendimiento para realizar análisis cuantitativo en datos financieros. Antes de dejar AQR convenció a la administración de la empresa de distribuir esta librería bajo licencia de código abierto. Otro empleado de AQR, Chang Ella, se unió en 2012 al esfuerzo de desarrollo de la librería.

En Computación y Ciencia de datos, pandas es una librería de software escrita como extensión de NumPy, para manipulación y análisis de datos para el lenguaje de programación Python. En particular, ofrece estructuras de datos y operaciones para manipular tablas numéricas y series temporales. Es un software libre, distribuido bajo la licencia BSD, versión tres cláusulas.

Las características de la librería son:

- Tipo de datos DataFrame para manipulación de datos con indexación integrada.
- Herramientas para leer y escribir datos entre estructuras de dato en-memoria y formatos de archivo variados.
- Alineación de dato y manejo integrado de datos faltantes.
- Reestructuración y segmentación de conjuntos de datos.
- Segmentación vertical basada en etiquetas, indexación elegante, y segmentación horizontal de grandes conjuntos de datos.
- Inserción y eliminación de columnas en estructuras de datos.
- Agrupación predefinida en la librería lo que permite realizar cadenas de operaciones dividir-aplicar-combinar sobre conjuntos de datos.
- Mezcla y unión de datos.
- Indexación jerárquica de ejes para trabajar con datos de altas dimensiones en estructuras de datos de menor dimensión.
- Funcionalidad de series de tiempo: generación de rangos de fechas y conversión de frecuencias, desplazamiento de ventanas estadísticas y de regresiones lineales, desplazamiento de fechas y retrasos.

## **Instalación de la librería Pandas**

Para poder instalar la librería de Pandas podemos hacerlo de dos formas:

1. A través de símbolo de sistema
2. Abriendo la terminal en PyCharm

Se recomienda realizar la instalación de la segunda forma. Para ello, pulso abrir la terminal en PyCharm e introduzco el comando “pip install pandas”. [21]



# 8 MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA EMELEC

---

**E**l presente capítulo es un manual de usuario detallado de la aplicación EMELEC: Programa de estudio de mercado eléctrico.

El programa EMELEC es un simulador del mercado ibérico simple, en el cual, se puede observar que efectos tendrán las modificaciones que se le realicen a la energía, sobre los precios del mercado ibérico mayorista de electricidad.

Este programa está realizado con PyQt5 y Python 3.6, en el que se muestra por pantalla de forma visual los datos históricos recopilados de los archivos que nos facilita el operador de mercado español (OMIE). Los archivos que se utilizan en este programa son las curvas\_pbc\_uof. Estos archivos serán descargados manualmente por el usuario y serán almacenados en una base de datos local en el ordenador. Los datos serán tratados, a través de las librerías de pandas, NumPy y matplotlib de Python, para poder representar los datos con distintas gráficas según la opción que seleccione el usuario.

Las principales funcionalidades de la herramienta son:

- Unificador de archivos.
- Representación de los datos en gráficas de histograma.
- Cálculos estadísticos realizados a la energía y precios.
- Representación de las curvas agregadas de oferta y demanda.
- Representación de los precios y energía ofertados y casados por hora y por tecnologías en forma de nube de puntos o clúster.
- Representación de la curva agregada de oferta y demanda del simulador de mercado simple.

A continuación, se explica el programa y el funcionamiento de la herramienta EMELEC (Estudio de Mercado Eléctrico).

## 8.1 Interfaz de Usuario: Pantalla principal

Al iniciar el ejecutable “EMELEC.py”, se muestra la pantalla principal de interfaz de usuario:

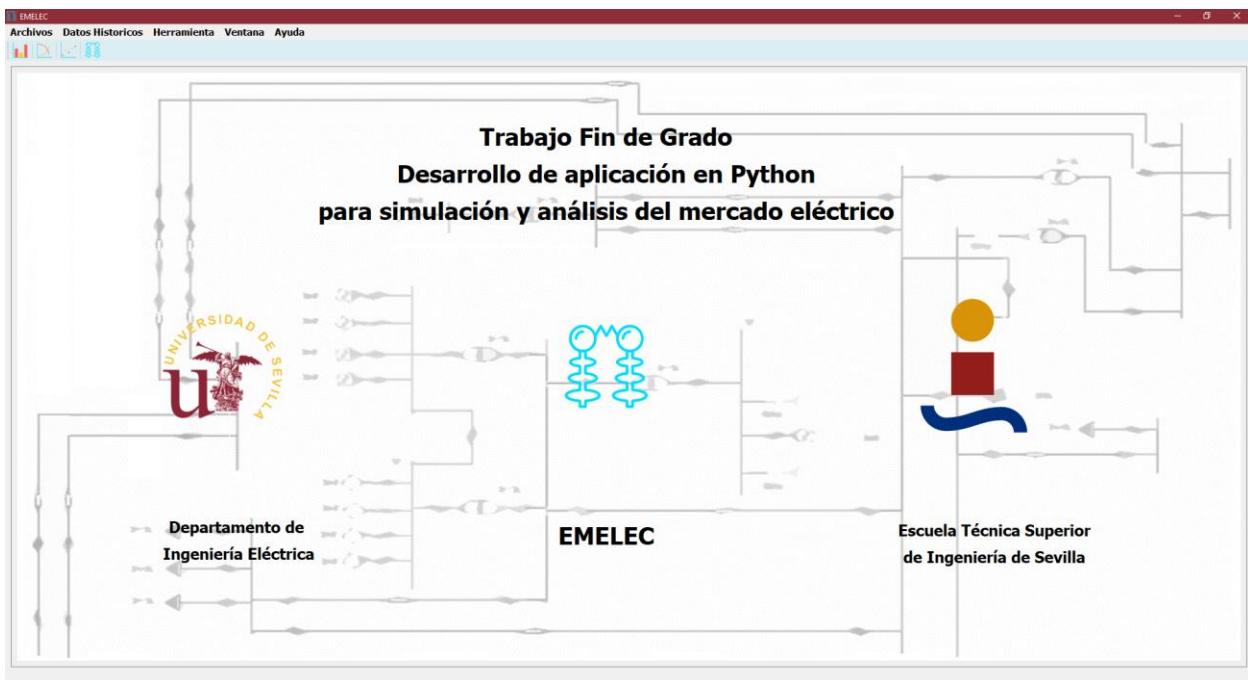


Figura 10: Pantalla principal EMELEC [22]

La pantalla principal se puede maximizar o minimizar según las necesidades del usuario.

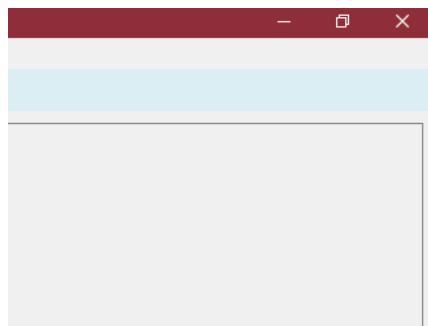


Figura 11: Opciones de maximización, minimización y cerrar

En los siguientes sub-apartados se especifican “paso a paso” las funcionalidades que conforman esta interfaz, para ello se diferencian 4 áreas:

- Barra de menú.
- Toolbar.
- Ventana principal.
- Statusbar.

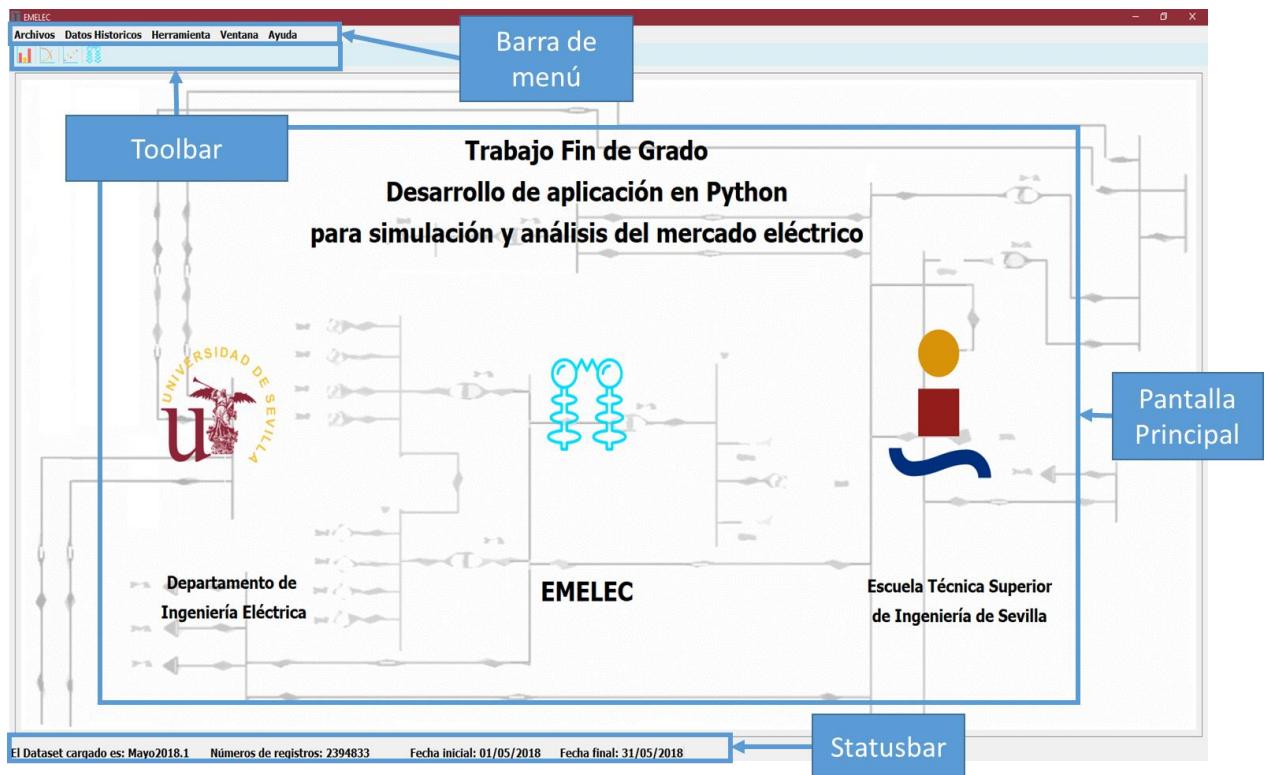


Figura 12: Funcionalidades de la interfaz

### 8.1.1 Barra de menú

En la parte superior de la pantalla principal, se encuentra la barra de menú, con las siguientes funcionalidades:

- Archivos:
  - ✓ **Unificador de archivos:** Permite seleccionar todos los archivos que estén contenidos en la base de datos local del ordenador, para unificarlos en un solo archivo que lo denominaremos dataset.
  - ✓ **Abrir:** Se realiza la lectura de ese dataset, para tenerlo en memoria, y poder realizar las modificaciones pertinentes a los datos que están contenido en el interior del dataset.
  - ✓ **Salir:** Cierra la aplicación.
- Datos Históricos
  - ✓ **Precio horario del mercado diario:** Muestra los datos contenidos en el dataset, de una forma visual y sencilla de los precios marginales o de la energía ofertada por hora o día.
  - ✓ **Curva agregada oferta y demanda:** Muestra, con una gráfica, la curva agregada de oferta y demanda para la hora y el día que se ha seleccionado.
- Herramientas:
  - ✓ **Estudio por tecnología:** Muestra por pantalla una nube de puntos, en el que nos indica el precio, la hora y la energía ofertada o casada por tecnología.

- ✓ **Simulador de mercado simple:** Permite modificar los datos de la energía ofertada en el mercado diario con la ecuación  $AX + B$ , para cualquier tecnología seleccionada por el usuario.
- Ventana:
  - ✓ **Datos de Unidades:** Muestra una ventana con una tabla, que contiene la información de cada unidad ofertante que participa en el mercado diario.
  - ✓ **Maximizar:** Muestra el programa en pantalla completa.
  - ✓ **Minimizar:** Minimiza la pantalla principal del programa.
- Ayuda
  - ✓ **Acerca de...:** Información y fecha de actualización de la aplicación.

### 8.1.2 Toolbar

Se encuentra debajo de la barra de menú, su funcionalidad es la de ejercer de acceso directos de todas aquellas funcionalidades más importantes del programa.

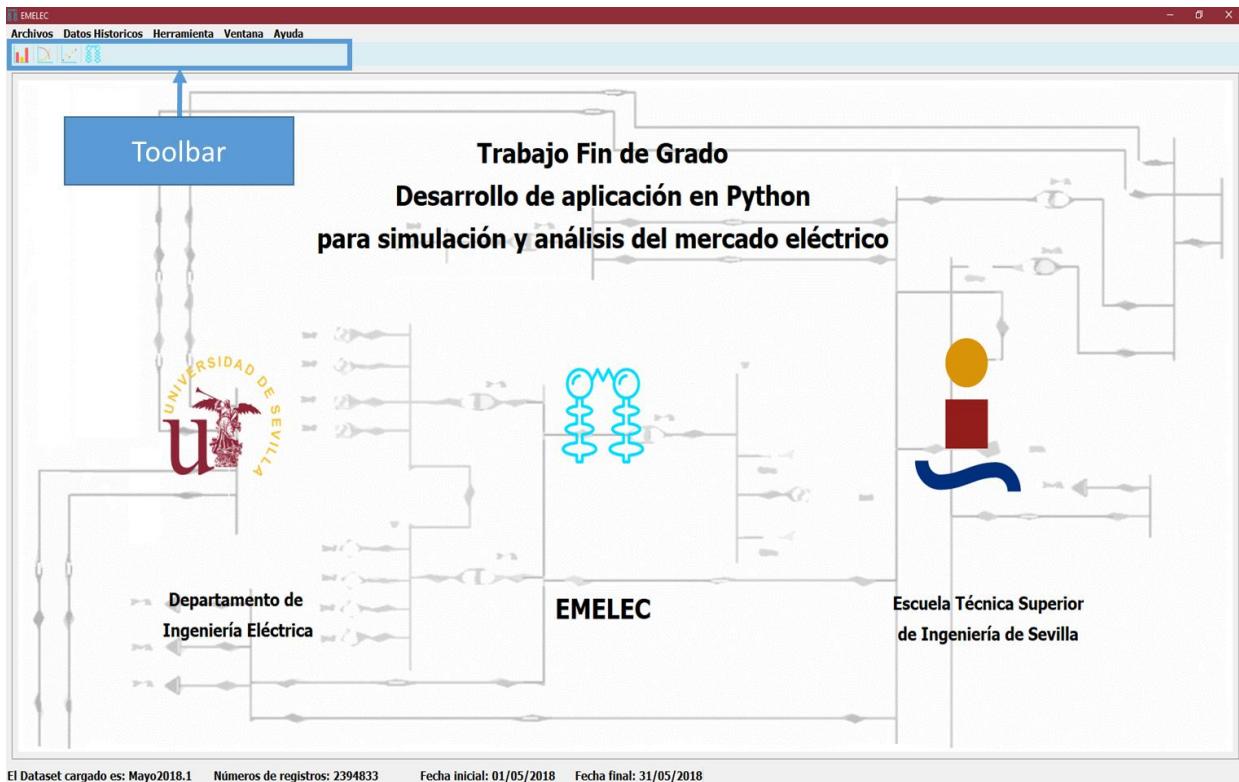


Figura 13: Posición del toolbar en la interfaz

### 8.1.3 Ventana principal

Al iniciar el programa, únicamente se puede visualizar el nombre del proyecto con los logotipos de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla (ETSI), el logotipo de la Universidad de Sevilla y el logotipo del programa EMELEC. Una vez que vayamos abriendo las distintas funcionalidades, éstas se mostrarán en esta ventana

principal en forma de tablas. En cada una de las pestañas, aparecerá el nombre de la opción que se haya elegido, y éstas se podrán mover para poder establecer el orden que el usuario crea conveniente.

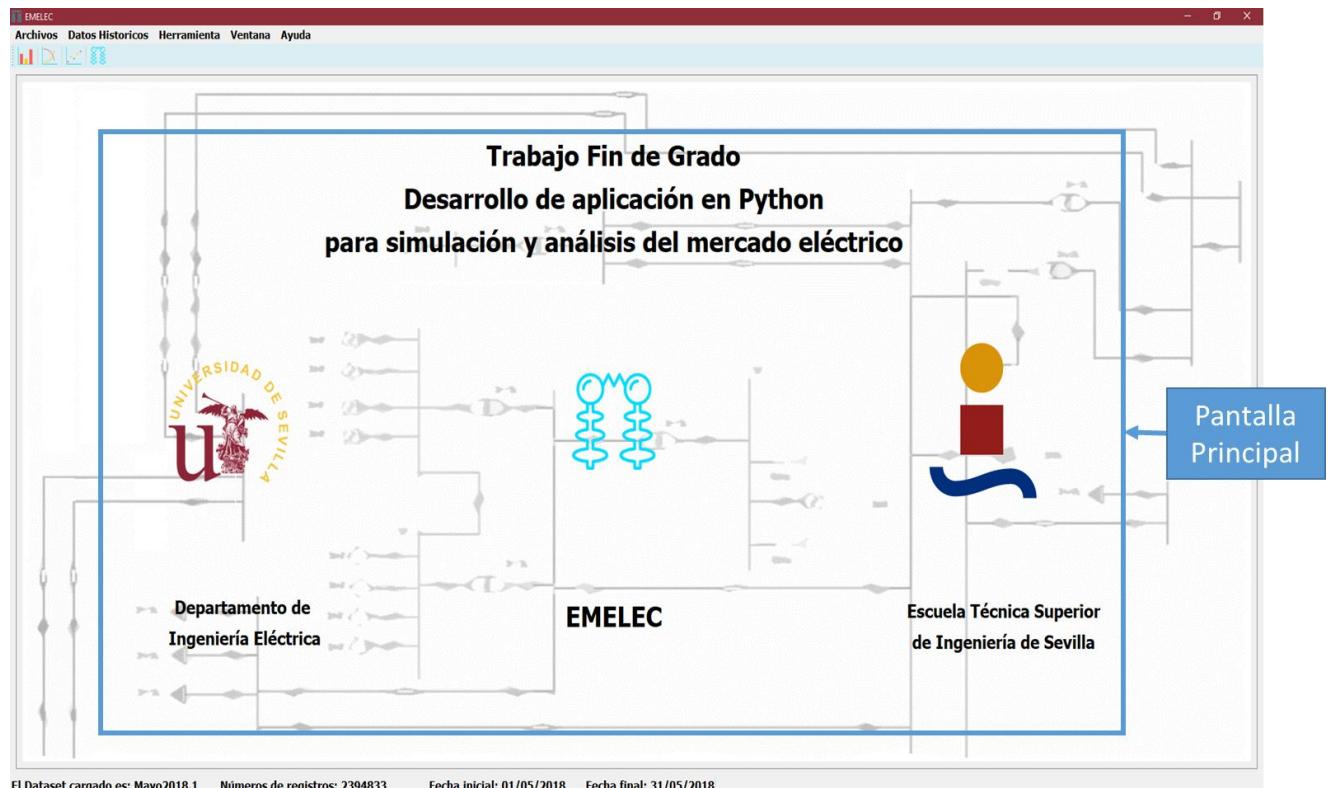


Figura 14: Posición de la pantalla principal en la interfaz

#### 8.1.4 Statusbar

En la parte inferior de la pantalla, está situada la StatusBar. Esta función proporciona al usuario la información del dataset, el número de registros, la primera fecha y la última fecha, de los datos que están cargados en el DataFrame. Permite dar información adicional al usuario, para que tenga los datos que va a utilizar de forma clara y visual.

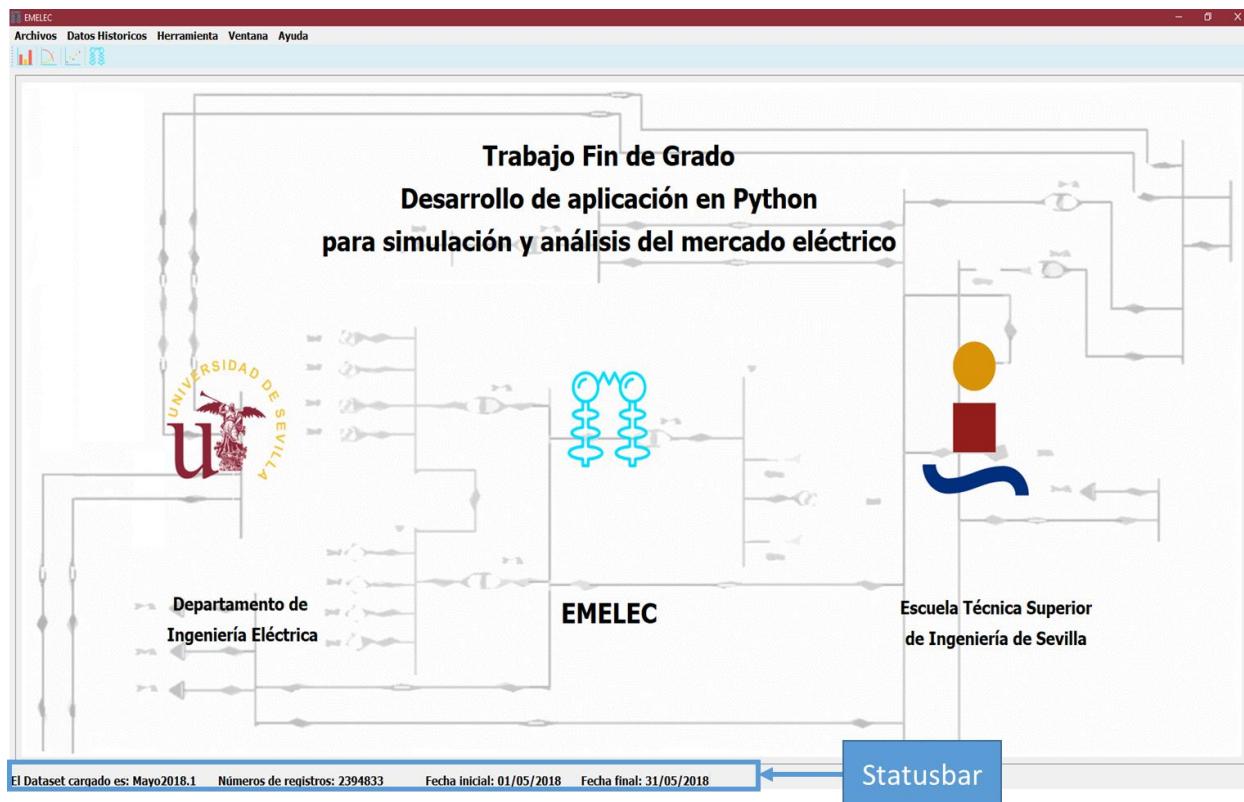


Figura 15: Posición de la statusbar en la interfaz

## 8.2 Archivos

Antes de seleccionar la opción de la barra de menú “Archivos” el usuario previamente tiene que descargar manualmente los archivos de curva\_pbc\_uof (curvas de oferta y demanda del mercado diario) desde OMIE (Operador de mercado español).

Estos archivos contienen los datos de la subasta del mercado marginalista diario, desde hace tres meses con respecto al día actual, con la información de la oferta de compra y venta, tanto casada como ofertada de la energía y precio, e identificada por las unidades ofertantes que operan en este mercado. Los ficheros descargados los tendrá que almacenar en la carpeta llamada PBC\_UOF. Esta carpeta será la base de datos local donde se encontrará todos los archivos descargados manualmente desde OMIE.

En esta opción de la barra de menú aparecen tres pestañas que podemos seleccionar: Unificador de archivo, Abrir y Salir.

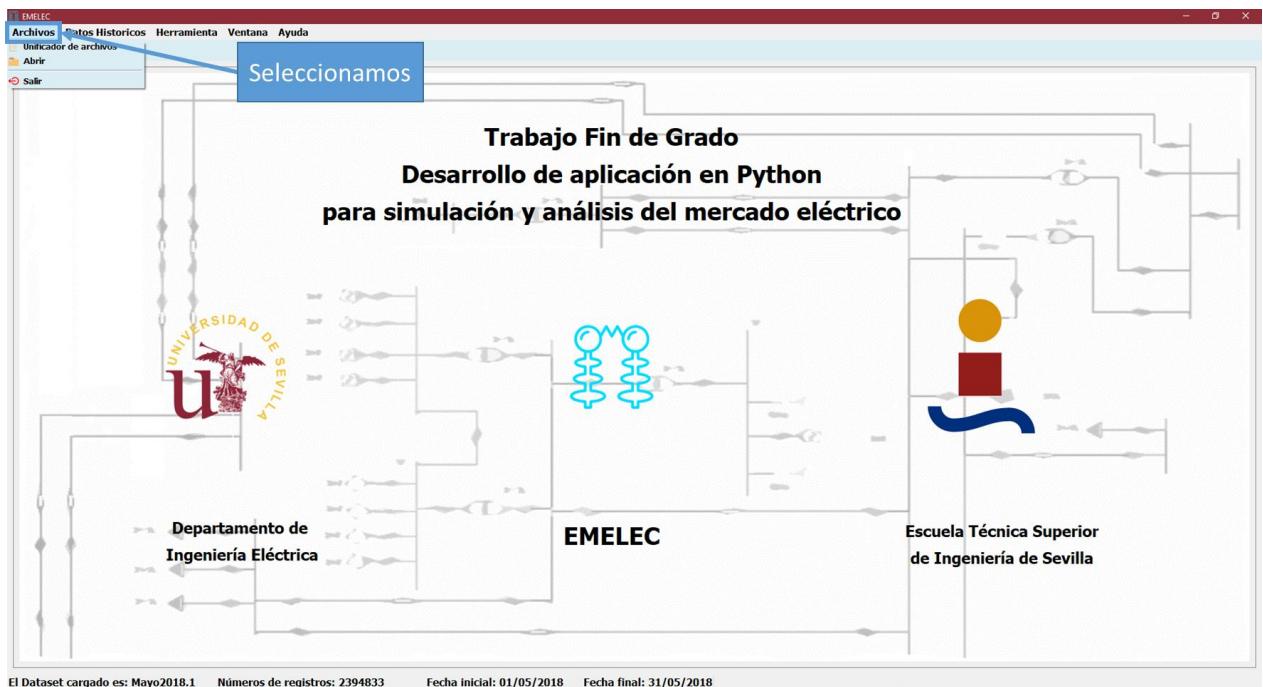


Figura 16: Pestaña de Archivos

### 8.2.1 Unificador de archivos

La pestaña de “Unificador de archivo” tiene la función de generar dataset, con los ficheros de curvas\_pbc\_uof que están contenido en la base de datos local del ordenador.

El dataset puede contener un solo fichero o varios ficheros, por ello, con esta función unificaremos los distintos ficheros de curvas\_pbc\_uof seleccionados y creará y almacenará automáticamente en la carpeta “datasets” el nuevo archivo con su nombre asignado por el usuario.

Del mismo modo, se creará automáticamente un archivo info.txt con la información de los nombres de las curvas\_pbc\_uof que están contenidos en el dataset, para proporcionar la información necesaria a modo de recordatorio sobre qué datos contiene el dataset, creados en la base de datos sin tener que abrirlo.

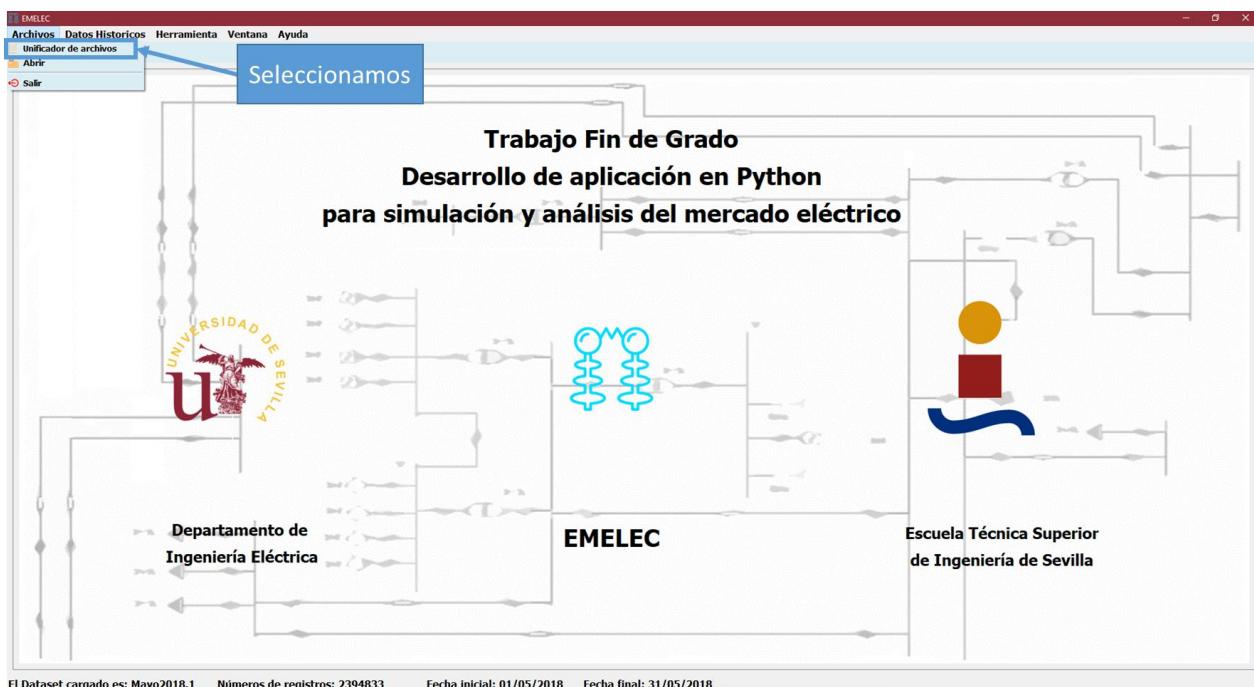


Figura 17: Pestaña unificador de archivos [23] [24]

Muestra la ventana de “Nuevo Datasets” con tres sub-ventanas. En la primera sub-ventana aparecen las carpetas por fechas con los datos descargados desde OMIE, es decir, en esta sub-ventana se mostrará la base de datos local que contiene las curvas\_pbc\_uof que está en el ordenador.

Al seleccionar Unificador de archivos, se muestra la siguiente ventana:

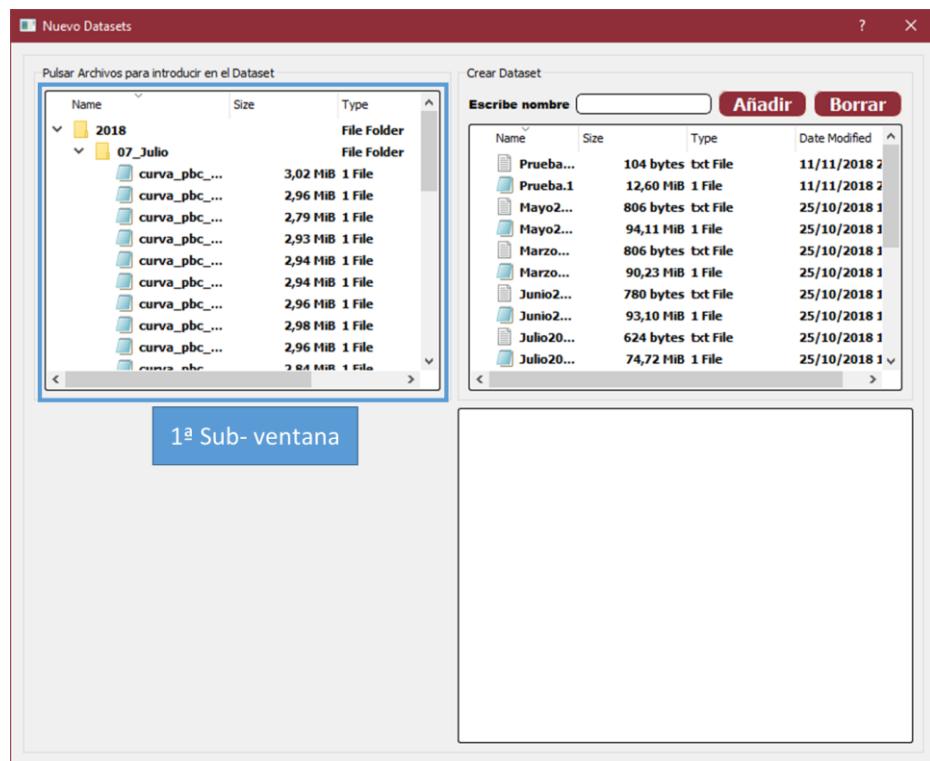


Figura 18: Ventana de nuevo dataset sub-ventana 1

En la segunda sub-ventana se muestra los dataset creados por el usuario, que son la unificación de todos los archivos que se han seleccionado de la primera sub-ventana, y el archivo de información, que contiene el nombre de los ficheros que se han introducido para crear el dataset.

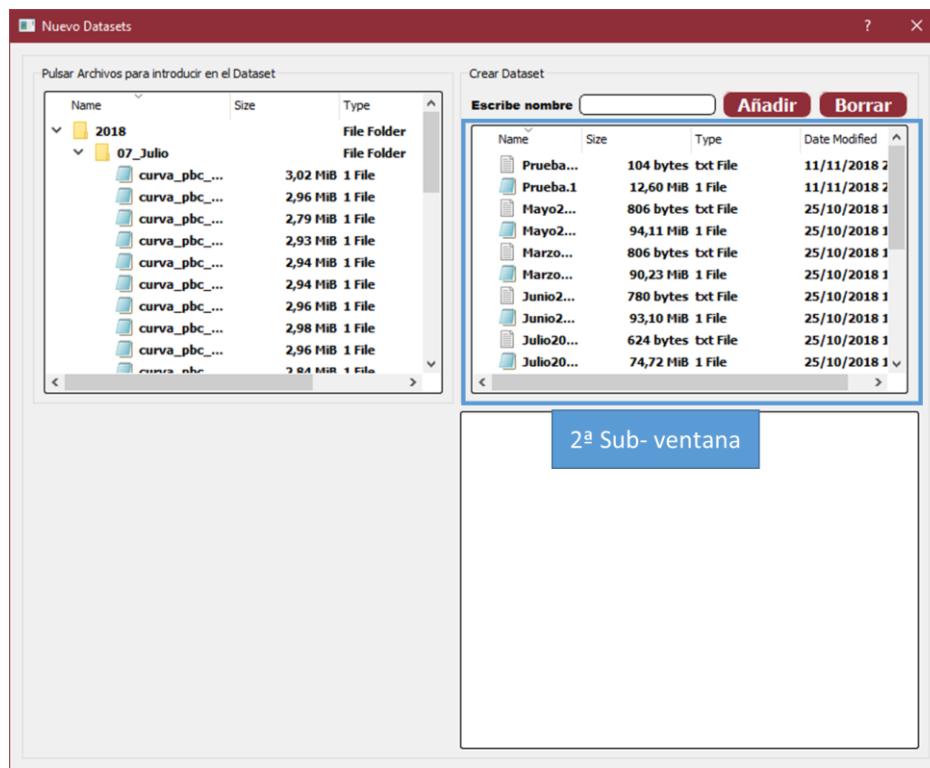


Figura 19: Ventana de nuevo dataset sub-ventana 2

La tercera sub-ventana es de información, en ésta muestra e informa al usuario de los archivos que se está seleccionando para crear el dataset. La información se irá mostrando conforme el usuario vaya seleccionando los archivos.

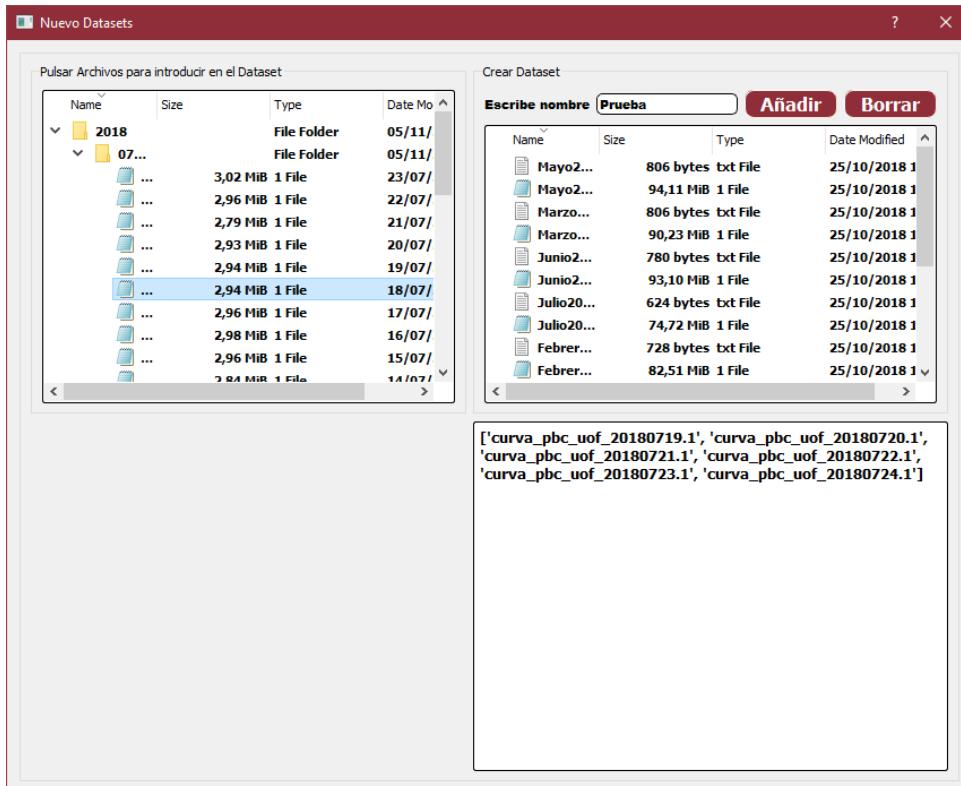


Figura 20: Ventana de nuevo dataset sub-ventana 3

Si seleccionamos de la sub-ventana 2, el dataset previamente creado o el archivo de informe, podremos visualizar en la sub-ventana 3, la información que está contenida en ambo archivos.

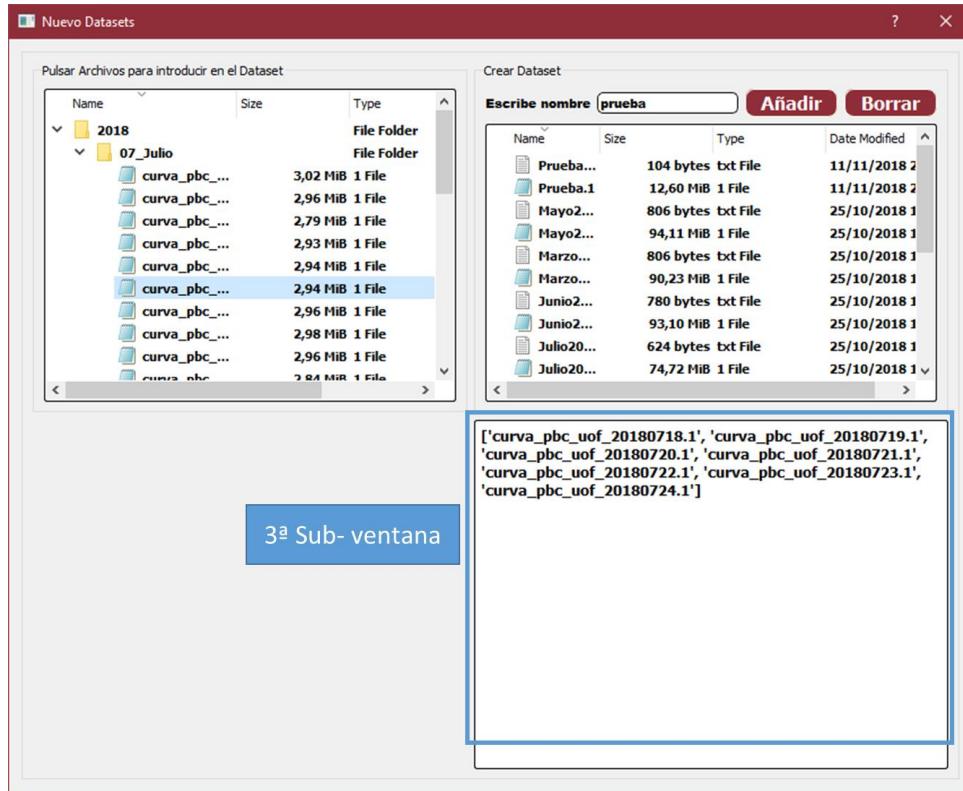


Figura 21: Ventana de nuevo dataset sub-ventana 3 datos del dataset

Como se puede observar, también aparece una casilla, en la cual, el usuario proporcionará el nombre al dataset. Si se pulsa el botón “Añadir”, su función es la de unificar los datos seleccionados y generar el dataset. La función del botón “Borrar”, consiste en eliminar la información proporcionada por el usuario como el nombre, los ficheros seleccionados y limpiar la sub-ventana 3.



Figura 22: Añadir nombre del dataset

## 8.2.2 Abrir

La pestaña de “Abrir”, tiene la función de cargar el dataset en la memoria del ordenador, es decir, en la forma de DataFrame (archivo cargado con la librería pandas en Python), para poder trabajar con los datos que está contenido en el dataset a través de la programación de Python. Se realiza esta carga, para poder manejar y extraer de una forma más eficiente y rápida, los datos contenidos en el dataset, no siendo necesario de este modo, utilizar el lenguaje de programación SQL.

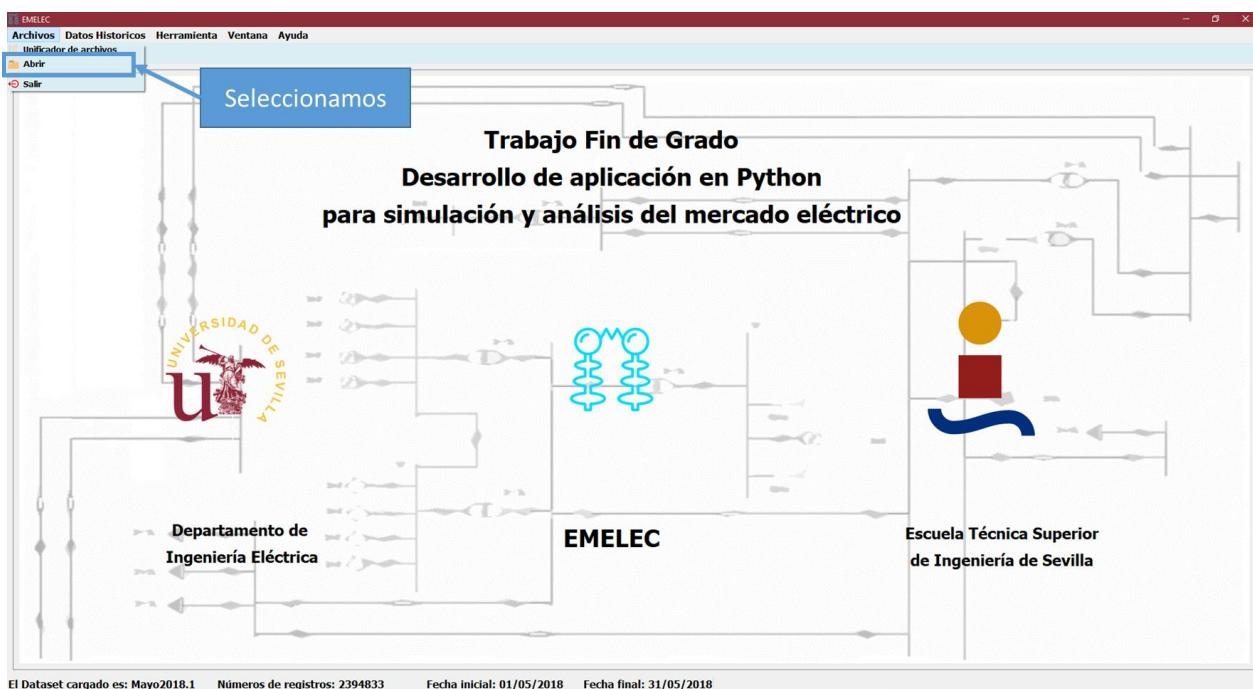


Figura 23: Pestaña Abrir

Si seleccionamos la opción “Abrir” se muestra la pantalla “Carga DataFrame”. En esta pantalla se puede visualizar dos sub-ventanas. La primera de ellas, contiene todos los dataset creado por el usuario y los archivos de información de los dataset.

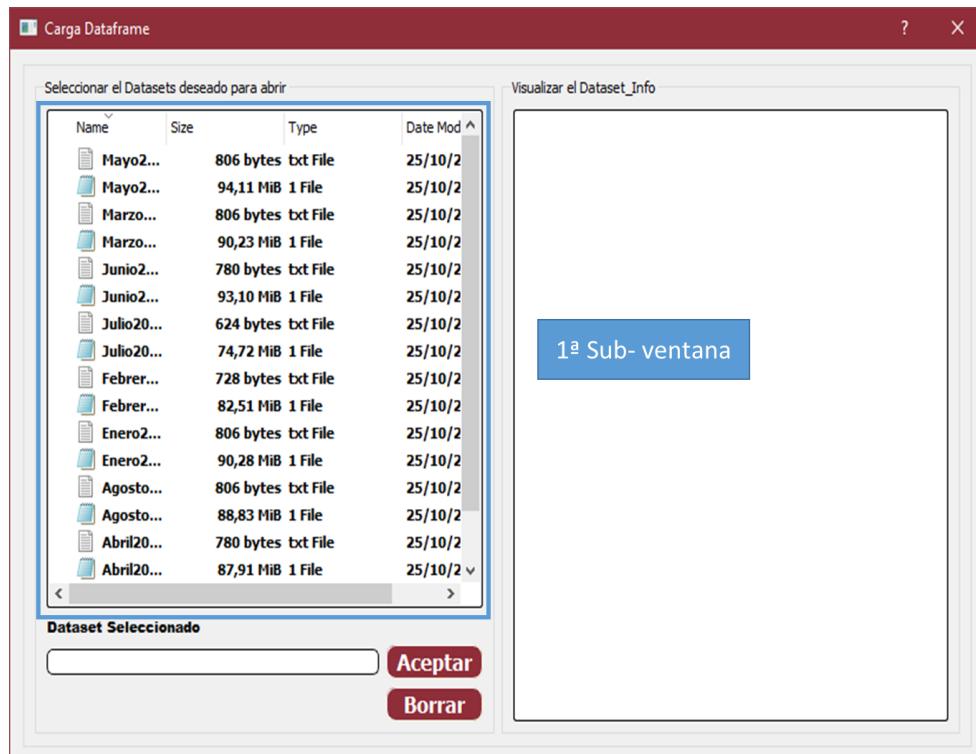


Figura 24: Ventana de carga dataframe sub-ventana 1

La segunda sub-ventana, es en la que se puede visualizar la información contenida en los archivos info y dataset.

Seleccionando el archivo de Prueba\_Info.txt en la segunda sub-ventana, se mostrará la información de los archivos que contiene el dataset Prueba.1.

Si el usuario selecciona cualquiera de los dos archivos, (info o dataset) el nombre del dataset se colocará automáticamente en la casilla de Datasets Seleccionado. Como en el ejemplo que se muestra a continuación, Mayo2018.1, es el dataset que se quiere cargar para poder realizar las pruebas.

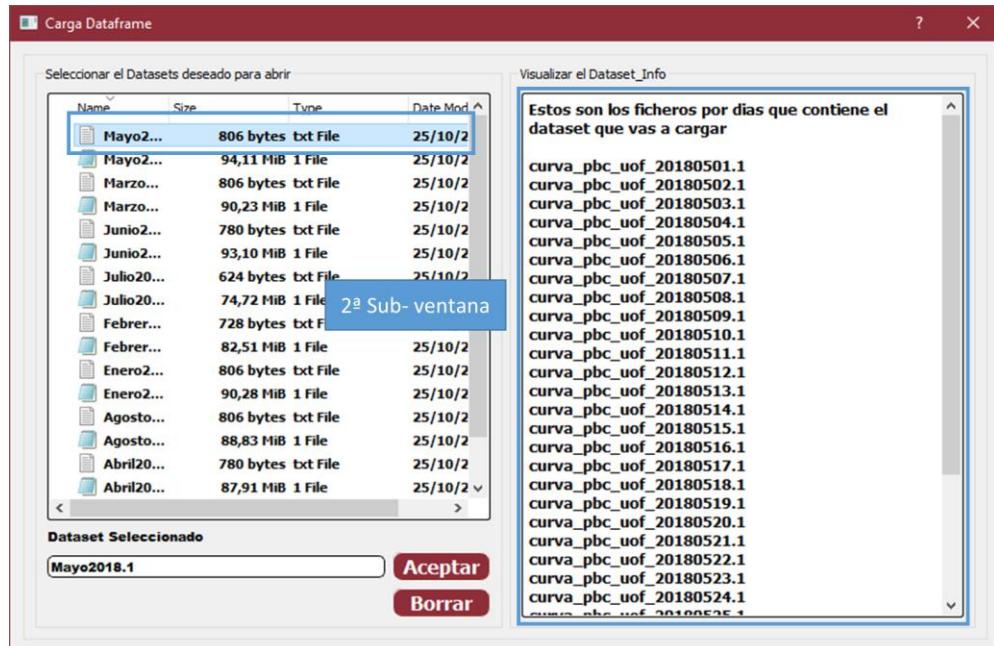


Figura 25: Ventana de carga dataframe sub-ventana 2

Pulsando “Aceptar”, la flecha del ratón se convierte en un círculo animado, que gira en sentido de las agujas del reloj, e informa al usuario del proceso de carga del DataFrame. Una vez cargado, esta ventana se cerrará automáticamente.

Cuando esté cargado el DataFrame, es el momento en el que se le puede empezar a modificar y extraer mediante el programa, la información contenida de una manera más visual y sencilla.

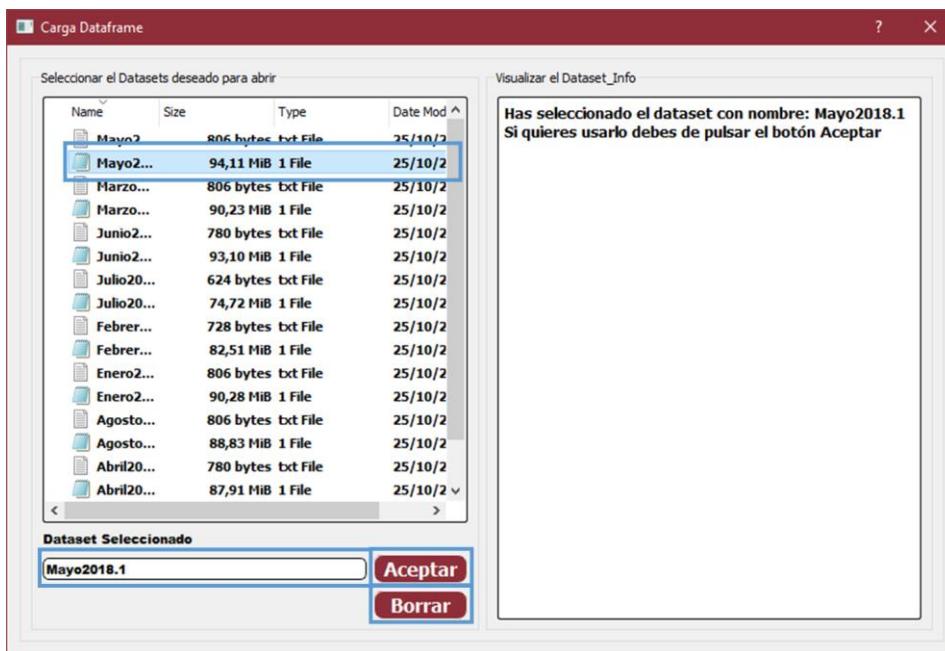


Figura 26: Ventana de selección de dataset

### 8.2.3 Salir

La funcionalidad de esta pestaña es la de cerrar la herramienta EMELEC.

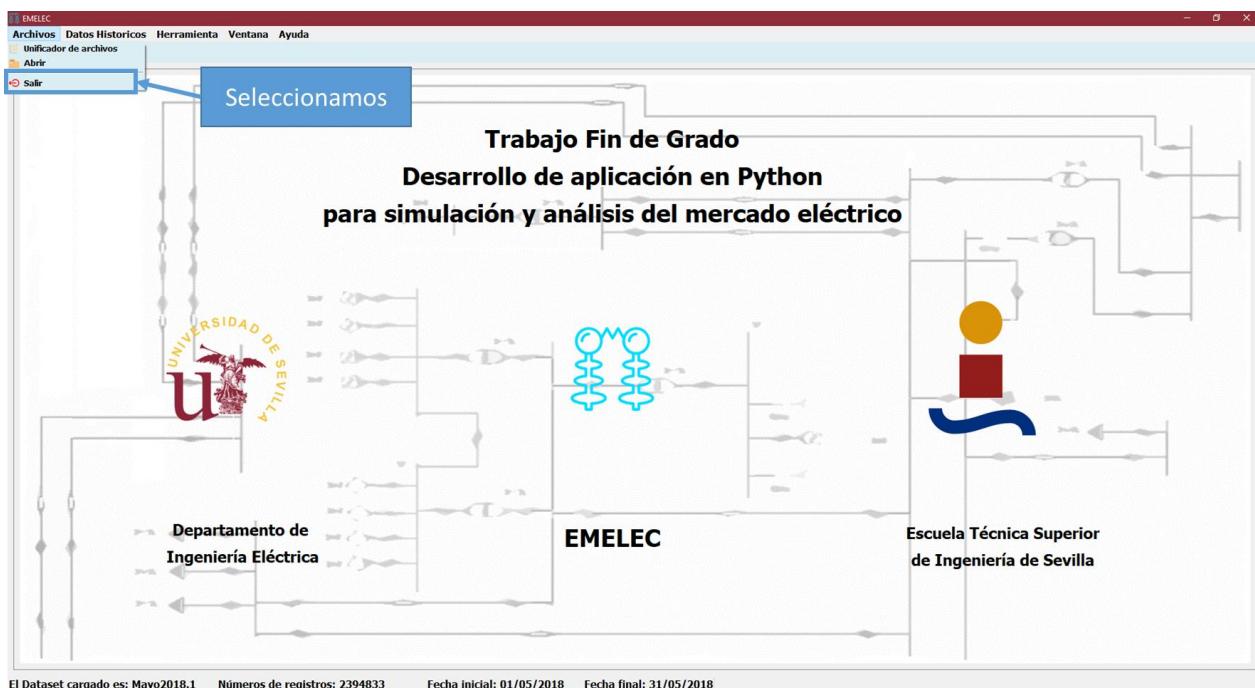


Figura 27: Pestaña Salir

## 8.3 Datos Históricos

En esta opción de la barra de menú aparecen dos pestañas:

- **Precio horario del mercado diario:** Su función es la de poder visualizar de forma gráfica y numérica la aplicación de algunas funciones estadística como la media, mediana, la moda... a los datos de precio y energía del DataFrame. También proporciona los datos de la Energía casada, la energía ofertada de compra, etc. como se explicará posteriormente.
- **Curva agregada de oferta y demanda:** La otra funcionalidad es la curva agregada de oferta y demanda, y su función es la de representar con una gráfica la curva marginalista de los datos del mercado diario que está contenido en el DataFrame.

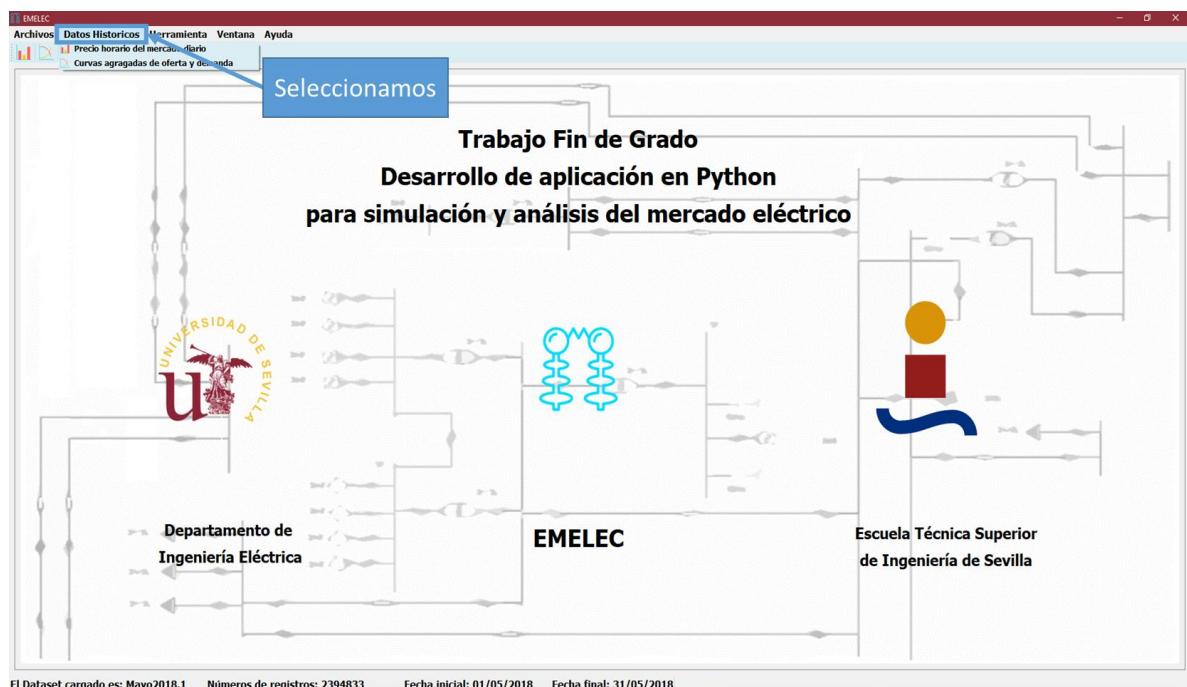


Figura 28: Pestaña datos históricos

### 8.3.1 Precio horario del mercado diario

La pestaña del Precio del mercado diario posee la función de poder aplicar a los precios y energía del mercado, las funciones estadísticas y de representar estos datos cargados en el DataFrame, con las gráficas de histogramas.

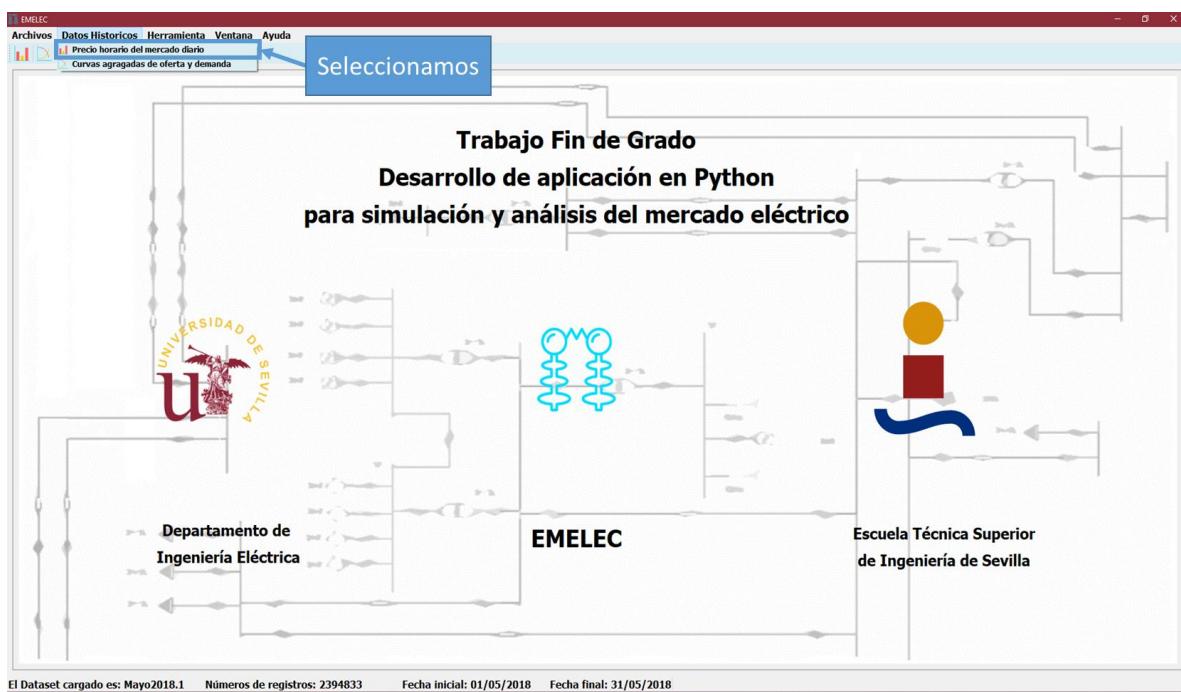


Figura 29: Pestaña precio horario del mercado diario [25]

Al seleccionar la opción que aparece en la imagen anterior, se muestra la ventana en la pantalla principal del programa, como podemos observar en la siguiente imagen:

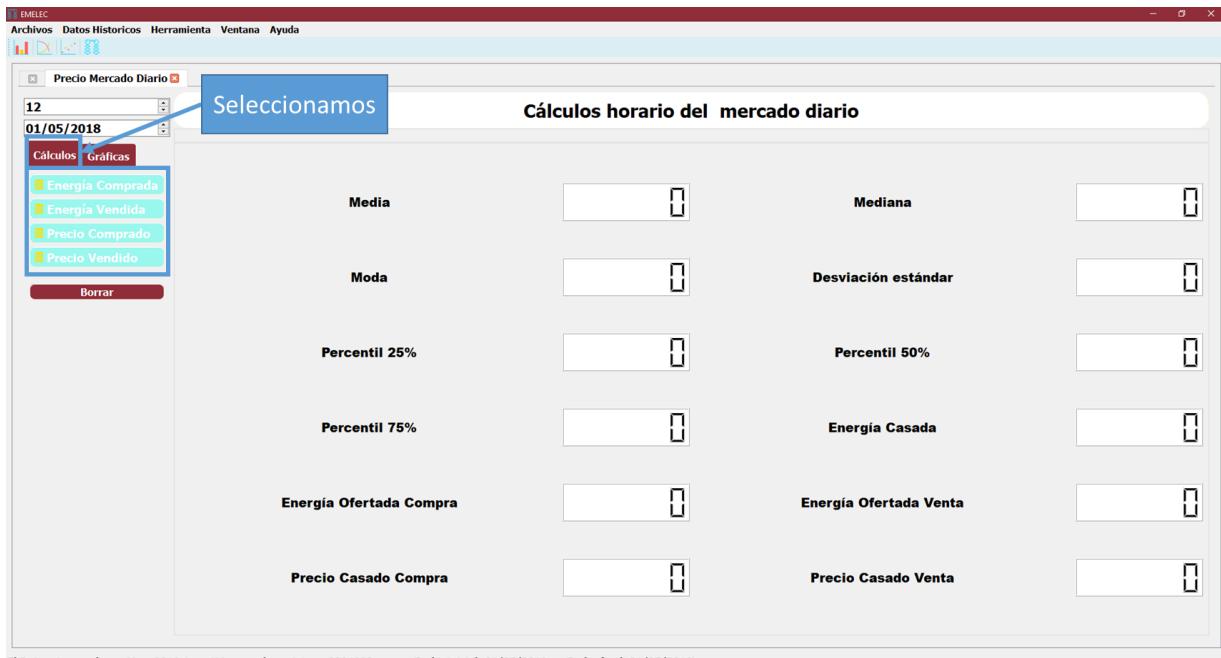


Figura 30: Pantalla de precio horario del mercado diario

Como se puede observar en esta ventana, hay una tabla con dos pestañas, una es Cálculos y la otra es Gráficas, lo que contiene en cada una de las pestañas, se desglosará a continuación.

### 8.3.1.1 Cálculos

En esta pestaña, se visualiza que de la tabla se aplican, a los datos de energía y precios de compra y venta que están contenidos en el DataFrame, las funciones estadísticas básicas, como la media, mediana, desviación estándar, los percentiles 25%, 50% y 75%. Igualmente se puede visualizar el precio casado para la hora seleccionada, la energía ofertada de compra, la energía ofertada de venta, los precios casados de compra y los precios casados de venta.



Figura 31: Pantalla de cálculos de precio de horario de mercado diario

#### 8.3.1.1.1 Función estadística media

La media aritmética es el promedio de un conjunto de valores.

#### 8.3.1.1.2 Función estadística mediana

La mediana representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.

#### 8.3.1.1.3 Función estadística moda

En estadística, la moda es el valor con mayor frecuencia en una distribución de datos.

#### 8.3.1.1.4 Función estadística desviación estándar

La desviación estándar, es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución de datos. De hecho, específicamente, el cuadrado de la desviación estándar es “el promedio del cuadrado de la distancia de cada punto respecto del promedio”.

La desviación estándar de un conjunto de datos, es una medida de cuánto se desvían los datos de su media. Esta medida es más estable que el recorrido y toma en consideración el valor de cada dato.

#### 8.3.1.1.5 Función estadística percentil 25%, 50%, 75%

El percentil, es una medida de posición usada en estadística que indica que una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones. Por ejemplo, el percentil 25 es el valor bajo el cual se encuentran el 25 por ciento de las observaciones. Lo mismo para los otros dos porcentajes.

#### 8.3.1.2 Gráficas

En esta pestaña, se puede visualizar las gráficas de histograma de los siguientes datos: los precios marginales por hora de España y Portugal, precio de compra y venta de la energía en España, la desviación estándar de los precios ofertados, el precio marginal medio por hora ofertado, la energía ofertada de compra y venta y la distribución en caja de los precios del mercado diario.

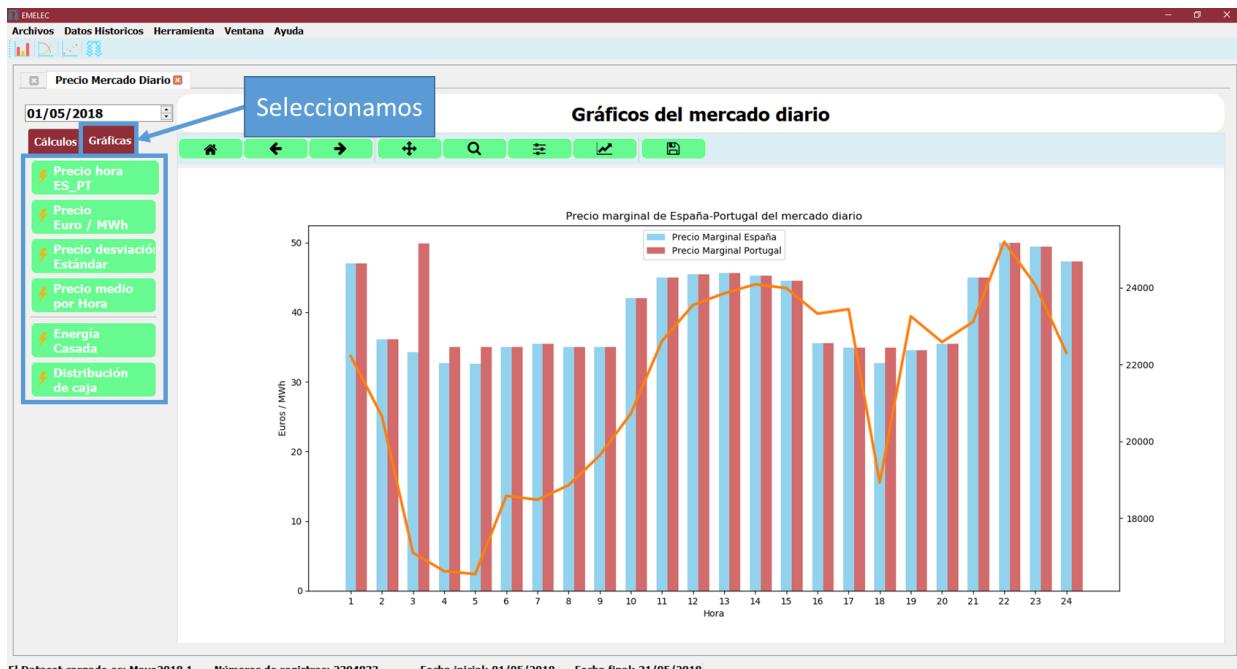


Figura 32: Pantalla de grafica de precio de horario de mercado diario [26]

#### 8.3.1.3 Precio Marginal España – Portugal

Al seleccionar la opción de Precio marginal ES-PT aparece una gráfica de histograma que contiene en el eje de abscisa, los períodos del día seleccionado (24) y en el eje de ordenadas, se encuentran los precios en €/MWh y en el tercer eje se encuentra la energía en MWh. Se observa que el color azul de la barra del histograma, indica los precios de compra casado de España, para cada hora del día y el color rojo de las barras del histograma, indica los precios de compras casados de Portugal para cada hora del día. También está representada una línea naranja que indica la suma de energía casada para cada hora de España.

Se puede observar, que los precios de España y Portugal en determinadas horas no coinciden, cuando esto sucede, se le llama “Market Splitting”, que quiere decir, que los mercados de España y Portugal están desacoplados o separados.

Si por el contrario los precios de compras de España y Portugal, en determinadas horas, coinciden se le denomina “Market Coupling”, es decir, que los dos mercados están perfectamente acoplados y trabajarian como un solo Mercado, el mercado ibérico.

Cuando esto sucede, si tenemos “Market Splitting” en el fichero se identifica en la columna de País “ES” o “PT”, pero si tenemos “Market Coupling” en la columna de “País” se coloca “MI”.

En la siguiente gráfica se muestra las ofertas casadas de compra de ambos países. Se representa este valor puesto que, al tener la curva agregada de oferta y demanda el mismo Welfare o bienestar social, el algoritmo Euphemia selecciona el precio que está por encima, (que suele ser el de compra) siendo, este precio finalmente, el precio marginal de la subasta.

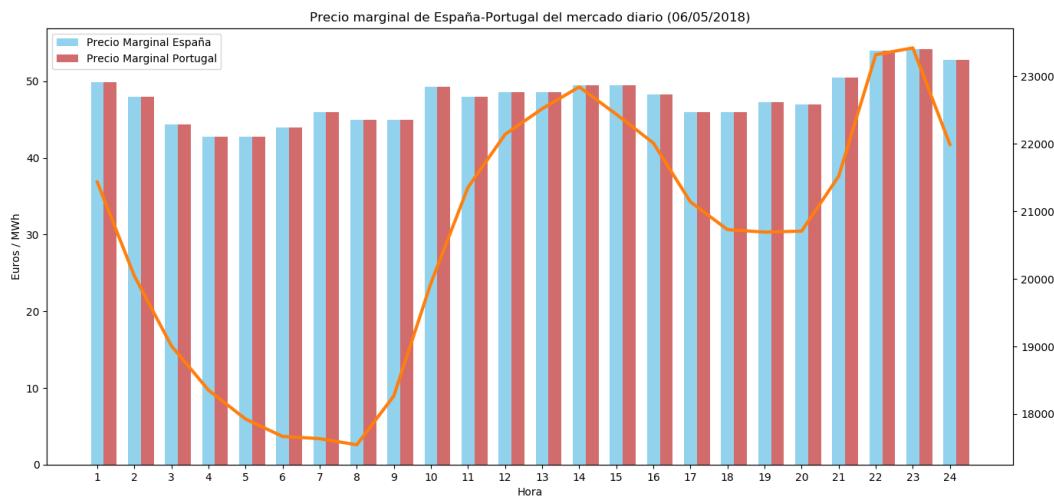


Figura 33: Gráfica precio marginal de España – Portugal del mercado diario

#### 8.3.1.4 Precio Marginal Compra – Venta España

Al seleccionar la opción de Precio Euros/MWh, aparece una gráfica de histograma que contiene en el eje de abscisa los periodos del día seleccionado, y en el eje de ordenadas se encuentran los precios en €/MWh.

El color azul de la barra del histograma, indica los precios de venta casado de España para cada hora del día, y en el color rojo, indica los precios de compras casados de España para cada hora del día.

Se puede observar que los precios de venta y compra en determinadas horas no coinciden y es por la forma de la gráfica de la curva agregada de oferta y demanda, al tener forma de escalón, los cortes de ambas líneas en algunas ocasiones no coinciden.



Figura 34: Gráfica precio marginal de compra y venta España

### 8.3.1.5 Precio marginal desviación estándar compra/venta

Al seleccionar la opción de Precio marginal desviación estándar compra/venta, aparece una gráfica de histograma que contiene en el eje de abscisa, los períodos del día seleccionado, y en el eje de ordenadas, se encuentran los precios en €/MWh.

El color azul de la barra del histograma, indica los precios marginales de desviación estándar de venta de España para cada hora del día, y en el color rojo, se indica los precios marginales de desviación estándar de compra de España para cada hora del día.

La desviación estándar de un conjunto de precios, es una medida que sirve para conocer, cuánto se desvían los precios de su media. Esta medida es más estable que el recorrido y toma en consideración el valor de cada precio.

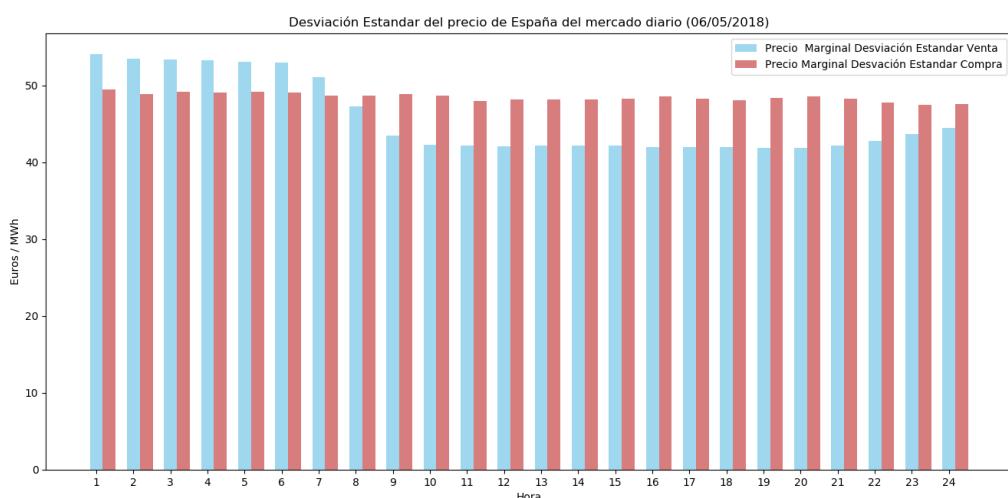


Figura 35: Gráfica desviación estándar del precio de España del mercado diario

### 8.3.1.6 Precio marginal medio compra/venta España

Al seleccionar la opción de Precio medio por hora, aparece una gráfica de histograma, que contiene en el eje de abscisa, los periodos del día seleccionado (24), y en el eje de ordenadas, se encuentra los precios en €/MWh.

En la siguiente gráfica, se aprecia los valores medios de los precios de la energía ofertada en la subasta del Mercado diario de España. Como se puede visualizar, los precios de compra ofertados tienen una media mucho más alta, esto se debe a que la pendiente de las ofertas de compra es más inclinada. Sin embargo, con la energía de venta, es, al contrario, la pendiente de la oferta de venta es mucho más suave. Ello demuestra la gran diferencia de los precios que se obtienen en esta gráfica.

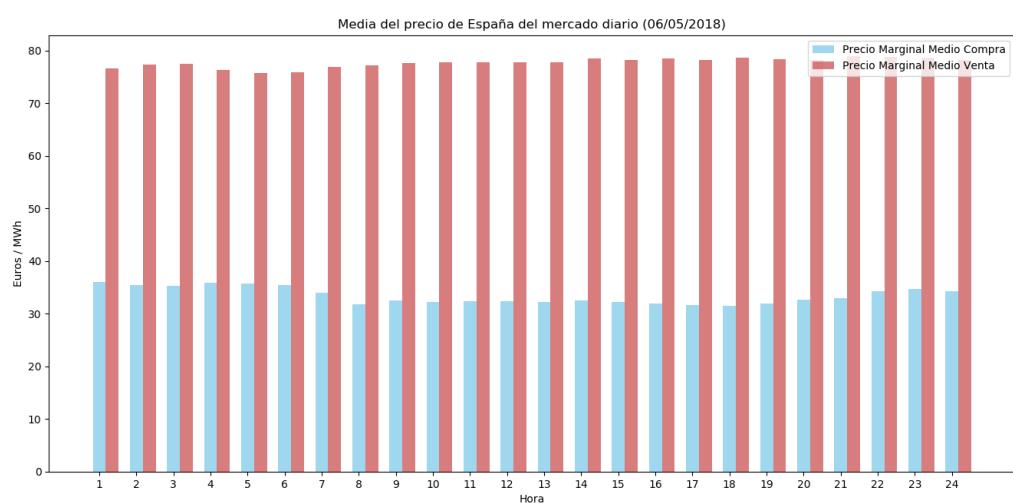


Figura 36: Gráfica media del precio de España del mercado diario

### 8.3.1.7 Energía ofertada compra/venta España

Al seleccionar la opción de “Energía casada”, aparece una gráfica de histograma, que contiene en el eje de abscisa los periodos (24) del día seleccionado, y en el eje de ordenadas se encuentra la suma de energía en MWh.

En esta gráfica, se representa con una línea roja, la suma energía ofertada de venta de España por periodo, y con la línea naranja, la suma de energía de venta de España por periodos del día seleccionado. Se puede apreciar que, en el mercado diario de la electricidad en España, se oferta mucha más energía de venta que de compra.

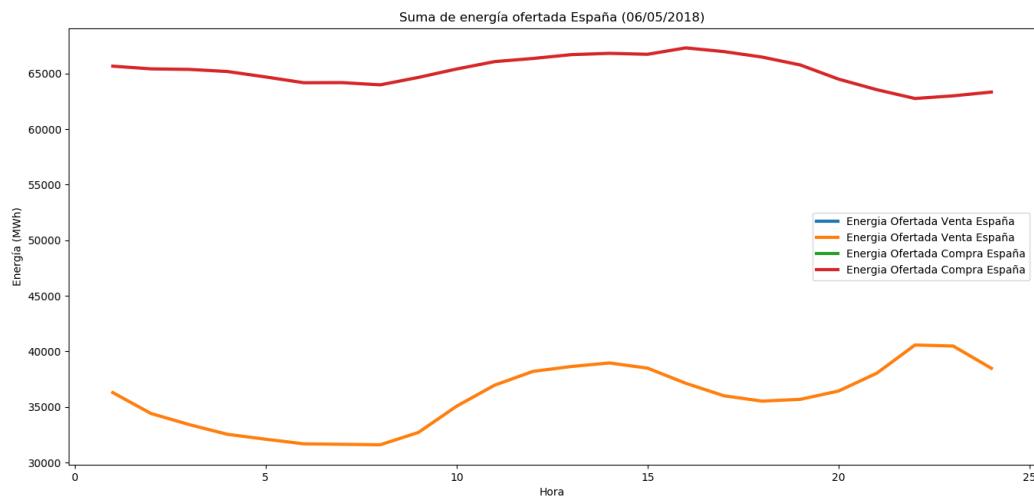


Figura 37: Gráfica suma de energía ofertada España

### 8.3.2 Curva agregada de oferta y demanda

En esta pantalla, se puede visualizar las curvas agregadas de la oferta y demanda del mercado diario que está cargado en el DataFrame.

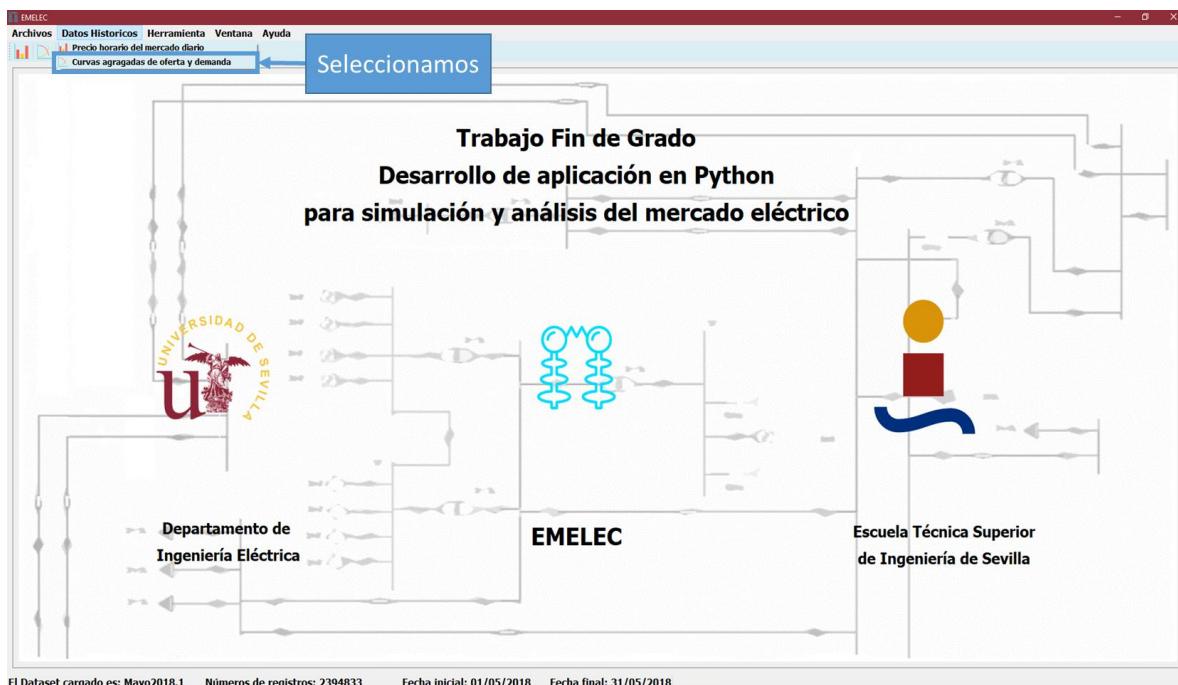


Figura 38: Pestaña curva agregada de oferta y demanda

Si el usuario selecciona la pestaña de curva agregada de oferta y demanda, se muestra la pantalla en la contiene distintas funcionalidades, que son las que se detallan a continuación:

- Un calendario: Para seleccionar el día, mes y año de los datos cargados en el DataFrame.

- Un spinbox: Para seleccionar el periodo.
- El botón de generar gráfica: Para mostrar la gráfica de la curva agregada de oferta y demanda.
- LCD Energía Casada: Muestra el valor en MWh de la energía casada para la fecha y la hora seleccionada.
- LCD Energía ofertada de compra: Muestra el valor en MWh de la energía ofertada de compra para la fecha y la hora seleccionada.
- LCD Energía ofertada de venta: Muestra el valor en MWh de la energía ofertada de venta para la fecha y la hora seleccionada.
- LCD Precio casado de compra: Muestra el valor en €/MWh del precio casado de compra para la fecha y la hora seleccionada.
- LCD Precio casado de venta: Muestra el valor en €/MWh del precio casado de venta para la fecha y la hora seleccionada.

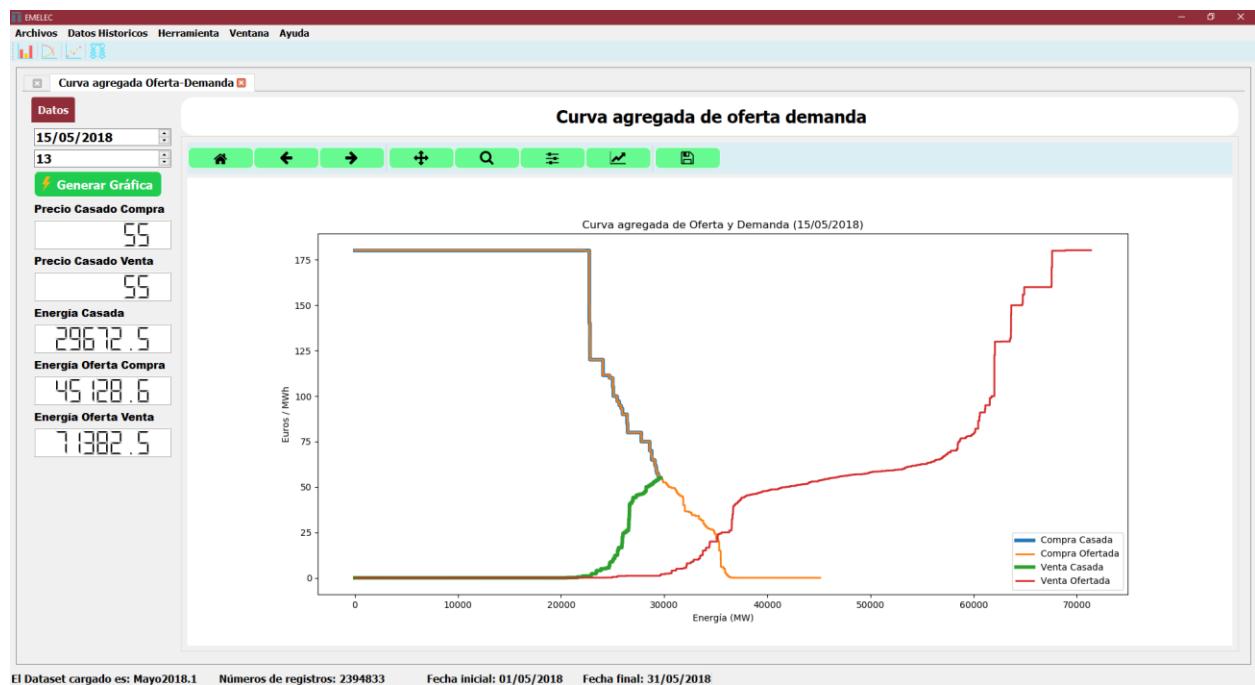


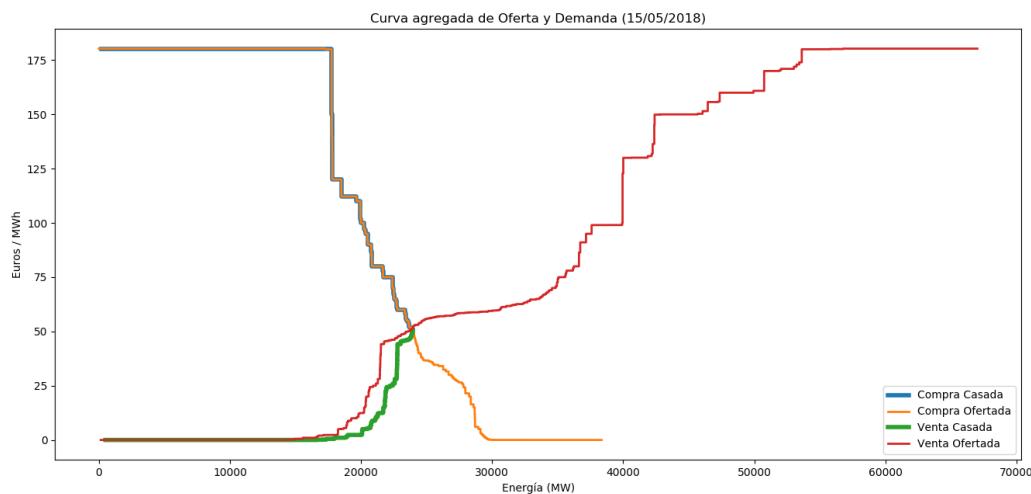
Figura 39: Pantalla de la curva agregada de oferta y demanda

La funcionalidad es la misma que en el anterior, seleccionando la fecha y la hora (o periodo), se pulsa el botón Generar Gráfica y nos muestra la gráfica de la curva agregada de oferta y demanda para dicha fecha y hora, en la cual aparece 4 líneas de distintos colores en los que podemos diferenciarlos por:

- Línea Roja: Suma de energía ofertada de venta por precio.
- Línea verde: Suma de energía casada de venta por precio.

- Línea naranja: Suma de energía ofertada de compra por precio.
- Línea azul: Suma de energía casada de compra por precio.

En el corte de las dos líneas de color verde y azul, se indica el precio marginal casado del mercado diario para ese día y hora.



*Figura 40: Gráfica de curva agregada de oferta y demanda con market coupling*

Si el usuario necesita comprobar para otro periodo y fecha, solo tendría que cerciorarse que tiene los datos cargados en el DataFrame de la nueva fecha, para la que quiere mostrar los datos, y pulsar de nuevo el botón de generar gráfica, y la gráfica se actualizará con los nuevos datos que se ha seleccionado. Si no se dispone de esos datos, el usuario tendría que recurrir al apartado 3.3.2 Abrir, que es para cargar un nuevo DataFrame.

Se puede comprobar en la ilustración X que se tiene market splitting y en la ilustración –X market cupling.

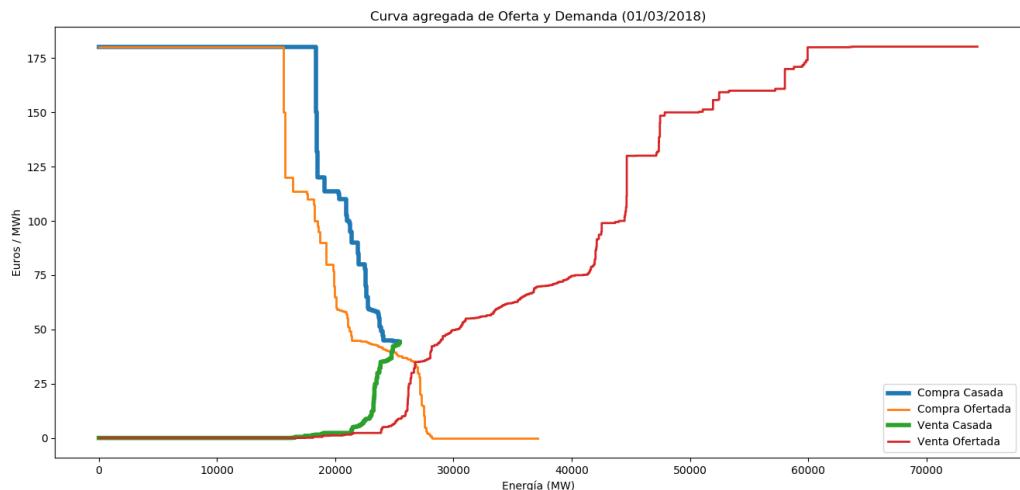


Figura 41: Gráfica de curva agregada de oferta y demanda con market splitting

## 8.4 Herramientas

En esta opción del menú, nos encontraremos con las dos pestañas más importantes del proyecto, que son: la opción de “Simulador de Mercado Simple” y la opción de “Estudio por Tecnología”.

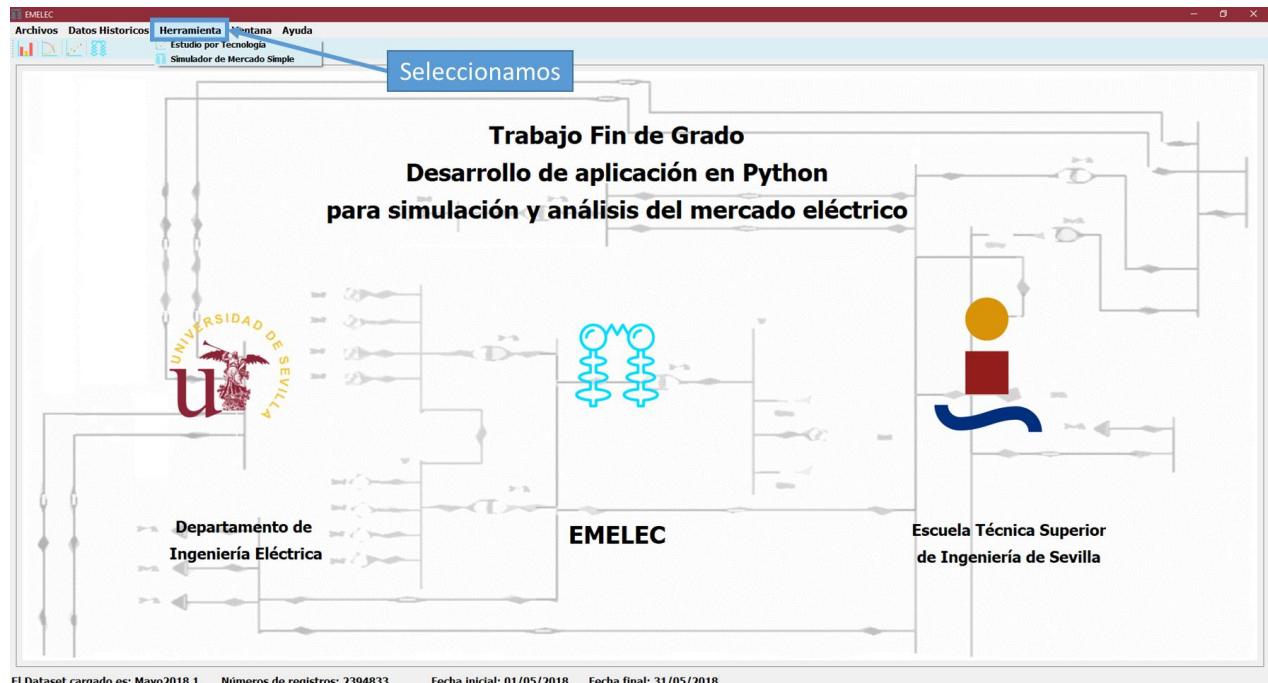


Figura 42: Pestaña herramientas

### 8.4.1 Estudio por Tecnología

La funcionalidad de esta ventana, es la de mostrar con una gráfica de nubes de puntos o clúster, los datos de los precios ofertados o casados por hora y energía para cada una de las tecnologías.

Con estas gráficas, se podrían identificar patrones en la forma de ofertar (escalera de precios), la cantidad de energía que ofertan para los intervalos de precios y cuáles son sus estrategias de las distintas tecnologías que operan en el mercado diario.



Figura 43: Pestaña estudio por tecnología

En estas gráficas se pueden observar los márgenes de precio a los que están ofertando o han casado en el mercado las distintas tecnologías. Éstas se diferenciarán con la siguiente gama de colores:

- Verde: 0 y 25 €/MWh
- Azul: 25 a 50 €/MWh
- Naranja: 50 a 75 €/MWh
- Rojo: 75 a 100 €/MWh
- Morado: 100 a 180.3 €/MWh

También nos muestra por la fecha y la hora, cuanta energía está ofertando para esos precios o cuanta energía ha casado finalmente y a qué precio en el mercado.

En la gráfica, se puede identificar por el tamaño del punto y por la opacidad, cuanto más grande y más opaco sea el punto, más energía se está ofertando para una hora y para ese precio o cuanto más pequeño y menos opaco sea el punto, menos energía se está ofertando para una hora y para ese precio.

Si se selecciona la pestaña de “Estudio por Tecnología” se mostrará la siguiente ventana:



Figura 44: Pantalla de estudio por tecnología

En esta pantalla el usuario tendrá:

- Un calendario: Para seleccionar el día, mes y año de los datos cargados en el DataFrame.
- Un ComboBox para la Tecnología: Para seleccionar la tecnología que se le quiere hacer el estudio del mercado Mibel.
- Un comboBox con los tipos de oferta: Para seleccionar “Venta” si la tecnología seleccionada en el comboBox anterior es tecnología ofertante de venta, o para seleccionar Compra, si la tecnología seleccionada en el comboBox anterior es tecnología ofertante de compra.
- Un comboBox de selección ofertada/casada: Si se selecciona “Ofertada” mostrará los datos ofertados de la tecnología seleccionada, y si se selecciona “Casado” mostrará los datos que al final ha casado la tecnología seleccionada en el mercado diario.
- El botón Generar Gráfica: Para mostrar la gráfica de la nube de puntos.
- LCD Energía ofertada 25€ - 50€: Muestra la suma de energía ofertada o casada en MWh para la fecha y la hora seleccionada en ese rango de precios.
- LCD Energía ofertada 50€ - 75€: Muestra la suma de energía ofertada o casada en MWh para la fecha y la hora seleccionada en ese rango de precios.
- LCD Energía ofertada 75€ - 100€: Muestra la suma de energía ofertada o casada en MWh para la fecha y la hora seleccionada en ese rango de precios.
- LCD Energía ofertada 100€ - 180€: Muestra la suma de energía ofertada o casada en MWh para la fecha y la hora seleccionada en ese rango de precios.

Cuando se selecciona en el comboBox de ofertada/casada la opción de “Ofertada”, nos muestra la cantidad de energía y el precio que se ha ofertado en ese día, en el mercado para la tecnología seleccionada.

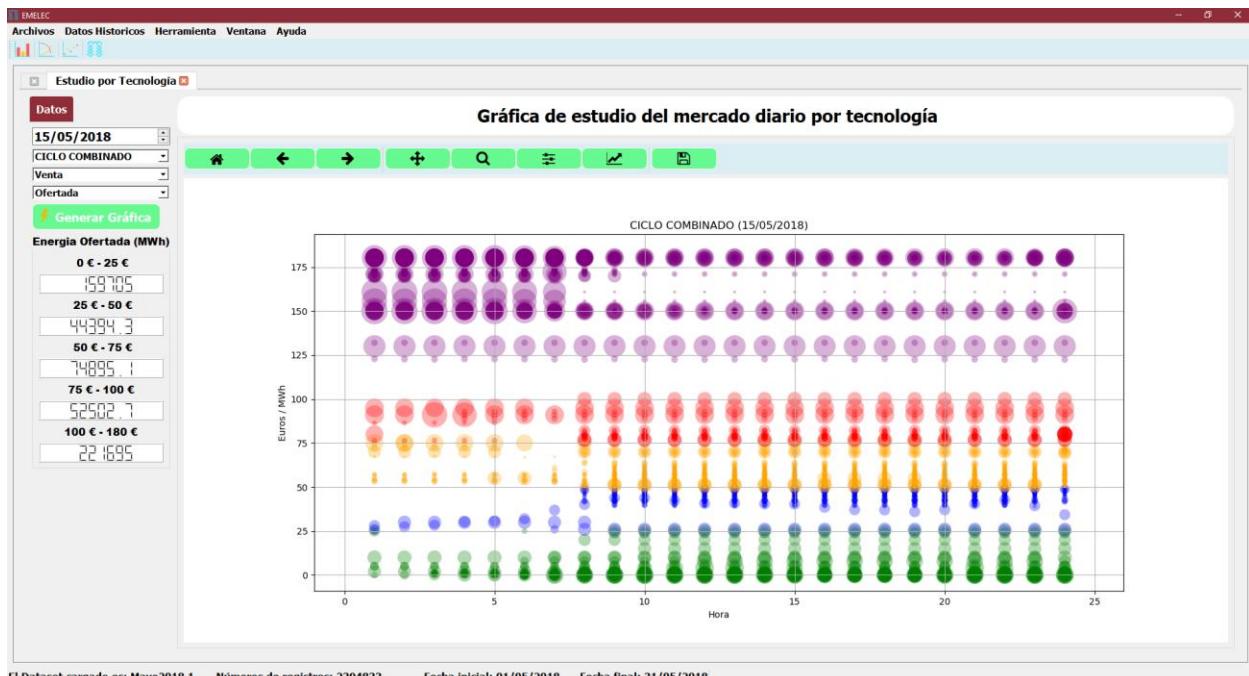


Figura 45: Pantalla de estudio por tecnología ofertada

Cuando se selecciona en el comboBox de ofertada/casada la opción de “Casada”, en la gráfica se nos muestra la cantidad de energía y al precio que se ha casado en ese día en el mercado para la tecnología seleccionada.

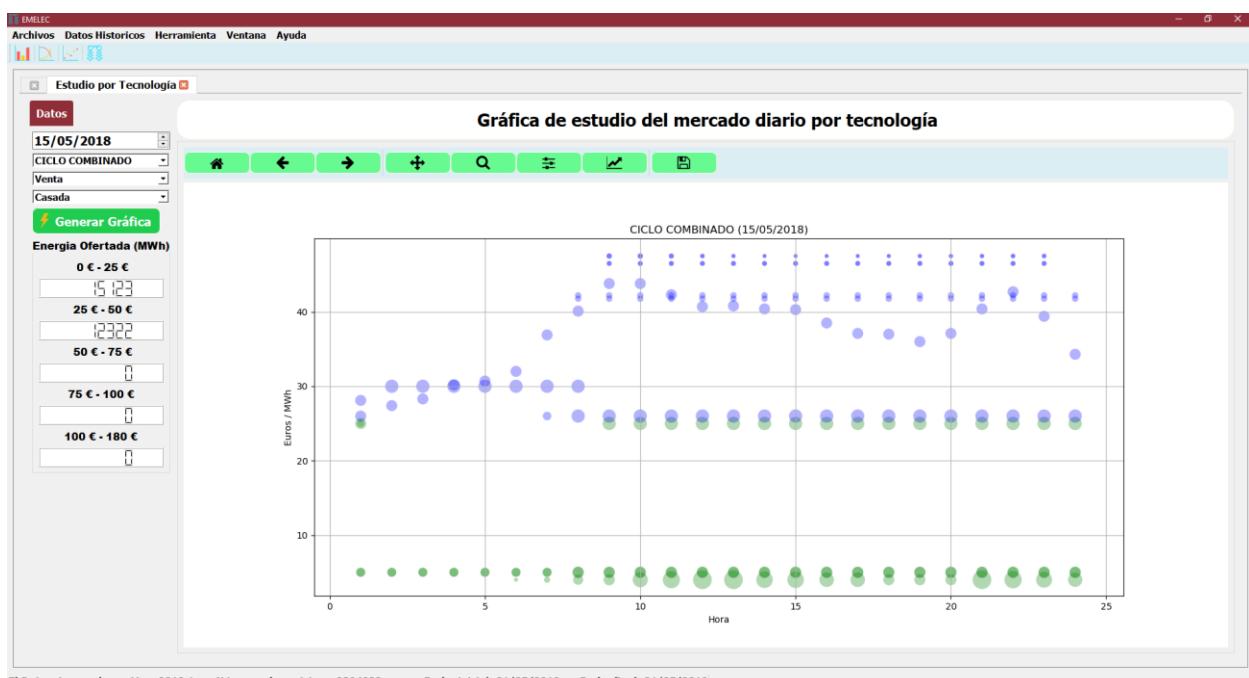


Figura 46: Pantalla de estudio por tecnología casada

#### 8.4.1.1 Gráfica Bombeo

En el programa, se representa como se oferta a cada hora del día, a qué precio y cuanta energía, la tecnología de bombeo, como se muestra en la siguiente gráfica. En ella se puede observar, que está ofertando la gran mayoría de su energía en un rango de precios entre 25€ y 50€, también el periodo en el que se ve un incremento de la oferta son de 1 a las 7 de la mañana, que es cuando más barata esta la energía y es cuando esta tecnología aprovecha para bombear el agua, y por último que sus ofertas se mantienen bastante estables.

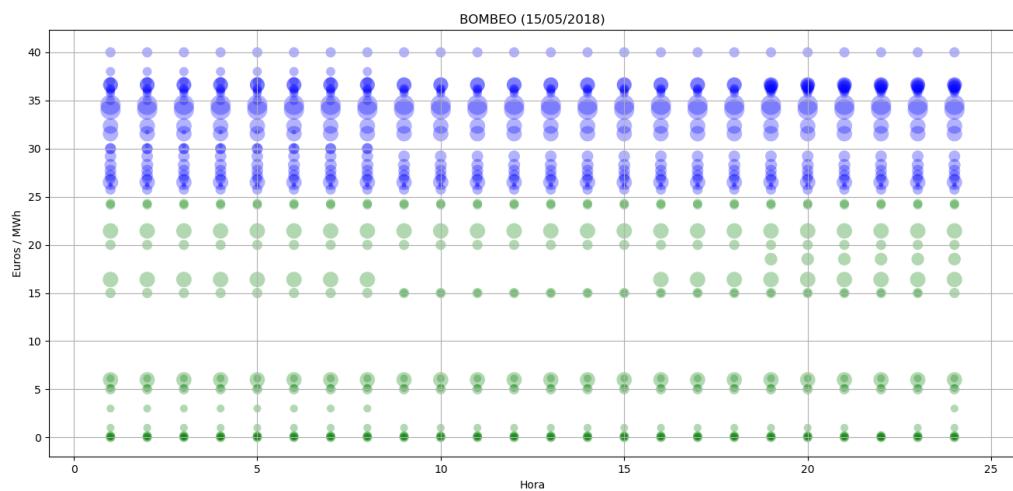


Figura 47: Gráfica clúster bombeo ofertada

En la siguiente gráfica, se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio. Con respecto al anterior gráfica (figura 44) se puede ver una gran diferencia de energía que oferta y la que realmente casa en el Mercado. Se puede decir, que la energía que ha casado, es porque en esas horas, el precio marginal se ha reducido tanto hasta conseguir llegar a casar.

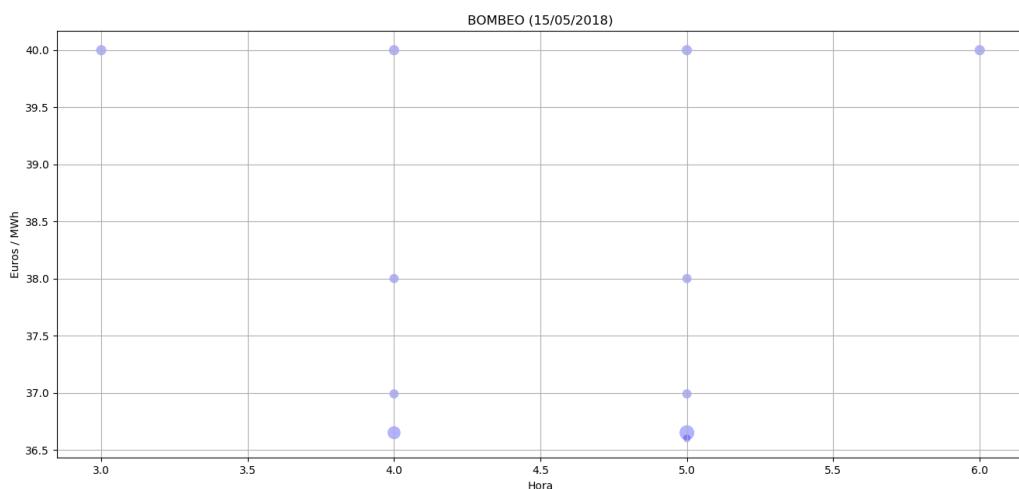


Figura 48: Gráfica clúster bombeo casada

#### 8.4.1.2 Gráfica Comercialización

En el programa se representa como oferta a cada hora del día, a qué precio y cuanta energía, la tecnología de comercialización, como se muestra en la siguiente gráfica.

Se puede observar, que está ofertando la gran mayoría de su energía en un rango de precios entre 100€ y 180€. Esto se debe a que los consumidores de energía de esta tecnología son los hogares, entonces las comercializadoras tienen una gran demanda que suplir.

Otro dato curioso es que también ofertan mucha energía a 0€, esto sucede porque muchas comercializadoras han comprado en el mercado a futuro, es decir, que ya ha comprado la energía para todo el año y no tienen la necesidad de entrar en la casación del mercado, pero están obligados a participar en el mercado diario si quieren entrar en los mercados posteriores.

Asimismo, se aprecia un incremento de energía ofertada entre los periodos 10 y 22, que comprenden las horas de punta y una disminución de energía ofertada, que está comprendida entre los períodos 1 al 7, que son en períodos de valle, cuando normalmente existe menos actividad.

Es necesario decir, que en general no suele ser muy variable la cantidad de energía ofertada por esta tecnología en el mercado diario.

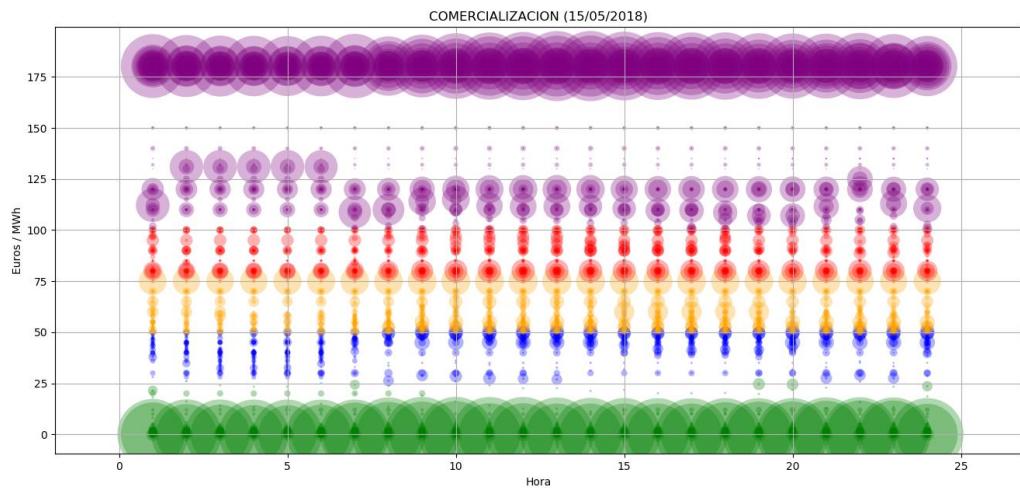


Figura 49: Gráfica clúster comercialización ofertada

En la siguiente gráfica, se observa la cantidad de energía casada por hora y precio. Si se compara con la anterior gráfica (figura 46) se puede ver que la gran diferencia entre ambas es la franja de oferta a 0€/MWh, también se visualiza que en ciertas horas de la madrugada el precio de casación baja de los 40€/MWh, pero que el gran porcentaje se encuentra al precio de 180,3 €/MWh y en el rango de 40 €/MWh a 120 €/MWh.

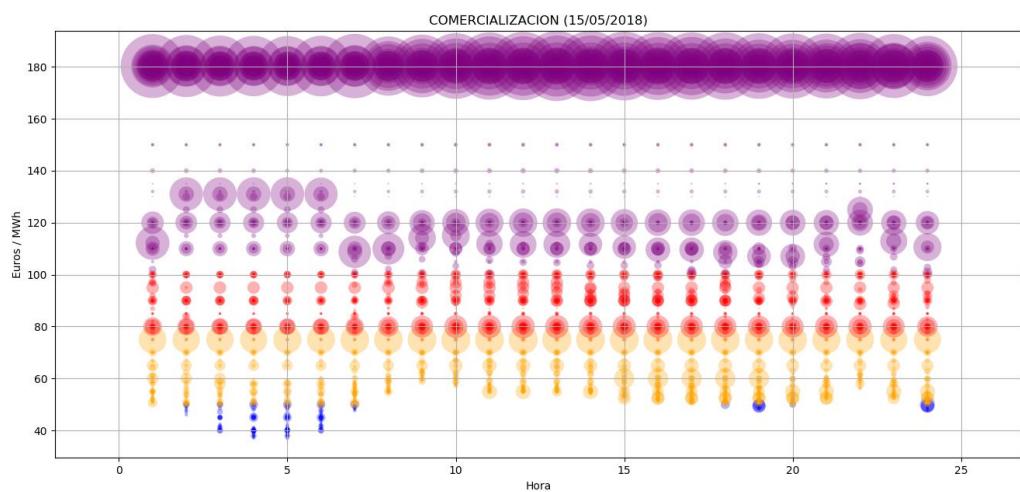


Figura 50: Gráfica clúster comercialización casada

#### 8.4.1.3 Gráfica Exportación

En esta gráfica, se representa las exportaciones de España a los países transfronterizos como son Portugal y Francia. Se identifica con los días que tenemos market splitting, es decir, cuando España vende a Portugal o a Francia. Se puede comprobar, que no ofertan gran cantidad de energía debido a los límites de interconexión que existen entre los países.

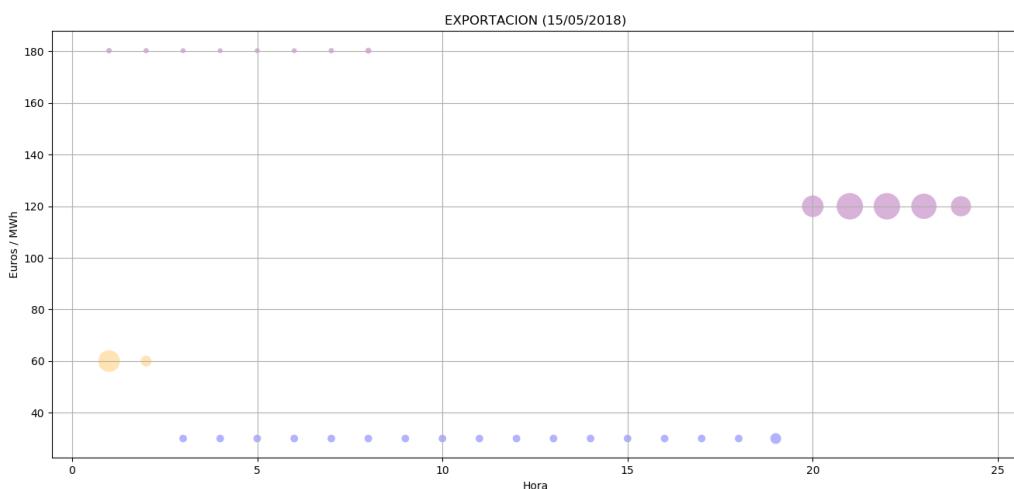


Figura 51: Gráfica clúster exportación ofertada

#### 8.4.1.4 Gráfica Carbón Importado

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio, la tecnología de carbón importado, como se muestra en la siguiente gráfica.

Se puede observar que sus precios de ofertas son muy diversos, pero que, en los primeros períodos, es cuando más energía se oferta a un precio mayor. Ello se debe, al arranque de las centrales, como estas centrales no tienen buena maniobrabilidad, es decir, que no puedan parar o arrancar la central en pocas horas, no pueden ofertar energía, porque no llegan a su mínimo técnico. Es ya pasado el periodo 8 o 9, cuando esta tecnología empieza a construir su escala de oferta.

Se puede decir que, en la gran mayoría de la energía ofertada, está en el rango de 0 €/MWh y 75 €/MWh, observándose, que las centrales de carbón que están ofertando a precios muy altos, no tienen la intención de participar en el mercado diario, porque tiene indisponibilidad de la planta o simplemente prefieren participar en los mercados posteriores.

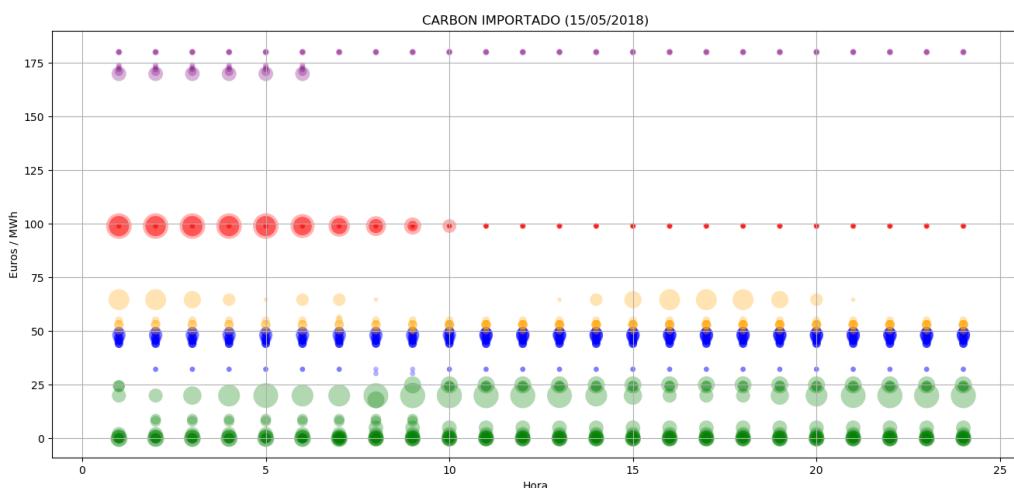


Figura 52: Gráfica clúster carbón importado ofertada

En la gráfica que se muestra a continuación, se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio. Si se compara con la anterior gráfica (figura 49), se puede ver que hay más energía ofertada que casada, ello puede deberse, a que muchas de estas tecnologías tienen condiciones complejas como la CIMV o CIMF (Condiciones de ingresos mínimos variables y fijos) y si no llegan al objetivo, no casan en el mercado diario, pero pueden participar en los mercados posteriores.

Se observa en la gráfica, que el rango de precios al que ha casado, es entre 0 €/MWh y 50 €/MWh. Esta tecnología suele estar muy próxima al precio marginal y será una de las que imponga el precio de casación del mercado diario.

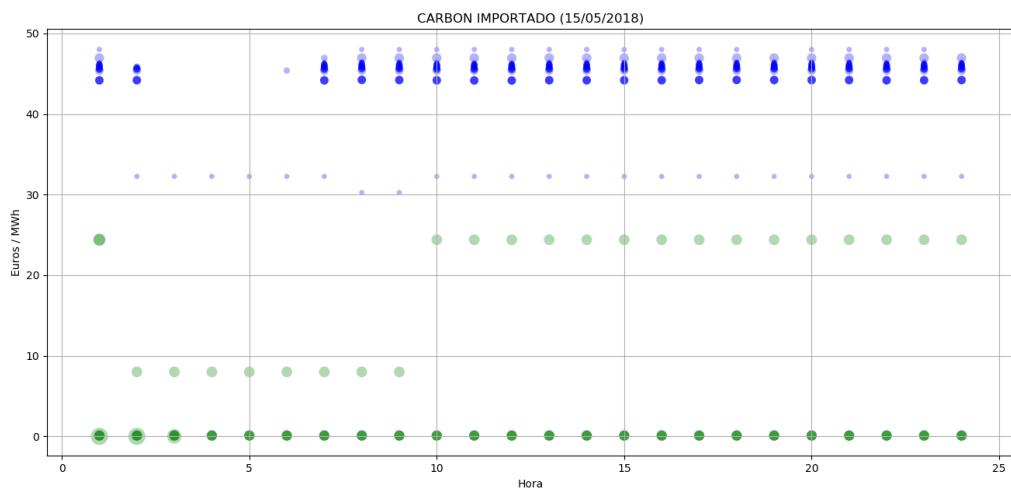


Figura 53: Gráfica clúster carbón importado casada

#### 8.4.1.5 Gráfica Carbón Nacional

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio, la tecnología de carbón nacional, como se muestra en la siguiente gráfica.

Se puede observar que sus precios de ofertas son muy diversos, pero en los primeros períodos, es cuando más energía se oferta a un precio mayor, y ello se debe, al arranque de las centrales, como estas centrales no tienen buena maniobrabilidad, es decir, que puedan parar o arrancar la central en pocas horas, no pueden ofertar energía, porque no llegan a su mínimo técnico. Es ya pasado el periodo 8 o 9 cuando esta tecnología empieza a construir su escala de oferta.

Se puede decir que, en la gran mayoría de la energía ofertada, se encuentra en el rango de 0 €/MWh y 75 €/MWh.

Se podría decir, que las centrales de carbón que están ofertando a precios muy altos, no tienen la intención de participar en el mercado diario, porque tienen indisponibilidad de la planta o simplemente prefieren participar en los mercados posteriores.

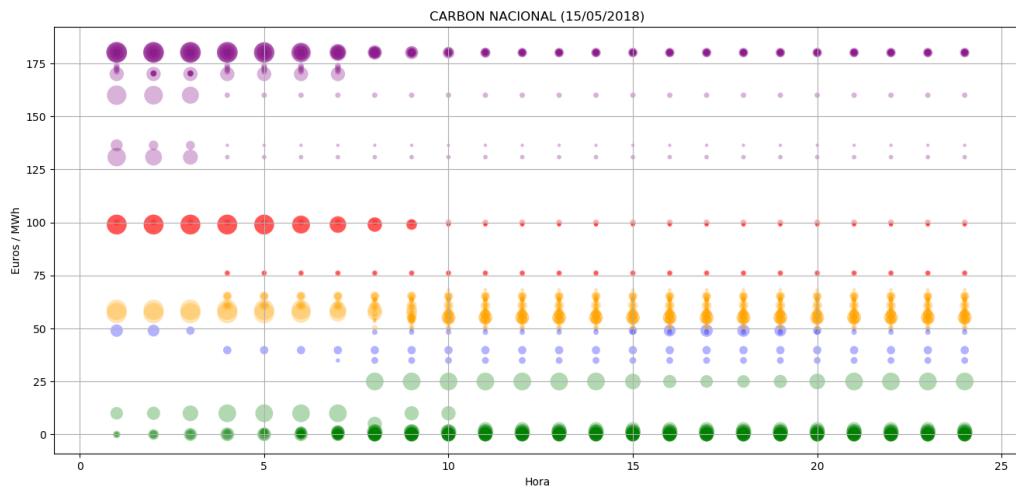


Figura 54: Gráfica clúster carbón nacional ofertada

En la próxima gráfica se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio.

Si se compara con la anterior gráfica (figura 51), se puede ver que no ha casado nada. Ello sucede, puesto que muchas de estas tecnologías tienen condiciones complejas como la CIMV o CIMF (Condiciones de ingresos mínimos variables y fijos) y si no llegan al objetivo, no casan en el mercado diario, pero puede que participen en los mercados posteriores.

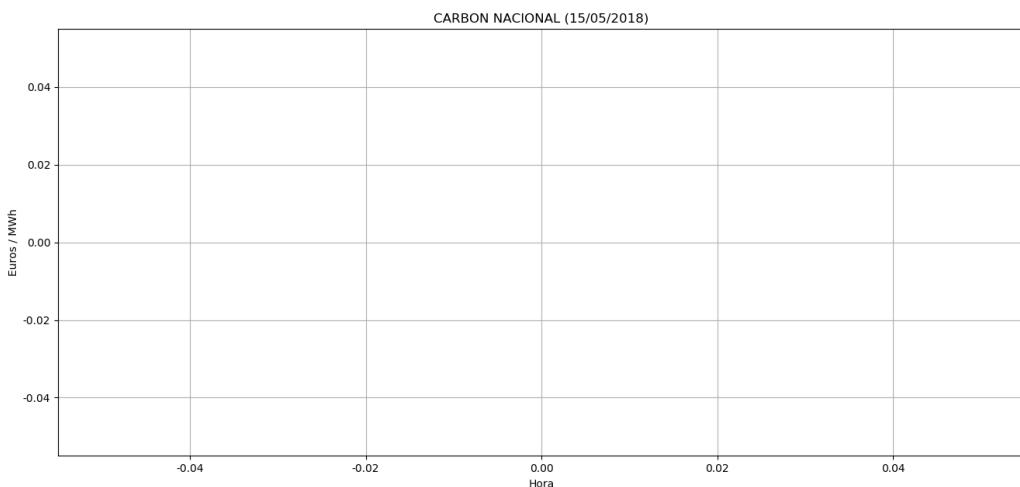


Figura 55: Gráfica clúster carbón nacional casada

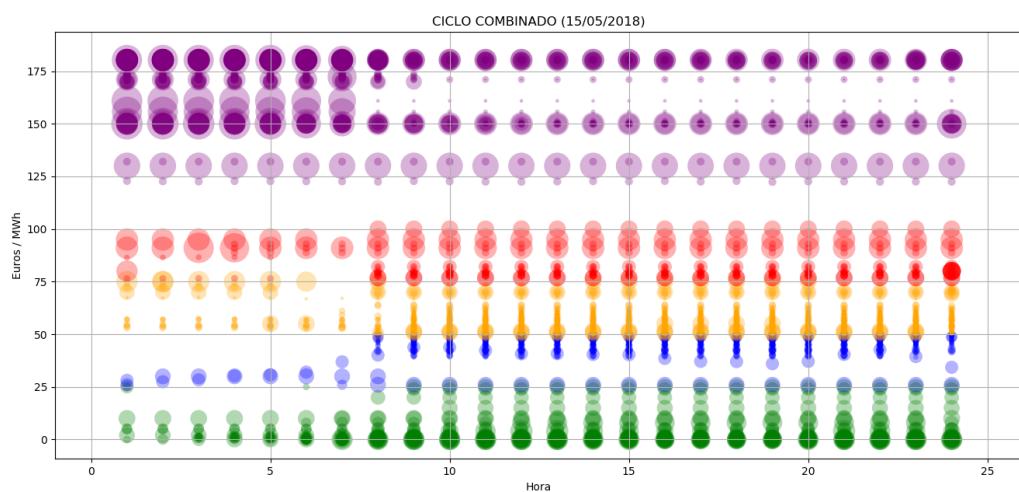
#### 8.4.1.6 Gráfica Ciclo Combinado

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio la tecnología de ciclo combinado, como se muestra en la siguiente gráfica.

Se puede observar, que sus precios de ofertas son muy diversos, pero que, en los primeros periodos, es cuando más energía se oferta a un precio mayor, esto se debe al arranque de las centrales (como ya se ha explicado en los puntos anteriores).

Se puede decir, que en la gran mayoría de la energía ofertada se encuentra en el rango de 0 €/MWh y 100 €/MWh,

Es necesario indicar, que las centrales de ciclo combinado que están ofertando a precios muy altos, no tienen la intención de participar en el mercado diario, porque tiene indisponibilidad de la planta o simplemente prefieren participar en los mercados posteriores. Podemos ver también en este gráfico, que, de la tecnología térmica, la que mayor potencia instalada tiene en la península, es la de ciclo combinado y con bastante diferencia con respecto a la de carbón importado y nacional.



*Figura 56: Gráfica clúster ciclo combinado ofertada*

En la próxima gráfica, se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio. Si se compara con la anterior gráfica, se puede ver que hay más energía ofertada que casada. Ello puede deberse, a que muchas de estas centrales o agentes, tienen condiciones complejas como la CIMV, CIMF (Condiciones de ingresos mínimos variables y fijos), indivisibilidad... y si no llegan al objetivo, no casan en el mercado diario, pero puede que participen en los mercados posteriores.

Se puede observar que el rango de precios al que ha casado es entre 0 €/MWh y 50 €/MWh, esta tecnología suele estar muy próximo al precio marginal y será una de las que imponga el precio de casación del mercado diario.

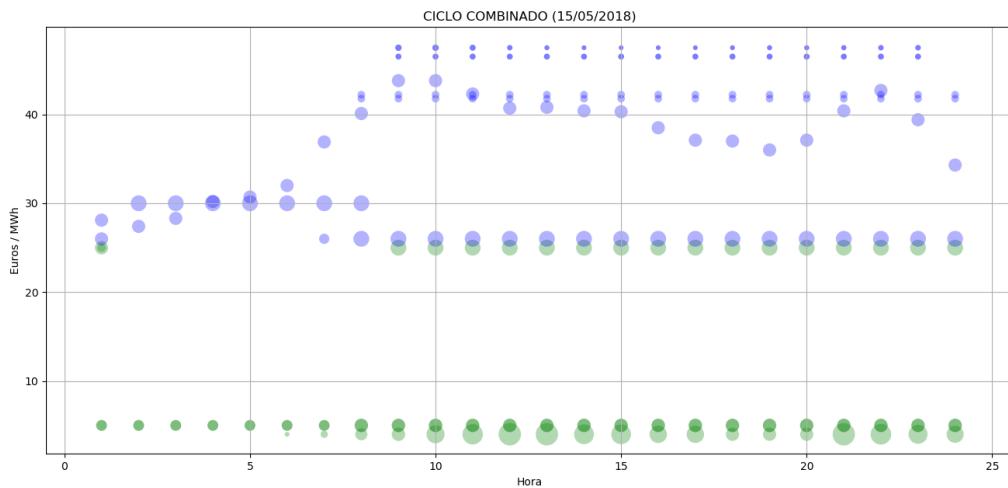


Figura 57: Gráfica clúster ciclo combinado casada

#### 8.4.1.7 Gráfica Eólica

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio la tecnología eólica, como se muestra en la siguiente gráfica.

Se puede observar que esta tecnología intenta introducir en el mercado, toda la energía disponible en un rango de precio bajo, ya que, al ser una energía renovable, es una tecnología de oportunidad, porque ésta dependerá de cuando sople el viento.

Es necesario comentar, que la diferencia con la energía casada en el mercado, no difiere mucho, porque al ofertar a un precio menor de 30 €/MWh, es difícil que no case casi toda la energía ofertada.

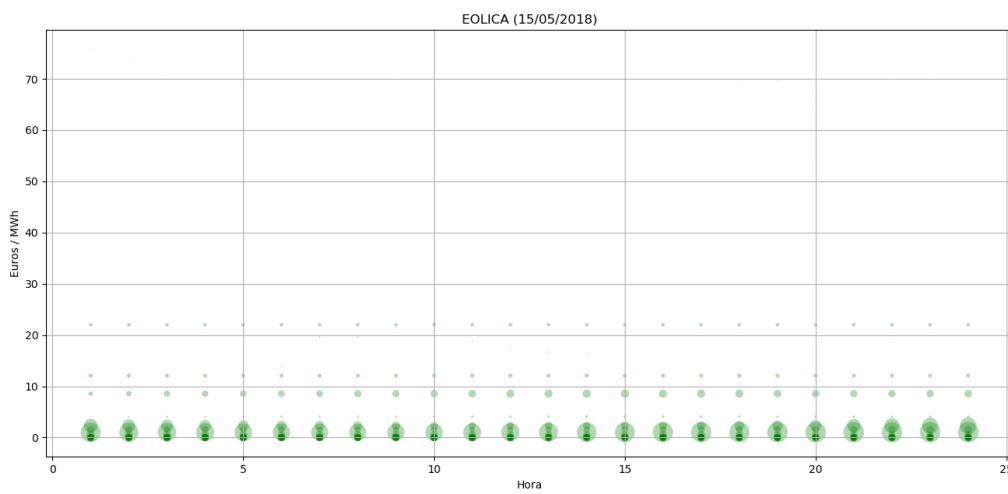
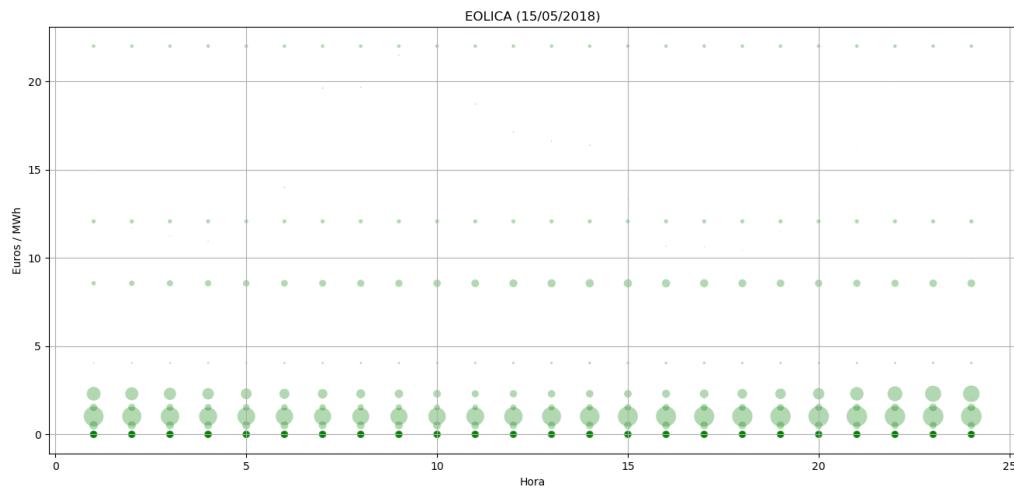


Figura 58: Gráfica clúster eólica ofertada

En la gráfica que se muestra a continuación se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio.

Si se compara con la anterior gráfica, se puede ver que no existe gran diferencia de la energía que ha ofertado con la que finalmente ha casado en el Mercado, solo se ha quedado fuera, aquella que han ofertado a un precio

alto porque no querían participar en el Mercado por alguna indisponibilidad o simplemente que prefiere participar en los mercados posteriores.

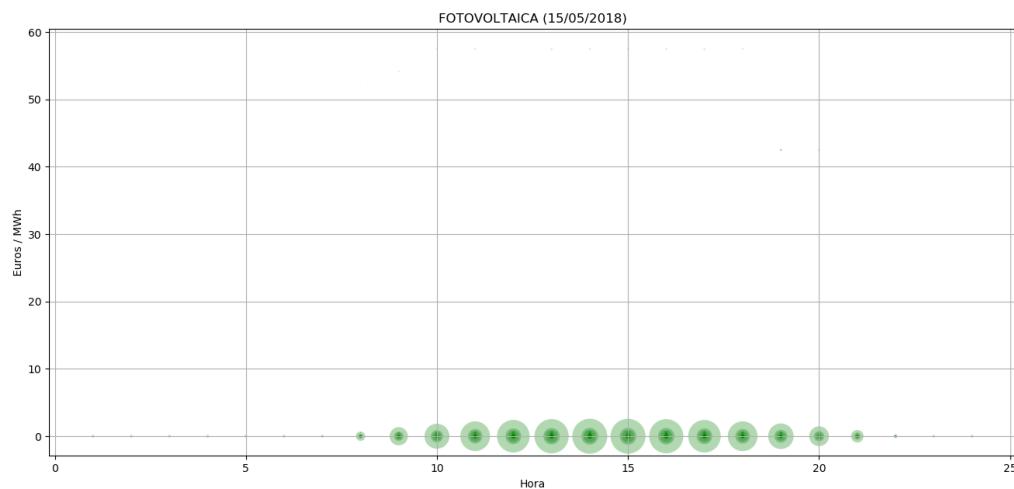


*Figura 59: Gráfica clúster eólica casada*

#### 8.4.1.8 Gráfica Fotovoltaica

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio la tecnología fotovoltaica, como se muestra en la siguiente gráfica.

Se puede observar que, a ciertas horas del día, ofertan una gran cantidad de energía a los precios de 0 €/MWh, ello se debe a las horas de mayor radiación solar, que es cuando esta tecnología producirá más volumen de energía. Igualmente, la producción de esta tecnología varía según la época del año en la que se encuentre, debido a las condiciones climatológicas y la radiación solar.



*Figura 60: Gráfica clúster fotovoltaica ofertada*

En la siguiente gráfica, se observa la cantidad de energía casada por hora y precio. Si se compara con la anterior gráfica, se puede ver que no existe gran diferencia de la energía que ha ofertado con la que finalmente ha casado en el mercado.

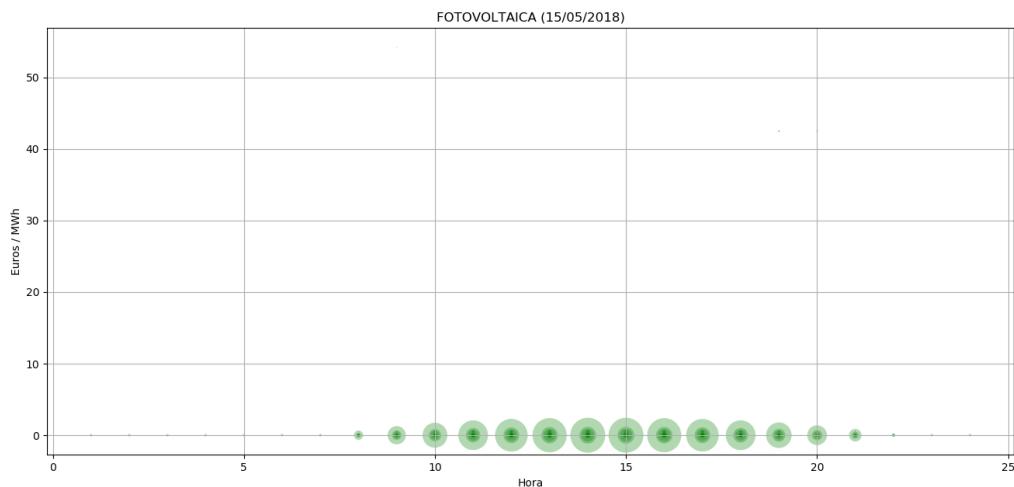


Figura 61: Gráfica clúster fotovoltaica casada

#### 8.4.1.9 Gráfica Hidráulica

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio la tecnología hidráulica, como se muestra en la siguiente gráfica. Se puede observar que mucha energía se oferta es a un precio muy alto. Esta forma de ofertar, se debe a que no quieren participar en este mercado, pero puede que quieran participar en un mercado posterior.

Se pudo extraer de la gráfica, que el segundo rango que llama más la atención es el rango entre 50€/MWh y 100€/MWh. Llama la atención, puesto que al tener un coste de materia prima bajo, no se comprende que tenga las mismas ofertas que las grandes centrales térmicas.

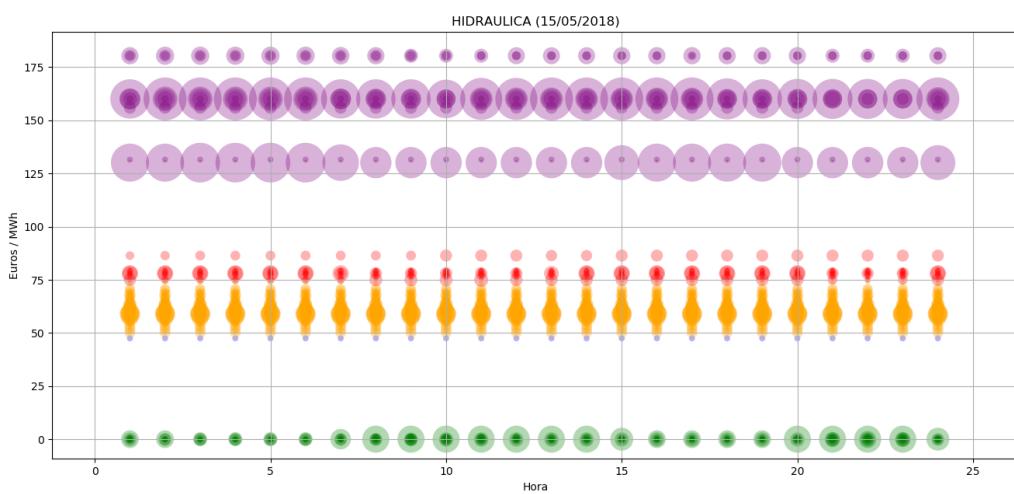
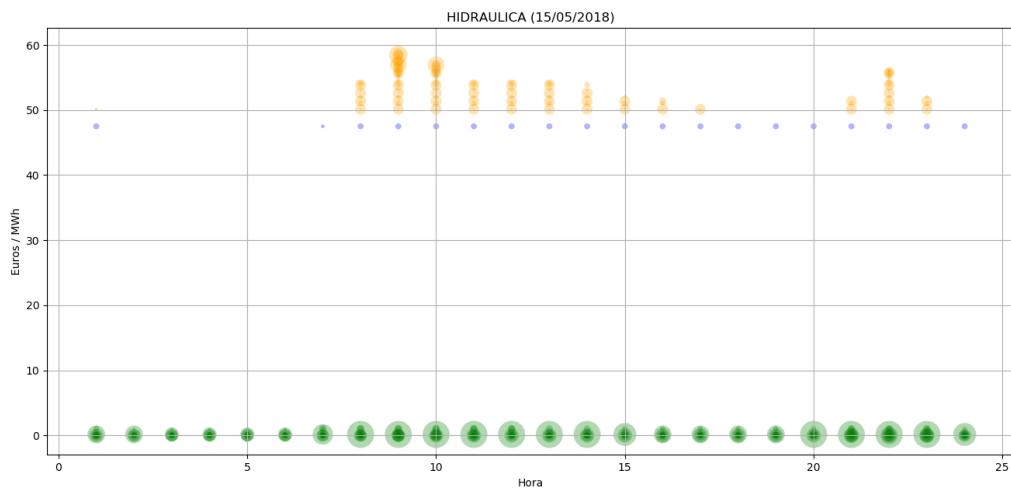


Figura 62: Gráfica clúster hidráulica ofertada

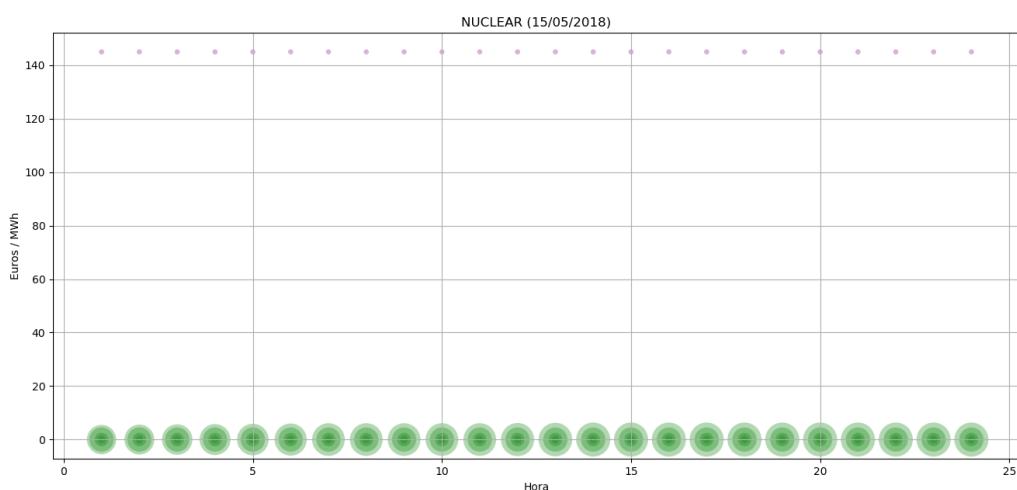
En la siguiente gráfica se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio. Si se compara con la anterior gráfica, se puede ver una gran diferencia de energía que oferta y la que realmente casa en el mercado, pudiéndose observar que, a ciertos periodos del día, que comprende con las puntas, esta tecnología aporte tanta energía y a un precio tan alto, porque lo normal sería que rondaría a unos precios menores, ya que el coste de material prima es bajo con respecto a la tecnología térmica.



*Figura 63: Gráfica clúster hidráulica*

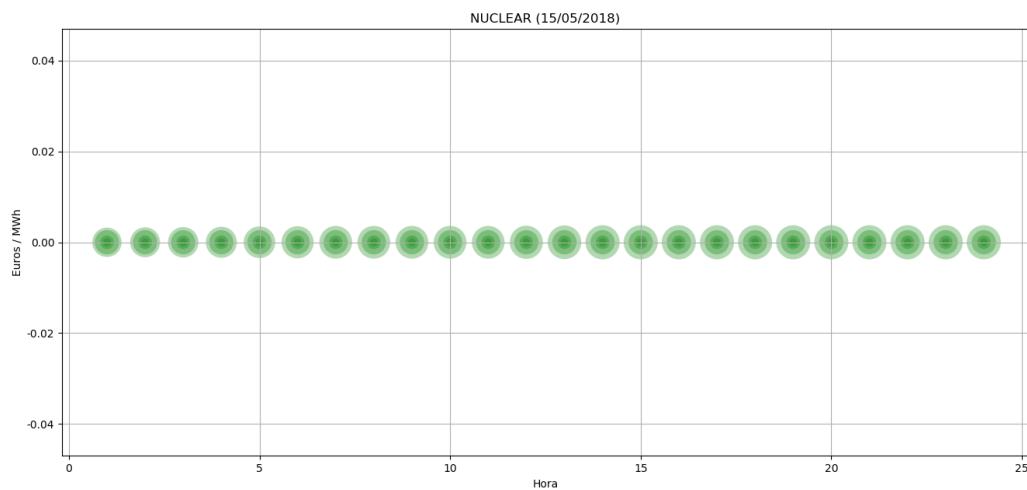
#### 8.4.1.10 Gráfica Nuclear

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio la tecnología nuclear, como se muestra en la siguiente gráfica. Se puede observar que la gran mayoría de su oferta este entorno al precio de 0 €/MWh. Estas centrales se les denomina centrales de base porque están en funcionamiento permanentemente, por ello, toda su producción tiene que ser ofertada a un precio bajo en el mercado diario, exceptuando cuando estén en mantenimiento de la central, que pujaran a un alto precio para no participar en el mercado diario.



*Figura 64: Gráfica clúster nuclear ofertada*

En la siguiente gráfica se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio. Si se compara con la anterior gráfica, se puede ver que no existe gran diferencia de la energía que ha ofertado con la que finalmente ha casado en el mercado.

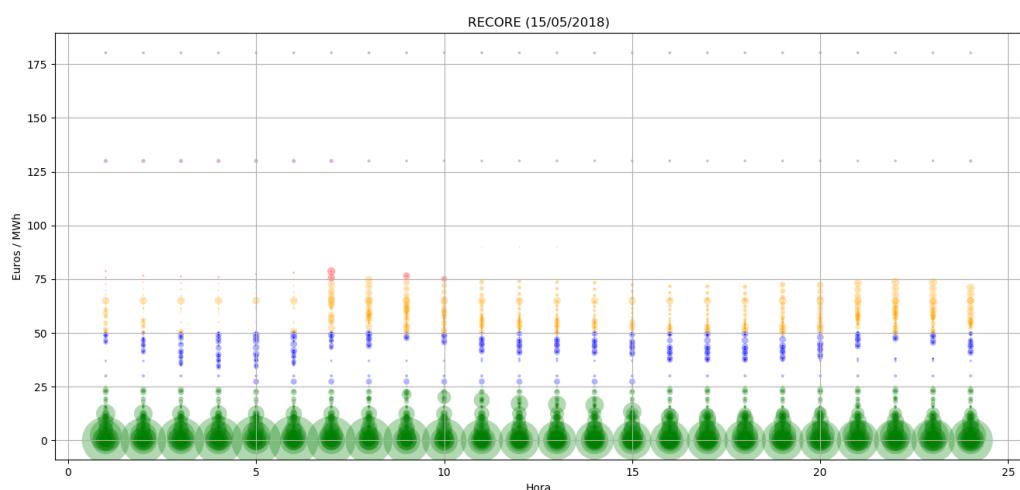


*Figura 65: Gráfica clúster nuclear casada*

#### 8.4.1.11 Gráfica RECORE

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio la tecnología RECORE (Régimen especial, cogeneración, residuos), como se muestra en la siguiente gráfica. Al ser una energía de carácter renovable, se puede observar que la gran mayoría de su volumen de energía ofertado es a unos precios casi nulos para poder casar lo máximo posible e introducir la mayoría de la energía en el sistema.

Se puede observar que a partir del periodo 7, se produce un incremento de energía ofertada en el mercado, se familiariza con las horas de punta del día, y que su rango de precio se encuentra entre los 0 €/MWh y los 75 €/MWh, pero su volumen grande de energía está próximo a los 0 €/MWh.



*Figura 66: Gráfica clúster RECORE ofertada*

En la próxima gráfica se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio. Si se compara con la anterior gráfica, se puede ver que no existe gran diferencia de la energía que ha ofertado, con la que finalmente ha casado en el mercado.

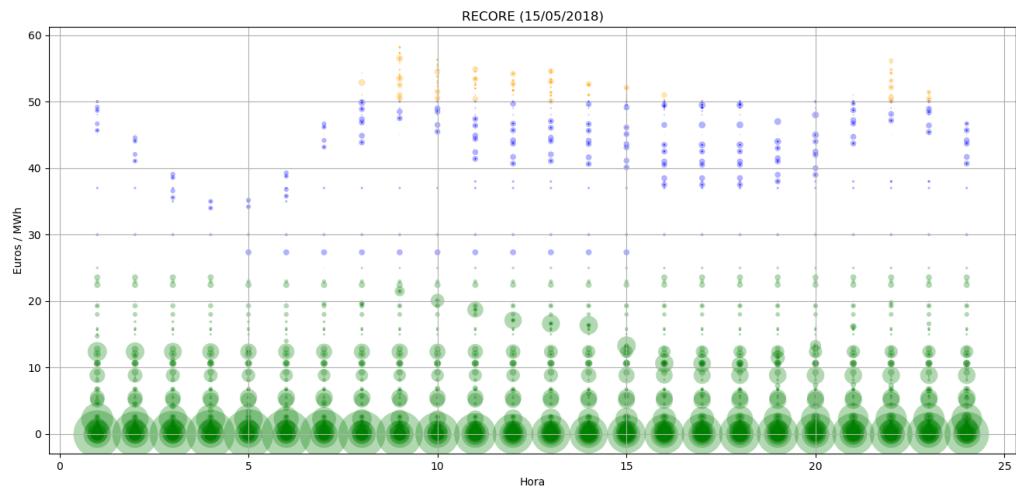


Figura 67: Gráfica clúster RECORE casada

#### 8.4.1.12 Gráfica Turbinación

En el programa se representa como oferta a cada hora del día y precio la tecnología turbinación, como se muestra en la siguiente gráfica. Se puede distinguir dos rangos de precio en el que oferta esta tecnología, pero lo más interesante es el tramo de 50 €/MWh a 75 €/MWh porque se puede visualizar los mismos precios que estaba ofertando la tecnología hidráulica. Llama la atención, porque al tener un coste de materia prima bajo no se comprende que tenga las mismas ofertas que las grandes centrales térmicas.

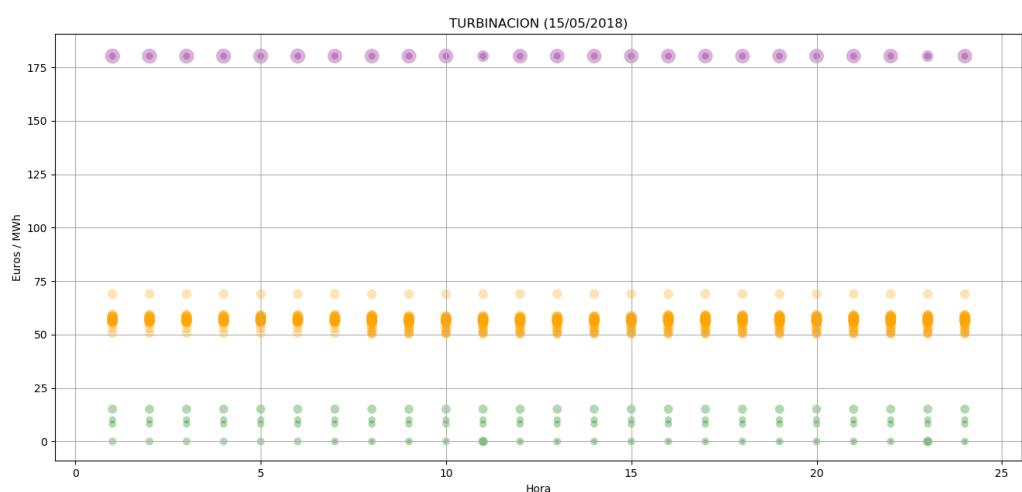


Figura 68: Gráfica clúster turbinación ofertada

En la siguiente gráfica se puede observar la cantidad de energía casada por hora y precio. Si se compara con la anterior gráfica, se puede ver una gran diferencia de energía que oferta y la que realmente casa en el mercado. Si observamos la gráfica se podría entender que, al ser una tecnología con mucha maniobrabilidad, es decir, que en cuestión de minutos puede generar energía, es normal que para las horas de punta del día tenga un gran volumen de energía casado, pero lo que no se explica es por qué han casado a un precio tan alto, cuando la materia prima de esta tecnología es mucho más barata que la materia prima de las térmicas.

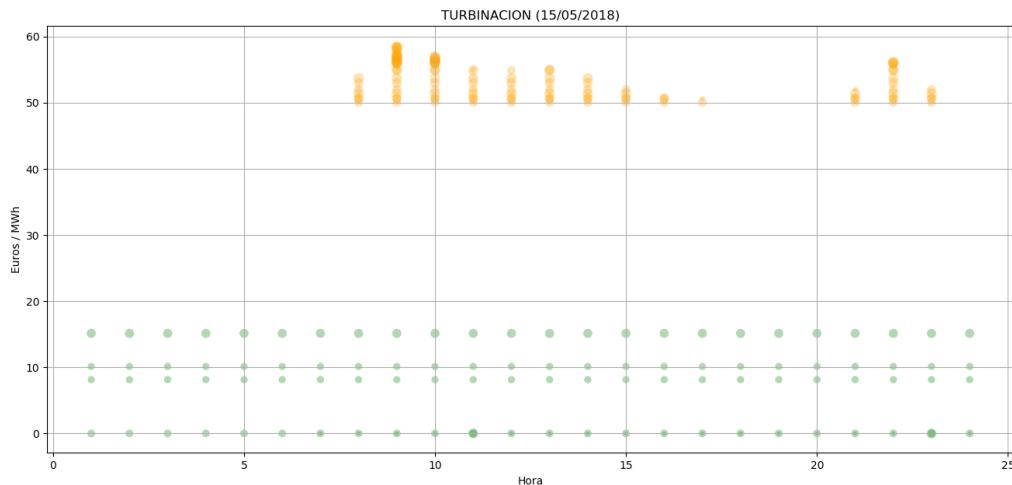


Figura 69: Gráfica clúster turbinación casada

#### 8.4.2 Simulador de Mercado Mibel simple

La funcionalidad de esta ventana es la de poder manipular los datos históricos de la energía de cualquier tecnología que participe en el mercado diario. Con este simulador, se puede analizar que sucede en el mercado diario, si se añade o reduce la energía ofertada de compra o de venta sobre la curva agregada de oferta y demanda. Al realizar estas modificaciones, se observa que los valores de los precios y de la energía marginalistas del día y la hora seleccionada, se incrementan o decrementan según la tecnología a la que se ha introducido la modificación.

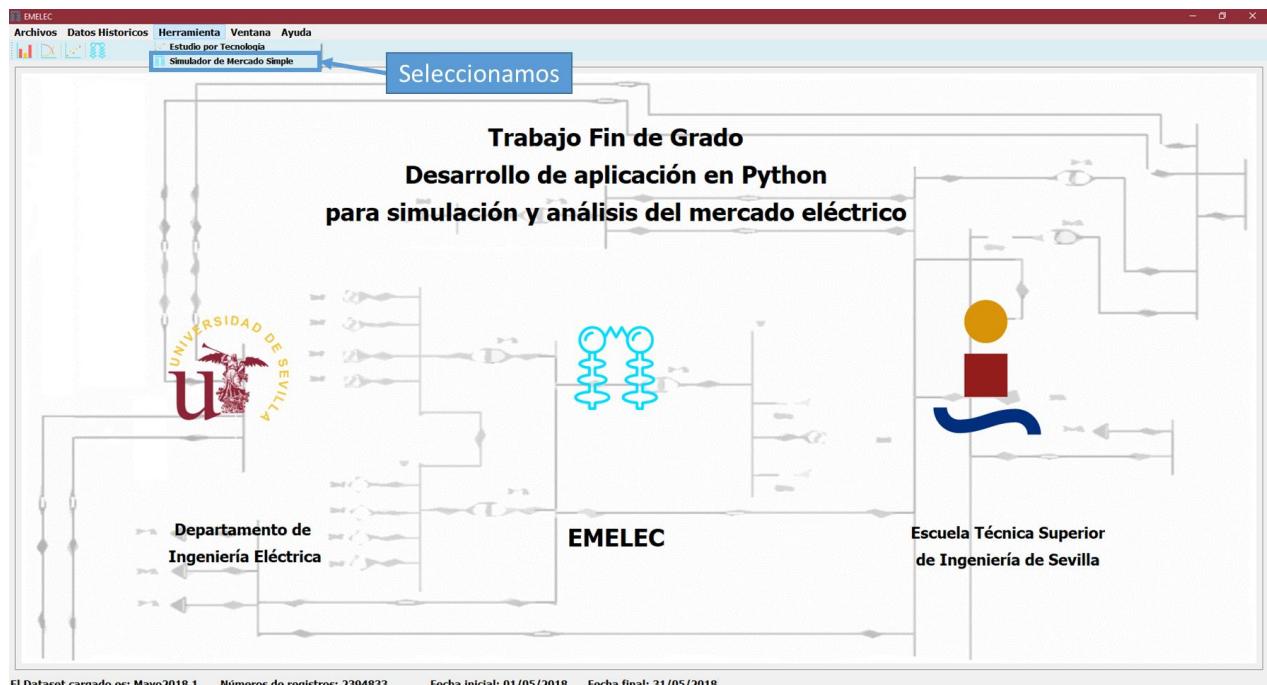


Figura 70: Pestaña simulador de mercado simple

Al seleccionar la pestaña de Simulador de Mercado simple, se muestra la siguiente ventana que se puede observar en la ilustración X.



Figura 71: Pantalla de simulador de mercado simple

En esta ventana podemos observar las distintas funcionalidades que son las que se detallan a continuación:

- Un calendario: Para seleccionar el día, mes y año de los datos cargados en el DataFrame.
- Un reloj: Para seleccionar la hora o periodo de la fecha seleccionada.
- Un Combo Box Tecnología: Para seleccionar la tecnología que se le quiere hacer la modificación de su energía en el mercado diario.
- A: Valor que multiplica a la energía que está contenida en el DataFrame.
- B: Valor que suma a la energía que está contenida en el DataFrame.
- El botón Generar Gráfica: Muestra la gráfica de curva agregada de oferta y demanda modificada con los datos introducidos de la ecuación AX+B.
- Botón Extraer Archivo: Se extrae un archivo en Excel con los datos de la Unidad, Tipo de tecnología, Precio de la energía y energía modificada con la ecuación AX+B.
- LCD Energía Compra: Energía en MWh, que se ha introducido o extraído para la tecnología de tipo oferta compra.
- LCD Energía Venta: Energía en MWh que se ha introducido o extraído para la tecnología de tipo oferta venta.

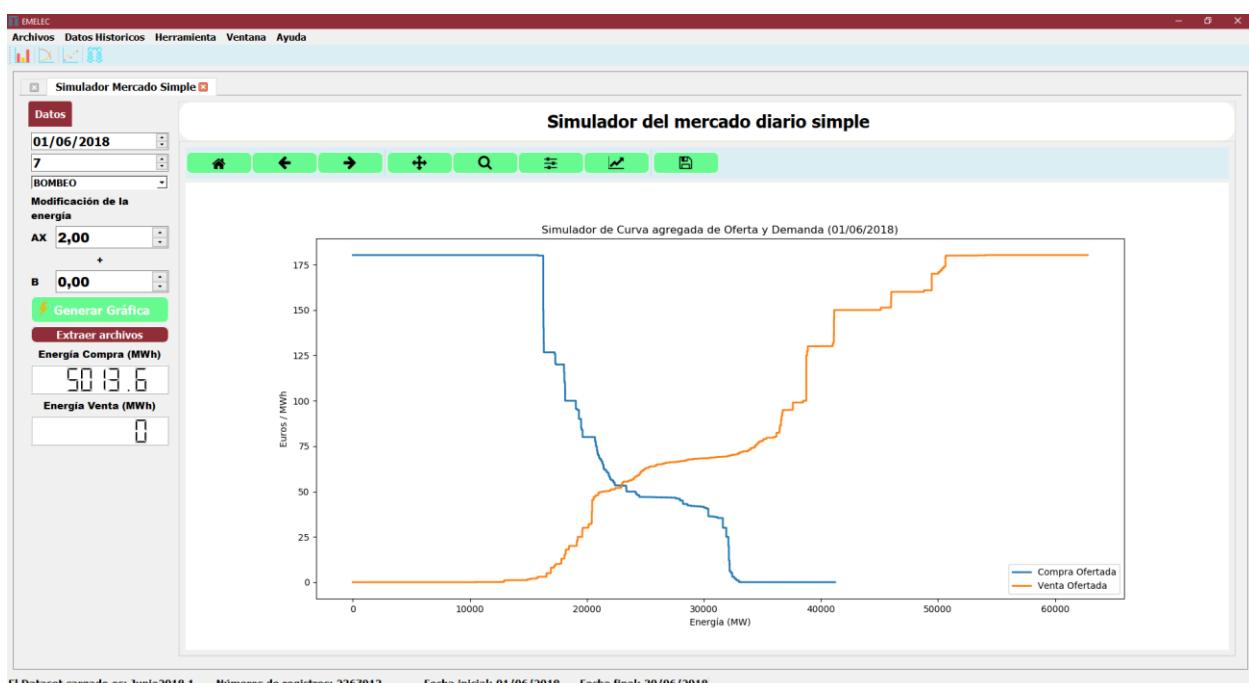


Figura 72: Ejemplo de visualización de la pantalla de simulador de mercado simple

El día y el mes de las gráficas corresponde al 01/06/2018 en el periodo 7 y la modificación que se le ha realizado a la energía es con  $A=2$  y  $B=0$ . Se puede observar que según el tipo de oferta que sea, la tecnología en cuestión, aumentará el precio marginal o disminuirá, y también se incrementará más o menos los precios según la cantidad de energía que haya ofertado en el mercado diario ese día de estudio.

#### 8.4.2.1 Modificación de los datos introduciendo más energía en Bombeo

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de  $A = 2$  y el de  $B = 0$ , se puede observar que la cantidad de energía introducida al sistema es de 5013.6MWh y el precio ha incrementado en 1.2€/MWh. Podemos visualizar que la curva de oferta de compra se ha desplazado haciendo que se incremente el precio marginal gracias al aumento de la oferta de energía.

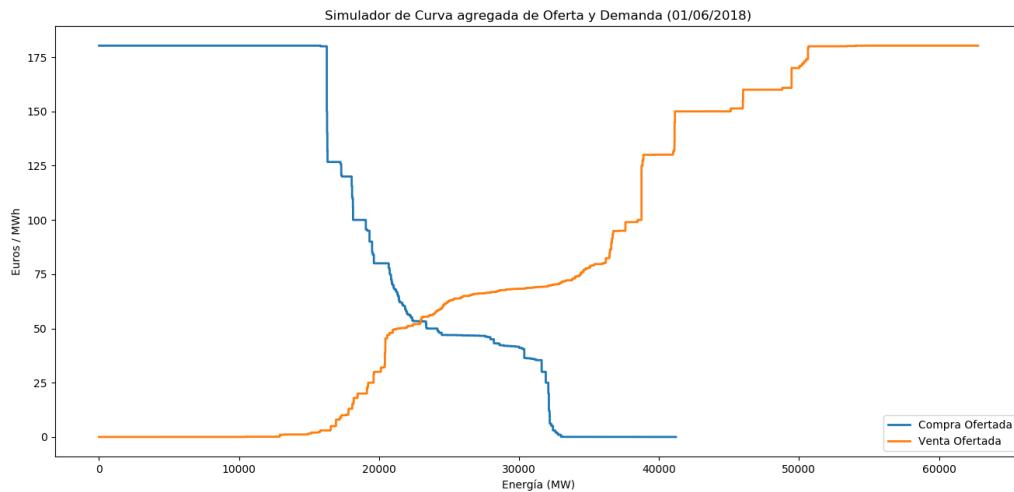


Figura 73: Gráfica simulador de mercado simple bombeo

#### 8.4.2.2 Modificación de los datos eliminando la oferta de energía de Carbón Importado

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de  $A = 0$  y el de  $B = 0$ , se puede observar que la cantidad de energía eliminada del sistema es de -6316.6 MWh y el precio se ha incrementado en 14.035€/MWh. Se puede visualizar que la curva de oferta de venta se ha desplazado, haciendo que se incremente el precio marginal, al eliminar la tecnología carbón importado de la oferta.

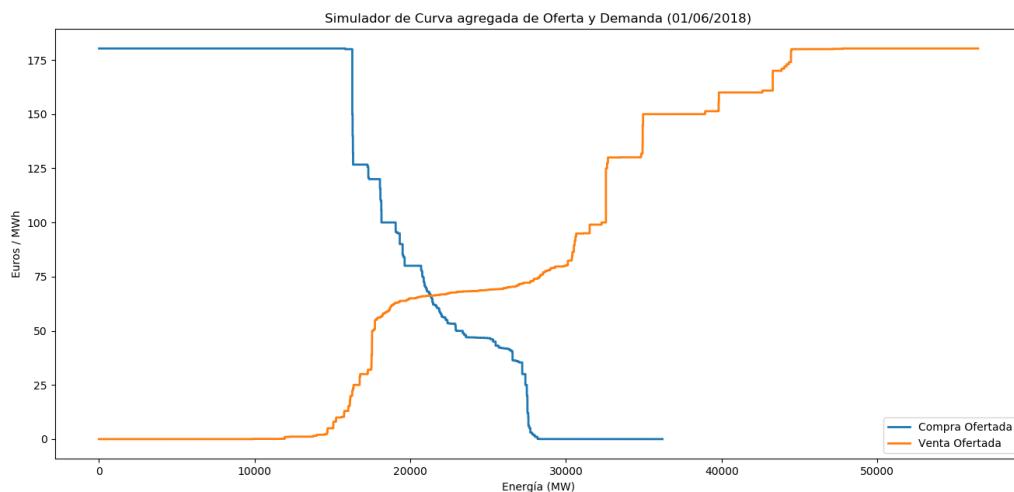


Figura 74: Gráfica simulador de mercado simple carbón importado

#### 8.4.2.3 Modificación de los datos introduciendo más energía en Carbón Nacional

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de A = 2 y el de B = 0, se puede observar que la cantidad de energía introducida al sistema es de 4315.5MWh y el precio ha disminuido en 2.13€/MWh. Podemos visualizar que la curva de oferta de venta se ha desplazado haciendo que se disminuya el precio marginal, gracias al aumento de la oferta de energía.

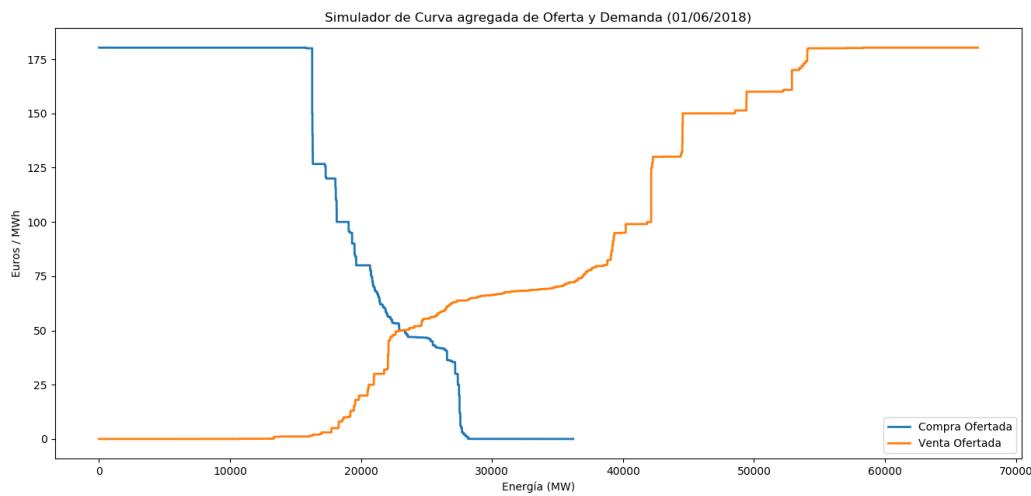


Figura 75: Gráfica simulador de mercado simple carbón nacional

#### 8.4.2.4 Modificación de los datos introduciendo más energía en Ciclo Combinado

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de A = 2 y el de B = 0, se puede observar que la cantidad de energía introducida al sistema es de 26529.3 MWh y el precio ha disminuido en 10.2€/MWh. Se puede visualizar, que la curva de oferta de venta se ha desplazado haciendo que se disminuya el precio marginal, gracias al aumento de la oferta de energía.

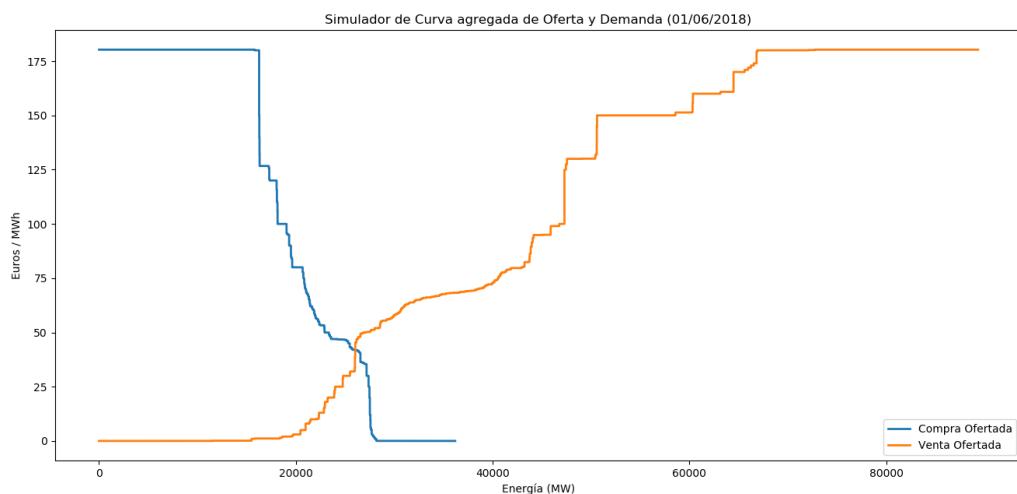


Figura 76: Gráfica simulador de mercado simple ciclo combinado

#### 8.4.2.5 Modificación de los datos introduciendo más energía en Comercialización

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de  $A = 2$  y el de  $B = 0$ , se puede observar que la cantidad de energía introducida al sistema es de 26025.4 MWh y el precio ha incrementado en 27.91 €/MWh. Podemos visualizar, que la curva de oferta de compra se ha desplazado haciendo que se incremente el precio marginal, gracias al aumento de la oferta de energía.

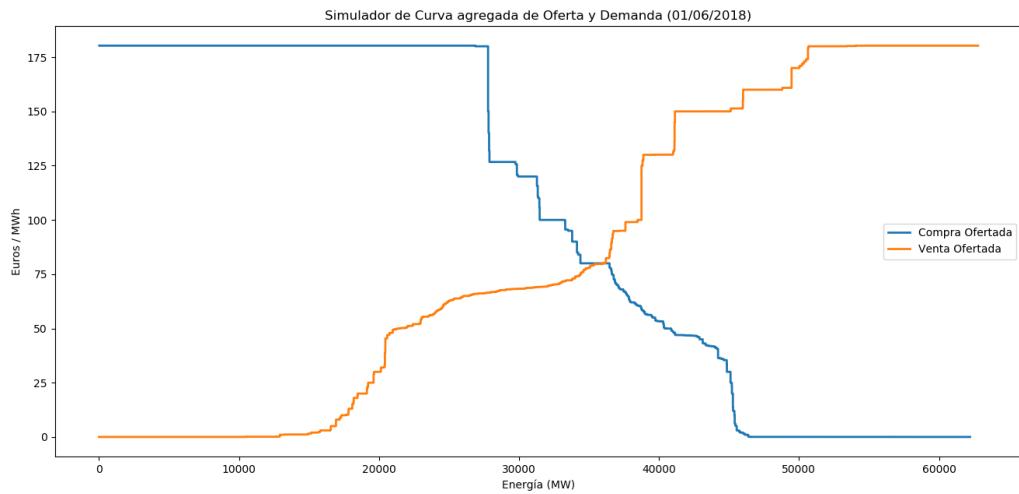


Figura 77: Gráfica simulador de mercado simple comercialización

#### 8.4.2.6 Modificación de los datos introduciendo más energía en Genérica

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de  $A = 2$  y el de  $B = 0$ , se puede observar que la cantidad de energía introducida al sistema es de 4535.4 MWh y el precio ha incrementado en 12.2 €/MWh. Se Puede visualizar, que la curva de oferta de compra se ha desplazado haciendo que se incremente el precio marginal, gracias al aumento de la oferta de energía.

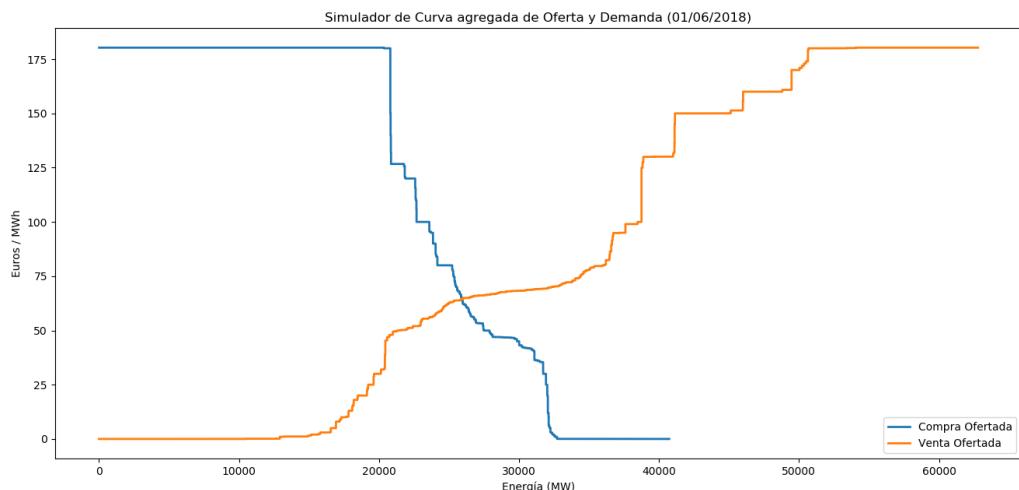


Figura 78: Gráfica simulador de mercado simple genérica

#### 8.4.2.7 Modificación de los datos introduciendo más energía en Hidráulica

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de  $A = 2$  y el de  $B = 0$ , se puede observar que la cantidad de energía introducida al sistema es de 13272.6 MWh y el precio ha disminuido en 0.92 €/MWh, entonces podemos visualizar que la curva de oferta de venta se ha desplazado hacia abajo que se disminuya el precio marginal, gracias al aumento de la oferta de energía.

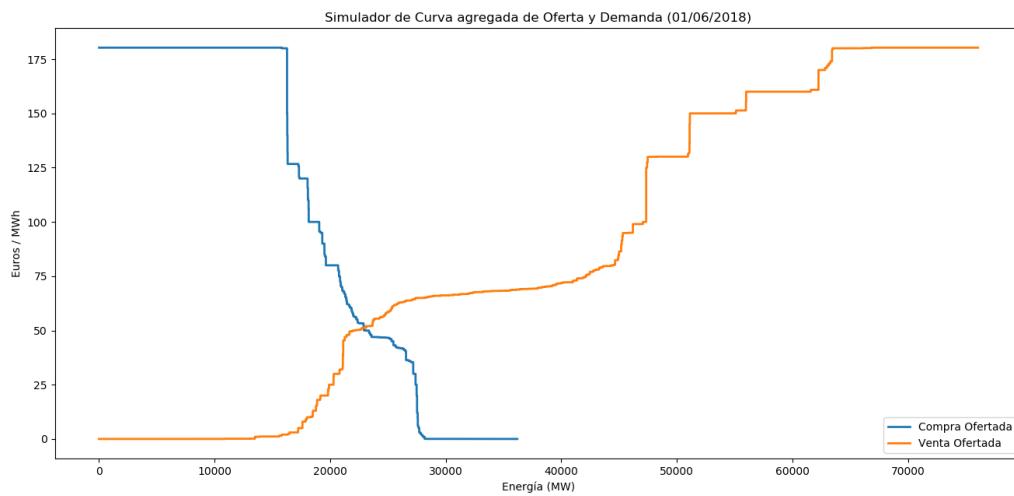


Figura 79: Gráfica simulador de mercado simple hidráulica

#### 8.4.2.8 Modificación de los datos eliminando las ofertas de energía Nuclear

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de  $A = 0$  y el de  $B = 0$ , se puede observar que la cantidad de energía eliminada al sistema es de -329.6 MWh y el precio se ha incrementado en 1.20 €/MWh. Se puede visualizar, que la curva de oferta de venta se ha desplazado hacia arriba aumentando el precio marginal, al eliminar la tecnología nuclear de la oferta.

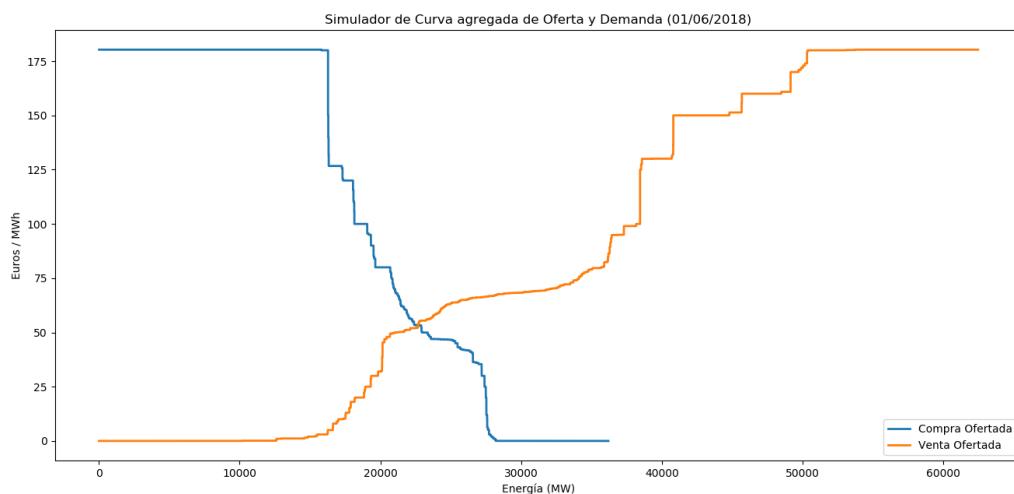


Figura 80: Gráfica simulador de mercado simple nuclear

#### 8.4.2.9 Modificación de los datos introduciendo más energía en Recore

El precio original es de 52.09€/MWh, al realizar la modificación de la energía con la formula  $AX+B$  donde el valor de  $A = 2$  y el de  $B = 0$ , se puede observar que la cantidad de energía introducida al sistema es de 8404 MWh y el precio ha disminuido en 22.09 €/MWh. Podemos visualizar, que la curva de oferta de venta se ha desplazado hacia abajo, haciendo que se disminuya el precio marginal, gracias al aumento de la oferta de energía.

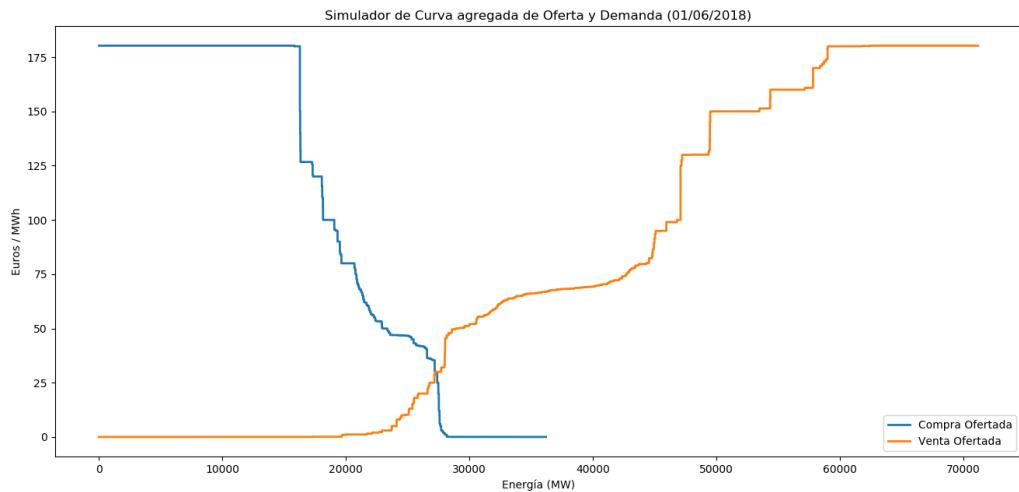


Figura 81: Gráfica simulador de mercado simple RECORE

## 8.5 Ventana

En la opción de la barra de menú de “Ventana”, se visualiza tres funcionalidades distintas: la primera es la de Datos de UOF's, la segunda es maximizar y la tercera es minimizar, a continuación, entraremos en detalle en cada una de ellas. En la ilustración X podemos observar donde se encuentra disponibles estas opciones.

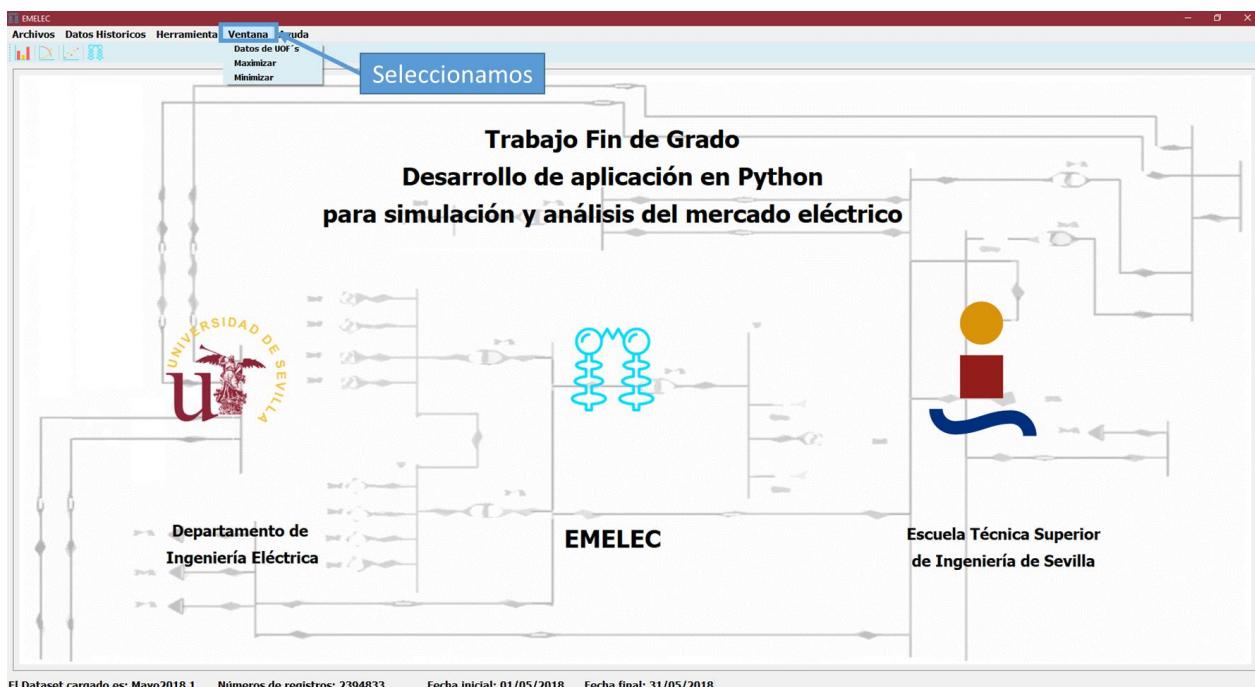


Figura 82: Pestaña de ventana

### 8.5.1 Datos de UOF's

La opción de la barra de menú de “Datos de UOF’s”, tiene las siguientes funcionalidades:

- Mostrar cuales son las unidades que están operando en el Mercado diario de la energía.
- Qué tipos de tecnología son cada una de las UOF que participan.
- Una breve descripción de la unidad.
- El porcentaje de participación, si corresponde a compra o venta.
- Y por último el país al que pertenecen, si es de España o Portugal.

Los datos de UOF's son una información bastante valiosa para poder entender cómo trabaja el programa EMELEC.

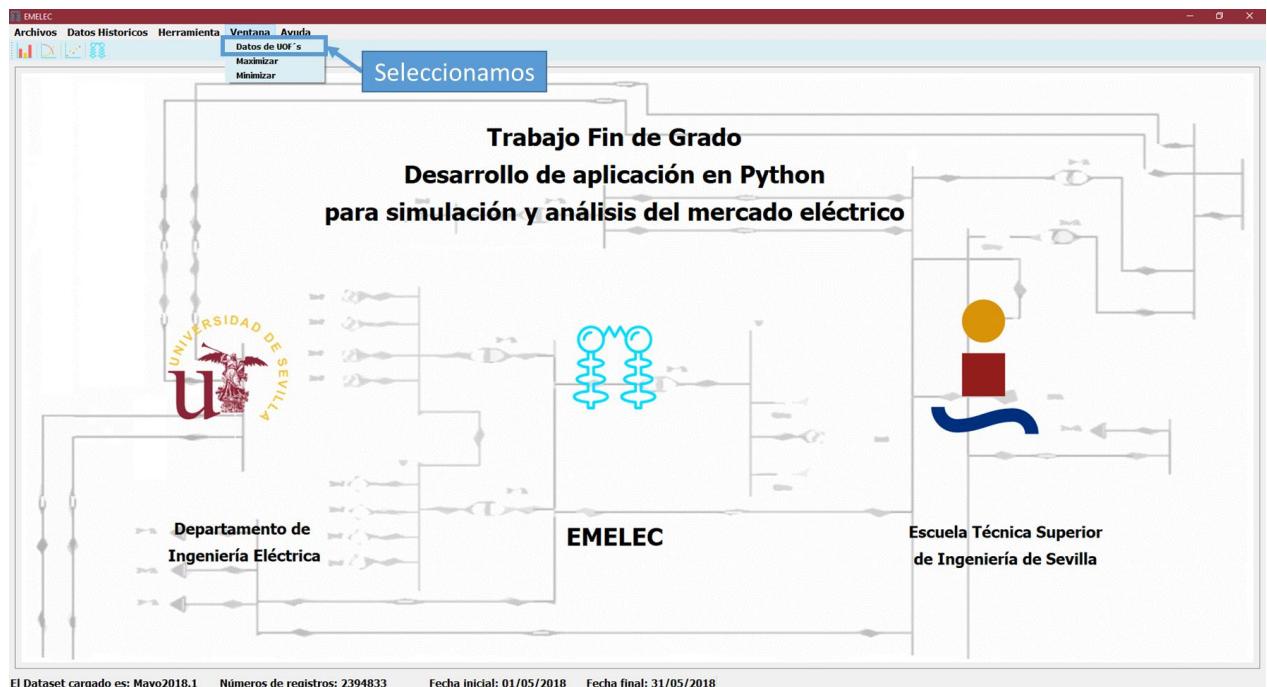


Figura 83: Pestaña datos de UOF's

Estos datos se han recopilado de la información que se puede extraer de la lista de unidades que emite OMIE, también de algunos datos proporcionados por el profesor y otros datos de la lista de UP, que emite el operador de sistema REE.

Para detectar si las unidades son de compra o venta, se debe realizar una consulta en ACCESS a un gran número de archivos unificados de curvas\_pbc\_uof (más de dos años,) colocando en criterio, el tipo de oferta “C” o “V” para que muestre las unidades de compra o venta.

1	2	3	4	5	6	7	8
2	AAVUC01	COMERCIALIZ...	AAVUMCO	OTROS	100.0	1.0	COMPRA ES
3	ABA1	HIDRAULICA	ABARAN	Wind to Market	100.0	1.0	VENTA ES
4	ABA2	HIDRAULICA	ABARAN 2	Wind to Market	100.0	1.0	VENTA ES
5	ABENV01	RECORE	ABENER REPR...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
6	ABENV02	RECORE	ABENER TARIFA...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
7	ABENV03	RECORE	ABENER TARIFA...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
8	ABENV04	RECORE	ABENER TARIFA...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
9	ABENV05	RECORE	ABENER TARIFA...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
10	ABENV06	RECORE	ABENER TARIFA...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
11	ABES01	COMERCIALIZ...	ABESA COMPRA	OTROS	100.0	1.0	COMPRA ES
12	ABO01	CARBON IMP...	C.T. ABONO 1	EDP	100.0	1.0	VENTA ES
13	ABO02	CARBON IMP...	C.T. ABONO 2	EDP	100.0	1.0	VENTA ES
14	ABCU01	COMERCIALIZ...	ABOUT WHITE	OTROS	100.0	1.0	COMPRA ES
15	ABRE001	RECORE	ABENER MERC...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
16	ABRE002	RECORE	ABENER MERC...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
17	ABRE003	RECORE	ABENER MERC...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
18	ABRE004	RECORE	ABENER MERC...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
19	ABRE005	RECORE	ABENER MERC...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
20	ABRE006	RECORE	ABENER MERC...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
21	ABRE007	RECORE	REPRESENTACI...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
22	ABRE008	RECORE	SOLN1 - REPRE...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
23	ABRE009	RECORE	SOLN3 - ABENE...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
24	ABRE010	RECORE	SOLN4 - ABENE...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
25	ABRE011	RECORE	UOF MERCADO...	OTROS	100.0	1.0	VENTA ES
26	ABT001	COMERCIALIZ...	AIGAS DE BAR...	OTROS	100.0	1.0	COMPRA ES
27	ACAVIADB	BOMBEO	BOMBAS DO C...	EDP	100.0	1.0	COMPRA PT
28	ACAVIADO	HIDRAULICA	CAJADO	EDP	100.0	1.0	VENTA PT

Figura 84: Pantalla de datos de UOF's

### 8.5.2 Maximizar

La funcionalidad de esta ventana es la de colocar en pantalla completa el programa.

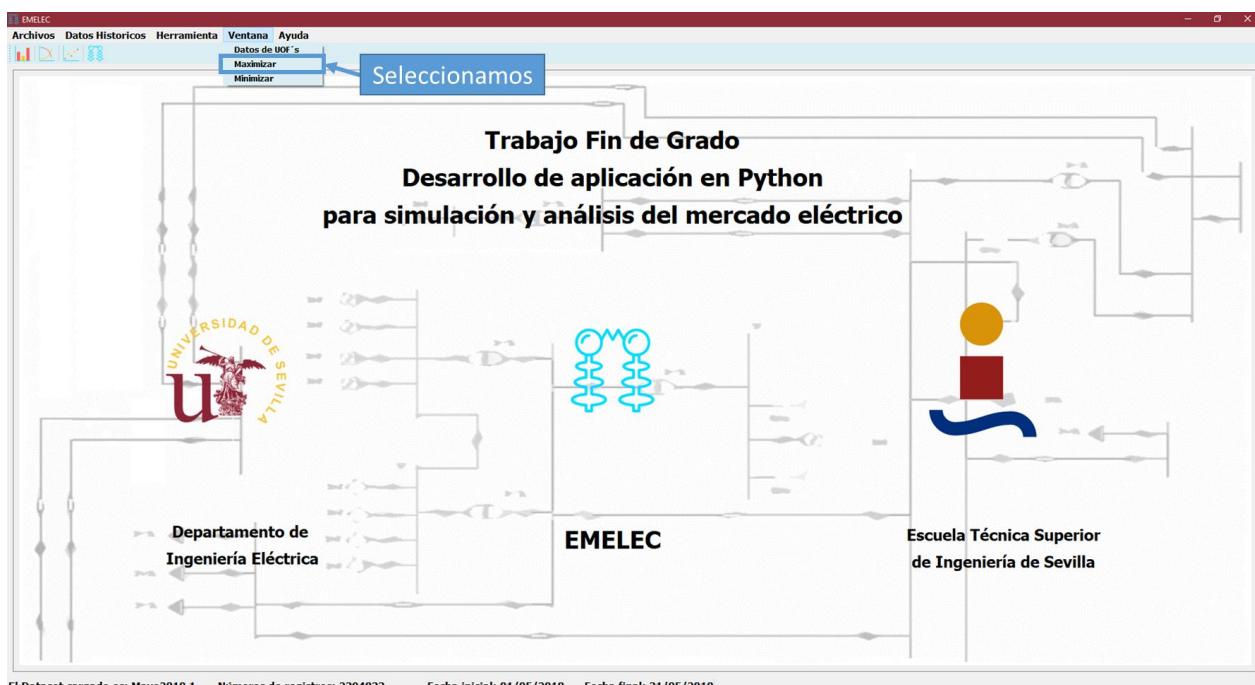


Figura 85: Pestaña maximizar

### 8.5.3 Minimizar

La funcionalidad de minimizar es la de ocultar o reducir el programa.

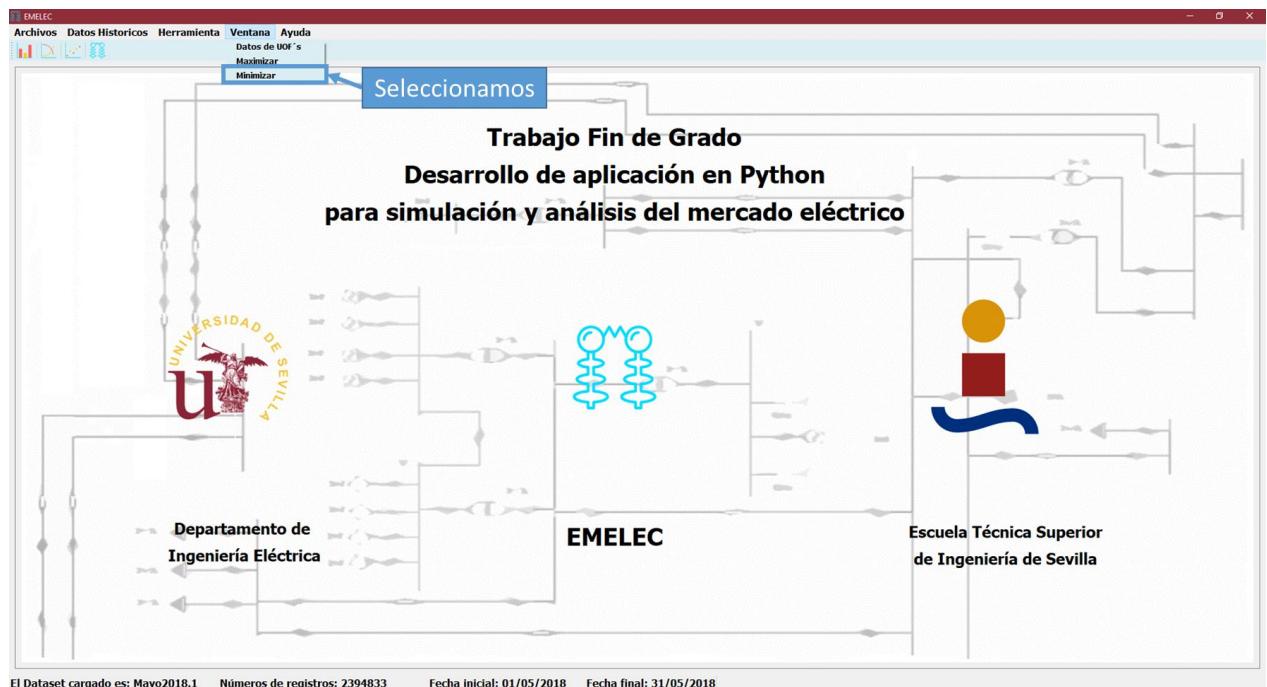


Figura 86: Pestaña de minimizar

## 8.6 Ayuda

En esta opción de la barra de menú, podemos visualizar la funcionalidad “Acerca de...”, es una ventana en la que se proporciona algunos datos de interés.



Figura 87: Pestaña Ayuda

### 8.6.1 Acerca de...

Al seleccionar la funcionalidad de la barra de menú “Acerca de...”, se muestra una ventana en la que aparece el nombre del programa, la versión, el nombre del creador y la fecha de actualización del programa.

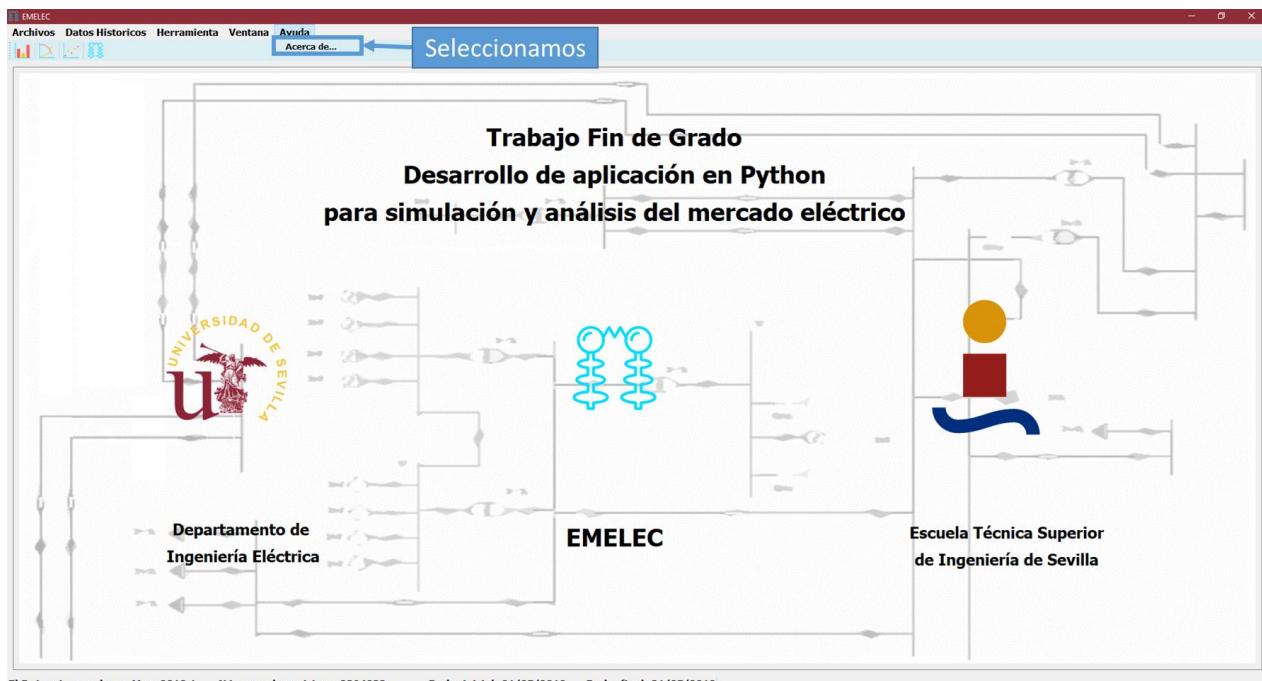


Figura 88: Pestaña Acerca de...

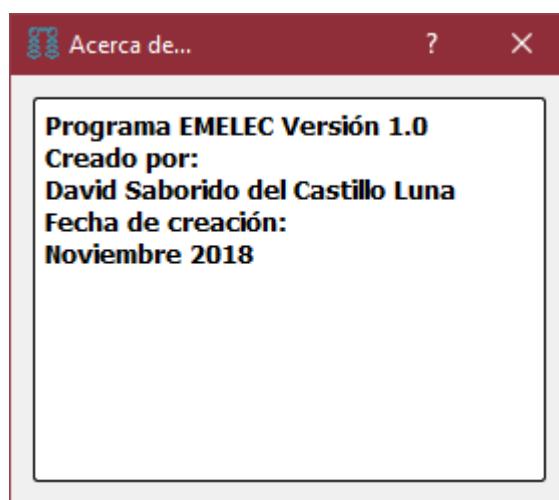


Figura 89: Pantalla de Acerca de...

# 9 REALIZACIÓN DE PRUEBAS

**E**n el presente capítulo se explicará de una forma breve y concisa algunos ejemplos de funcionamiento de la herramienta EMELEC, para que el usuario aprenda a utilizar la herramienta de una forma adecuada y sacarle el máximo partido.

## 9.1 Ejemplo de unificador de archivos

Los pasos para realizar la unificación de los archivos para convertirlos en un dataset son:

1. Añadir el nombre del dataset.
2. Seleccionar los archivos que quieras unificar en el dataset.
3. Verificar que los archivos seleccionados son los deseados.
4. Pulsar Añadir para empezar la unificación de todos los archivos seleccionados.
5. Creación de dataset con los datos seleccionados.

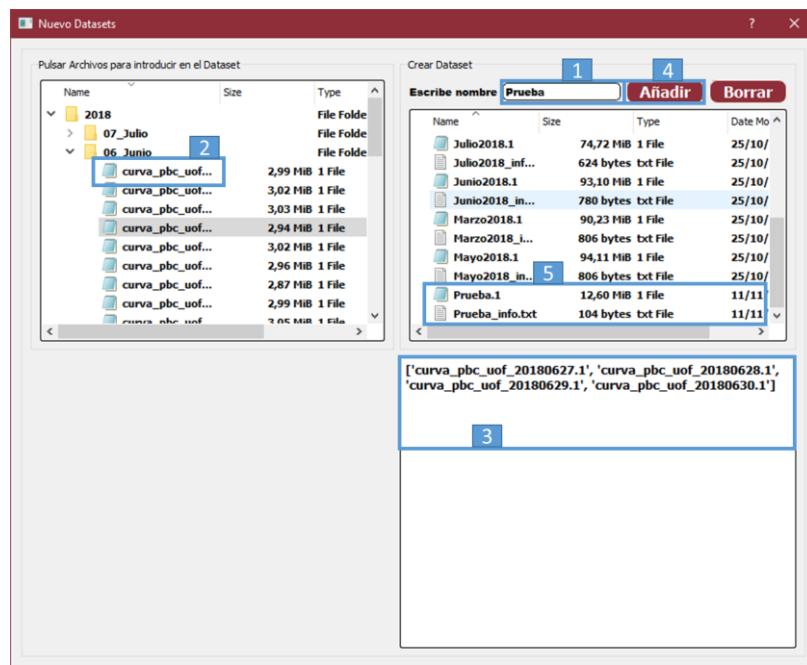


Figura 90: Ejemplo de unificador de archivo

## 9.2 Ejemplo de cargar un DataFrame

Los pasos para realizar la carga del DataFrame son:

1. Seleccionar el archivo PruebaInfo.txt o el Prueba.1.

2. Visualizar en la sub-ventana que los archivos que contienen son los que deseas cargar para el DataFrame.
3. Observar que se coloca directamente el archivo Prueba.1 en el campo “Dataset Seleccionado”.
4. Pulsar Aceptar para empezar la carga del DataFrame.

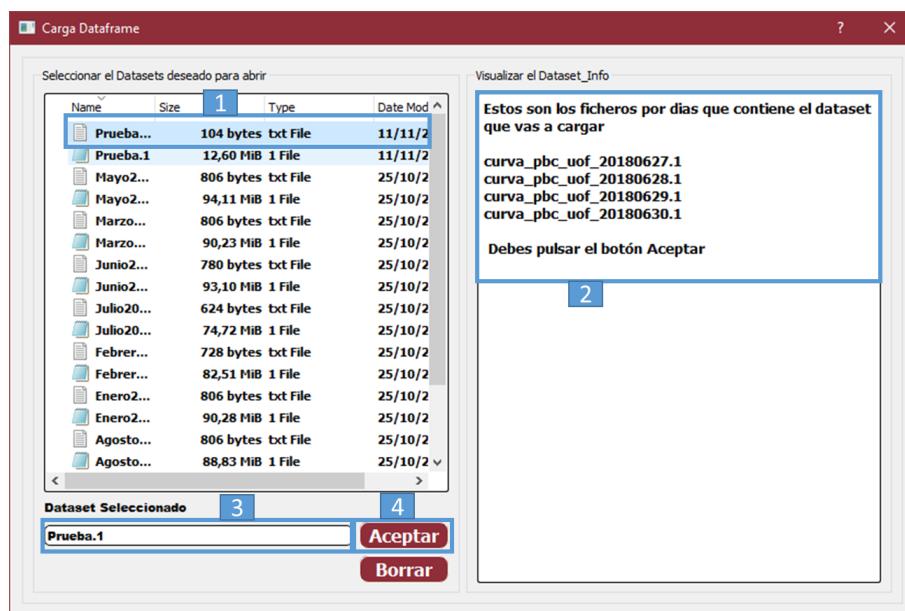


Figura 91: Ejemplo de carga DataFrame

### 9.3 Ejemplo de funcionamiento de precios de mercados

Realización de un ejemplo para obtener los valores numéricos de precio horario del mercado diario:

1. Seleccionar periodo (1 - 24).
2. Seleccionar la fecha.
3. Pulsar en Cálculos.
4. Pulsar en los botones disponibles para visualizar los datos.
5. Pantalla donde se muestran los datos del botón seleccionado.



Figura 92: Ejemplo de visualización de cálculos de mercado diario

Realización de un ejemplo para obtener las gráficas de precio horario del mercado diario:

1. Pulsar en “Gráficas”.
2. Seleccionar la fecha.
3. Pulsar el botón de la gráfica que se desea obtener.
4. Pantalla donde se mostrará la gráfica de la opción seleccionada.

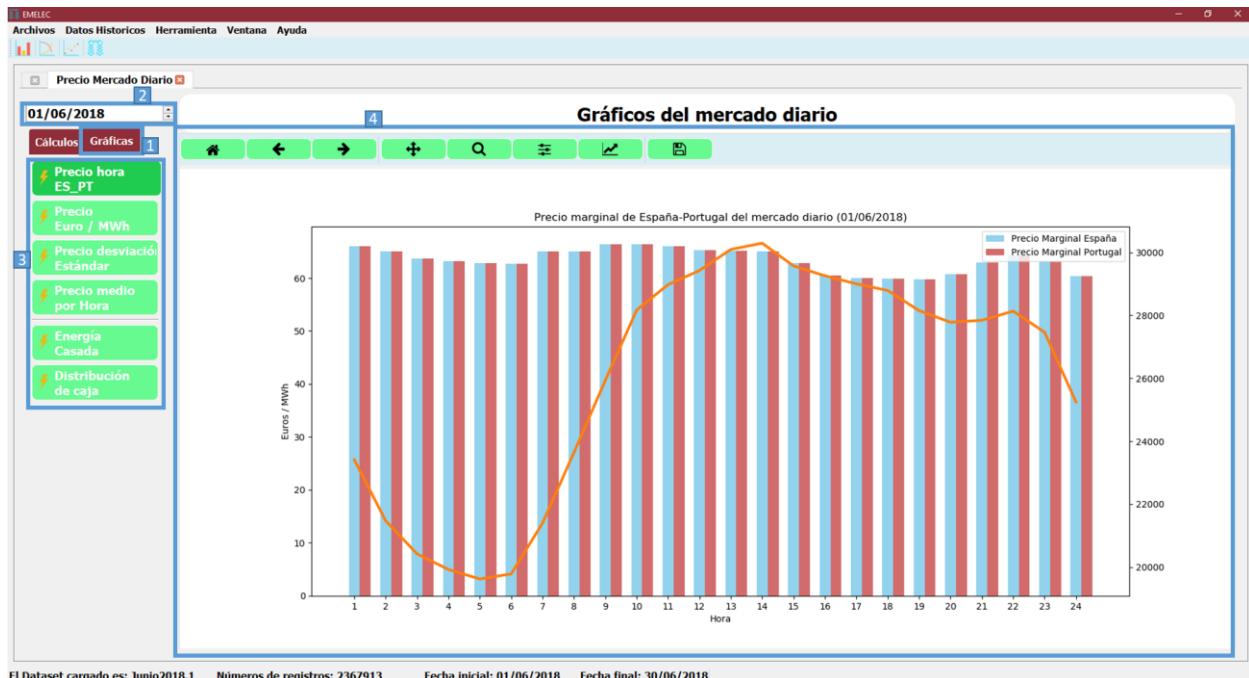


Figura 93: Ejemplo de visualización de gráficas de mercado diario

## 9.4 Ejemplo de obtención de las curvas agregadas de oferta y demanda

Realización de un ejemplo para obtener las gráficas de curva agregada de oferta y demanda:

1. Seleccionar la fecha.
2. Seleccionar el periodo (1 - 24).
3. Pulsar el botón “Generar gráfica”.
4. Apartado donde se muestran los datos de interés como la energía casada u ofertada y los precios de casación.
5. Pantalla donde se muestra la curva agregada de oferta y demanda.

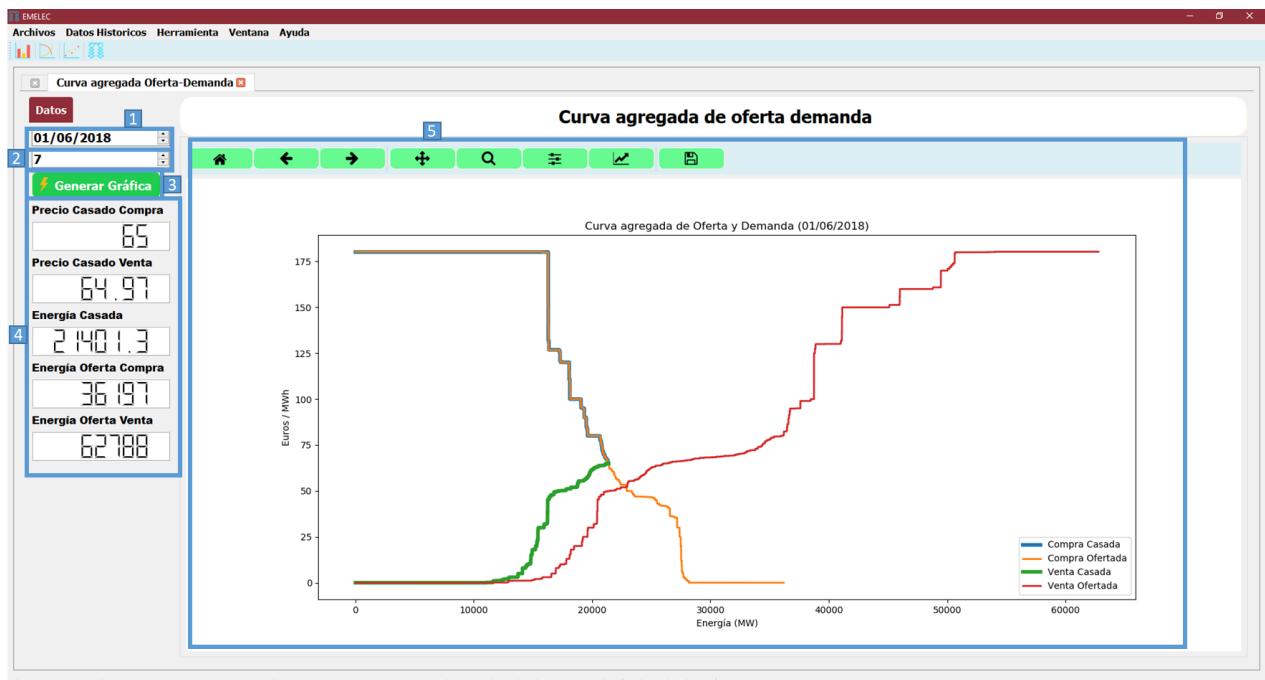


Figura 94: Ejemplo de ejecución de curva agregada de oferta y demanda

## 9.5 Ejemplo de obtención de las gráficas de estudio por tecnología

Los pasos a seguir para un ejemplo de estudio por tecnología:

1. Seleccionar la fecha.
2. Seleccionar la tecnología para la que se quiere mostrar los datos.
3. Seleccionar si la tecnología es compra o venta.
4. Seleccionar si quieres mostrar la energía Ofertada o Casada
5. Pulsar el botón “Generar Gráfica” para mostrar la gráfica y los valores numéricos.
6. Apartado donde se muestra la energía que se ha ofertado para cada rango de precios.
7. Pantalla donde se muestra la nube de puntos o clúster del rango de precios por hora y volumen de energía ofertada o casada.

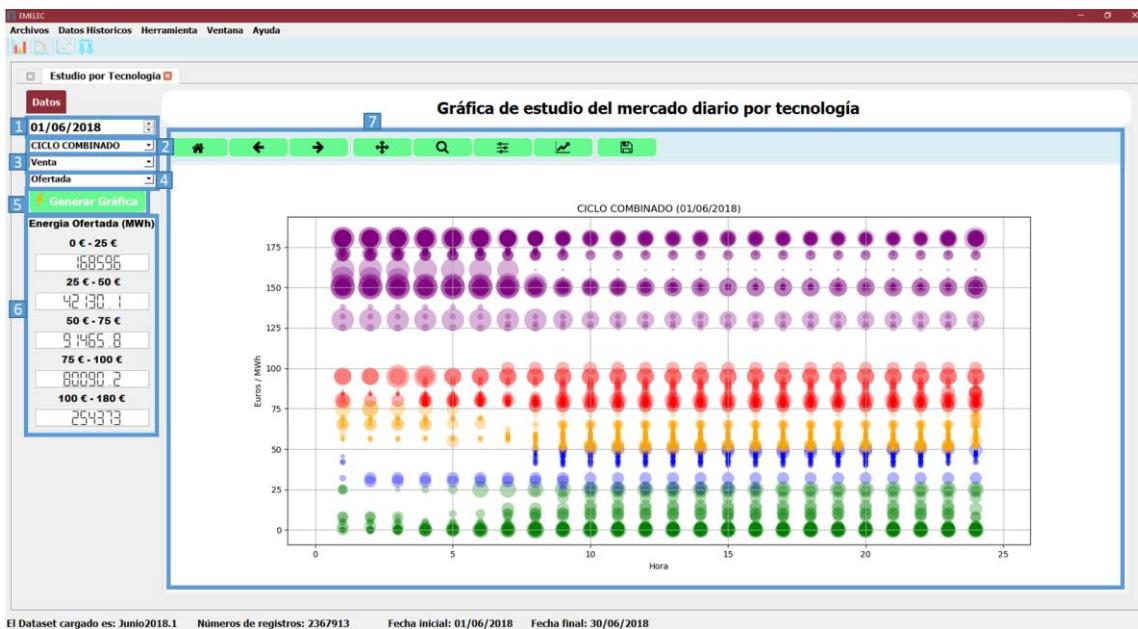


Figura 95: Ejemplo de ejecución de gráfica estudio por tecnología

## 9.6 Ejemplo de obtención de las gráficas del simulador de mercado simple

Realización de un ejemplo para obtener la gráfica de curva agregada de oferta y demanda para el simulador de mercado simple:

1. Seleccionar la fecha.
2. Seleccionar el periodo (1 – 24).
3. Seleccionar la tecnología a la que se le quiere modificar la energía ofertada.
4. Valor para multiplicar a la energía ofertada.
5. Valor para sumar a la energía ofertada.
6. Pulsar botón para generar la gráfica.
7. Apartado donde se muestra la energía total que se le introduce a las ofertas de compra o venta de la tecnología seleccionada.
8. Pantalla donde se muestra la curva agregada de oferta y demanda, pero con la energía modificada de la tecnología seleccionada.
9. Pulsar el botón para extraer un documento con los datos de la modificación realizada a la energía ofertada de la tecnología seleccionada.

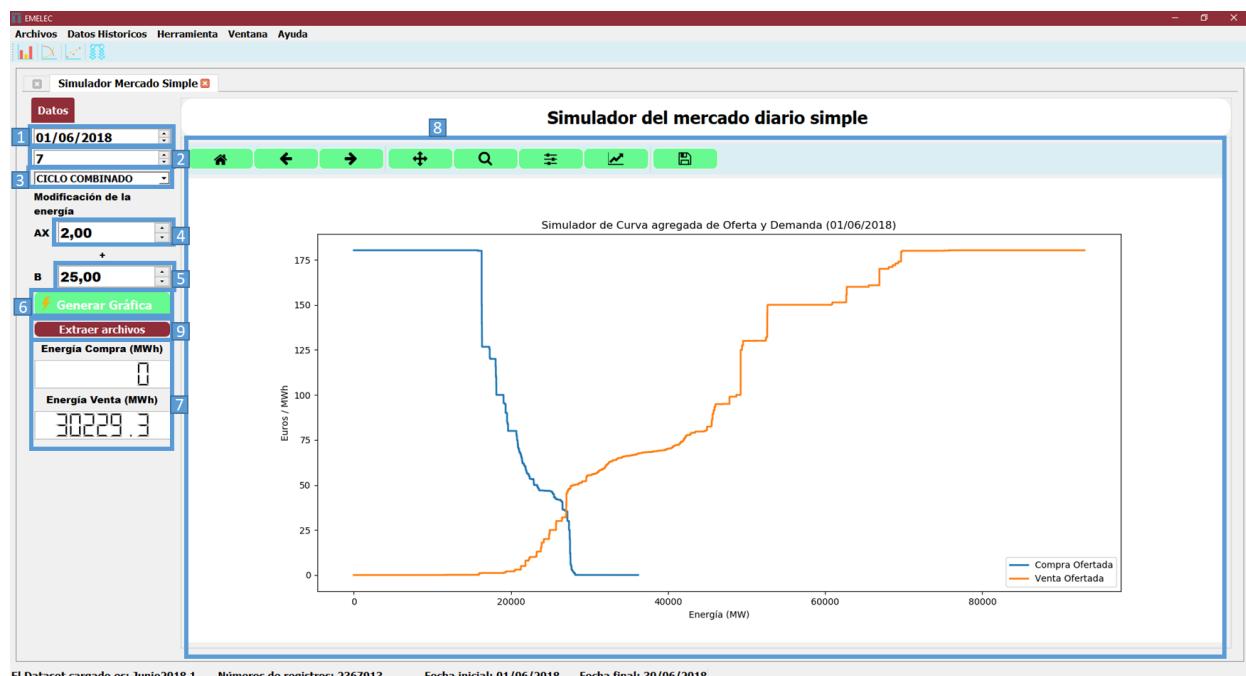


Figura 96: Ejemplo de ejecución de gráfica de simulador de mercado



# 10 CONCLUSIONES

---

**C**onocida la herramienta, el gran potencial de análisis que presenta y toda la información que se puede extraer, en este capítulo se proporciona las conclusiones más importantes a tener en cuenta sobre la curva agregada de oferta y demanda del mercado diario.

## 10.1 Conclusiones

Se puede observar que, con esta herramienta de análisis del mercado eléctrico, se puede realizar un estudio de los precios del mercado diario de España y Portugal. Esto se representa con las gráficas de histogramas y la energía subastada con las gráficas lineales. Asimismo, se aplica un análisis estadístico utilizando la media, mediana, moda, desviación estándar y los distintos percentiles 25%, 50% y 75% a los precios y energías ofertadas que se extraen de las curvas agregadas de oferta y demanda del mercado diario, obteniendo de estos cálculos la energía o precio que más se repite por periodo y día, la dispersión que tiene estos datos, etc.

Con este programa el usuario puede obtener la representación de los datos de la curva agregada de oferta y demanda del mercado diario. Esta funcionalidad de la herramienta, permite visualizar las curvas marginalistas del mercado diario sin la necesidad de conectarnos a la página oficial del operador de mercado OMIE, es decir, no se necesita la conexión a internet siempre que este disponibles los datos en la base de datos de la aplicación.

También, con la funcionalidad de estudio por tecnología, se puede obtener una nube de puntos que representan la cantidad de energía (por el tamaño del punto y opacidad) y rango de precios (por los colores de los puntos) de las distintas ofertas de cada tecnología en la subasta del mercado diario. Esta funcionalidad se podría ampliar en un futuro para estudiar las ofertas de las unidades (en vez de seleccionar por tecnologías se seleccionaría por UOF), con la representación de esto datos se podría encontrar un patrón de conducta de las distintas unidades en el mercado.

Se puede decir que, con la funcionalidad de simulador del mercado, se puede obtener los precios aproximados del mercado, según la variación de las ofertas de energía de cada tecnología. Es decir, según si se añade o elimina las ofertas de cada tecnología las curvas agregadas de oferta y demanda se desplazarán hacia la izquierda o derecha cambiando su punto de corte o precio marginal.

Se puede observar que el análisis que se ha realizado con la herramienta, puede determinar el incremento de los precios de la energía en el mercado diario. Esto sucede por el incremento en los precios de las ofertas de la tecnología hidráulica porque están ofertando a los mismos precios que la térmicas convencionales, cuando los costes de dicha tecnología se aproximan a los costes de operación.

Del simulador de mercado, si simulamos el mercado sin tecnología de carbón, se puede observar que los precios del mercado son menores a causa del desplazamiento hacia la izquierda del punto de corte marginal de las curvas agregadas de oferta y demanda.

Asimismo, se podría deducir que la tecnología térmica convencional, la gran mayoría presentan ofertas complejas de condición de ingresos mínimos porque ofertan mucha energía a precios bajos pero la energía casada es muy inferior a la ofertada. Además, en las gráficas de estudio por tecnología se puede identificar patrones de conductas de la tecnología térmica, como su estado de arranque o parada de estas centrales.

Se puede observar que las comercializadoras es la tecnología que mayor demanda tiene de energía, porque la gran parte de sus clientes son pequeños consumidores. Además, una gran parte de las comercializadoras hacen ofertas de compra de energía a precio cero en el mercado diario, esto se debe a que no quieren casar energía ya que, han realizado ofertas con contratos bilaterales o han comprado la energía en mercados a futuros.

# 11 PROPUESTAS DE MEJORAS

---

**P**ara finalizar, en el presente capítulo se propone unas mejoras para la herramienta EMELEC. Esta herramienta es una versión muy básica, pero con la que se le puede extraer mucha información solo con el análisis del fichero de curva agregada de oferta y demanda. La idea de este capítulo es la de explicar algunas de las futuras mejoras de la herramienta, para conseguir el interés de la empresa que quiera adquirirla y mostrar la versatilidad y el potencial que puede alcanzar con las siguientes propuestas.

## 11.1 Descargador de archivos automático

Se añadirá una pestaña nueva en la barra de menú denominada Descarga OMIE, su función es la de conectar a través de la API que proporciona OMIE, para descargar todos los archivos de forma automática y que se almacene en el ordenador para facilitar el trabajo al usuario.

## 11.2 Algoritmo Euphemia

Creación del algoritmo Euphemia con Python, para realizar estrategias de mercado con la herramienta.

## 11.3 Mejoras en el simulador

En la pantalla de simulador se modificará para mejorar la funcionalidad y ofrecer las siguientes opciones:

- Modificación del ATC: El usuario podrá modificar los valores de interconexiones entre las fronteras.
- Modificación de las ofertas de Unidades: El usuario podrá modificar la energía, los precios a nivel de tramos, las condiciones complejas (CIMF, CIMV, rampa de subida o bajada, indivisibilidad...) para una única unidad o para varias unidades ofertantes,
- Adaptación de la oferta de una unidad a otra: EL usuario podrá igualar la oferta de una unidad ofertante a otra unidad ofertante.
- Introducir unidades ficticias: El usuario podrá introducir una unidad ficticia con la estrategia que quiere aplicar en el mercado para saber los beneficios que obtendría en el mercado diario.

## 11.4 Machine learning

Aplicación de modelos predictivos en el mercado diario, para saber cuánta energía se va a subastar en el mercado y mejorar la estrategia del mercado.

## 11.5 Informes

Obtención de informe comparativo con los datos históricos tras realizar la casación con el algoritmo Euphemia implementado para la herramienta EMELEC.

## 11.6 Añadir combo de UOF's

Se añadirá un nuevo combo para elegir si modificar por tecnología o por Unidades UOF's para poder obtener el patrón de conducta de cada unidad ofertante en el mercado diario y poder sacar la estrategia que tiene en el mercado.

# REFERENCIAS

---

- [1] M. intradiario, «OMIE,» [En línea]. Available: <http://m.omie.es/inicio/mercados-y-productos/mercado-electricidad/nuestros-mercados-de-electricidad/mercado-intradiar?m=yes>.
- [2] «Energía y sociedad,» [En línea]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/6-2-formacion-de-precios-en-los-mercados-mayoristas-a-plazo-de-electricidad/>.
- [3] R. d. funcionamientos, «OMIE,» [En línea]. Available: <http://www.omie.es/inicio/normativa-de-mercado/reglas-omie>.
- [4] «Energía y Sociedad,» [En línea]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/2-3-actividades-reguladas-y-actividades-en-libre-competencia/>.
- [5] «BOE: Resolución de 9 de mayo de 2018,» [En línea]. Available: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-6295](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-6295).
- [6] «BOE: Resolución de 27 de enero de 2014,» [En línea]. Available: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-916](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-916).
- [7] «BOE: Resolución de 23 de julio de 2012,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-10386>.
- [8] «BOE: Real Decreto 647/2011,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-8910>.
- [9] R. G. Duque, Python para todos, Creative Commons.
- [10] T. Peters, «Python 3 para impacientes,» [En línea]. Available: <http://python-para-impacientes.blogspot.com.es/2017/02/instalar-python-paso-paso.html>.
- [11] W. Python, «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Python>.
- [12] W. PyCharm, «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/PyCharm>.
- [13] «Mi diario Python,» [En línea]. Available: <http://www.pythondiario.com/2016/11/los-5-mejores-ide-para-python.html>.
- [14] R. Python, «Recursos Python,» [En línea]. Available: <https://recursospython.com/guias-y-manuales/convertir-qtdesigner-a-codigo-python/>.
- [15] «PyQt Soucer forger,» [En línea]. Available: <http://pyqt.sourceforge.net/Docs/PyQt5/designer.html>.
- [16] OMIE, «Modelo de Ficheros para la distribución pública de Información del mercado de electricidad».

- [17] W. Numpy, «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/NumPy>.
- [18] W. Matplotlib, «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Matplotlib>.
- [19] W. SciPy, «Wikipedia,» [En línea].
- [20] W. PyQt, «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/PyQt>.
- [21] W. Pandas, «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pandas>.
- [22] Retinaicons, «Flaticons,» [En línea]. Available: [https://www.flaticon.com/search?word=power%20transformer&author\\_id=182](https://www.flaticon.com/search?word=power%20transformer&author_id=182).
- [23] Smashicons, «Flaticons,» [En línea]. Available: <https://smashicons.com/>.
- [24] Freepik, «Flaticons,» [En línea]. Available: [https://www.flaticon.com/search?word=logout&author\\_id=1](https://www.flaticon.com/search?word=logout&author_id=1).
- [25] Neungstockr, «Flaticons,» [En línea]. Available: <https://www.flaticon.com/authors/neungstockr>.
- [26] Smashicons, «Flaticons,» [En línea]. Available: [https://www.flaticon.com/free-icon/flash\\_222506#term=flash&page=1&position=4](https://www.flaticon.com/free-icon/flash_222506#term=flash&page=1&position=4).