

TOMA DE DECISIONES

EN MERCADO ELÉCTRICO



Manual de uso de la aplicación

Versión 0.9

Tabla de contenido

1. Compatibilidad.....	- 5 -
1.1 Requisitos del sistema.....	- 5 -
Software.....	- 5 -
Componentes adicionales.....	- 5 -
1.2 Sistemas operativos compatibles	- 5 -
1.3 Limitaciones conocidas.....	- 5 -
2. Instalación.....	- 6 -
2.1 Formato de distribución.....	- 6 -
2.2 Procedimiento de instalación	- 6 -
Instalación desde MATLAB (recomendado)	- 6 -
Instalación mediante doble clic	- 6 -
2.3 Verificación de la instalación.....	- 6 -
2.4 Configuración inicial	- 7 -
2.5 Instalación de módulos asociados.....	- 7 -
2.6 Consideraciones de instalación	- 7 -
3. Licencia.....	- 8 -
3.1 Modelo de licenciamiento.....	- 8 -
3.2 Solicitud de licencia	- 8 -
3.3 Activación del software	- 8 -
3.4 Caducidad y renovación.....	- 9 -
4. Módulo principal	- 10 -
4.1 Descripción general	- 10 -
4.2 Interfaz de usuario.....	- 10 -
Elementos principales	- 10 -
Selector de aplicación.....	- 10 -
Botón “Go!”	- 11 -
Panel descriptivo.....	- 11 -
Botón “Activar”	- 11 -
5. Módulo Pool Producer	- 12 -
5.1 Descripción general	- 12 -
5.2 Interfaz del módulo	- 12 -
5.3 Introducción de datos.....	- 13 -
Procedimiento	- 13 -
5.4 Ejecución del modelo.....	- 13 -
Pantalla de cálculo.....	- 13 -
Proceso de cálculo.....	- 14 -

5.5 Resultados del modelo	- 14 -
Pantalla de resultados	- 14 -
Información generada.....	- 15 -
5.6 Análisis de resultados	- 15 -
Frontera eficiente	- 15 -
Resultados por unidad	- 15 -
Informes	- 15 -
6. Módulo New Market Producer.....	- 16 -
6.1 Descripción general	- 16 -
6.2 Interfaz del módulo	- 16 -
Pantalla de configuración de datos	- 16 -
Elementos principales	- 16 -
6.3 Introducción de datos.....	- 17 -
Procedimiento	- 17 -
6.4 Ejecución del modelo.....	- 17 -
Proceso de cálculo.....	- 18 -
6.5 Resultados del modelo	- 18 -
Pantalla de resultados	- 18 -
Información generada.....	- 19 -
6.6 Análisis de resultados	- 19 -
Frontera eficiente	- 19 -
Producción y suministro	- 19 -
Análisis multi-periodo.....	- 19 -
7. Módulo Retailer	- 21 -
7.1 Descripción general	- 21 -
7.2 Interfaz del módulo	- 21 -
Pantalla de configuración de datos	- 21 -
Elementos principales	- 21 -
7.3 Introducción de datos.....	- 22 -
Procedimiento	- 22 -
7.4 Ejecución del modelo.....	- 22 -
Proceso de cálculo.....	- 23 -
7.5 Resultados del modelo	- 23 -
Información generada.....	- 23 -
7.6 Análisis de resultados	- 23 -
Frontera eficiente	- 23 -
Energía suministrada.....	- 23 -
Estrategia óptima	- 24 -
8. Módulo Consumer	- 25 -
8.1 Descripción general	- 25 -
8.2 Interfaz del módulo	- 25 -
Elementos principales	- 25 -

8.3 Introducción de datos	- 26 -
◆ Procedimiento	- 26 -
8.4 Ejecución del modelo	- 26 -
Proceso de cálculo.....	- 27 -
8.5 Resultados del modelo	- 27 -
Información generada.....	- 28 -
8.6 Análisis de resultados	- 28 -
Frontera eficiente	- 28 -
Consumo por contrato	- 28 -
Estrategia óptima	- 28 -
9. Módulo Market Clearing	- 29 -
9.1 Descripción general	- 29 -
9.2 Interfaz del módulo	- 29 -
Elementos principales	- 29 -
9.3 Introducción de datos	- 30 -
Procedimiento	- 30 -
9.4 Ejecución del modelo	- 30 -
Proceso de cálculo.....	- 31 -
9.5 Resultados del modelo	- 31 -
Información generada.....	- 32 -
9.6 Análisis de resultados	- 32 -
Costes sociales	- 32 -
Seguridad del sistema.....	- 32 -
Producción por unidad	- 32 -

1. Compatibilidad

1.1 Requisitos del sistema

La aplicación **Toma de Decisiones Eléctricas** ha sido desarrollada en el entorno MATLAB, como framework de desarrollo de interfaces gráficas. Se presenta en modo MATLAB App instalable en un ordenador que disponga de MATLAB versión R2024a y superiores.

Para su correcta instalación y ejecución, el sistema debe cumplir los siguientes requisitos:

Software

- MATLAB versión **R2023a o superior**. Puede funcionar con versiones anteriores pero no se garantiza.
- Necesario utilizar la **Optimization Toolbox**.

Componentes adicionales

- Soporte de ejecución de código compilado según plataforma:
 - `.mexw64` (Windows)
 - `.mexa64` (Linux)
 - `.mexmaci64` (macOS M1 y posteriores)
- Librerías estándar del sistema necesarias para la ejecución de binarios asociados

1.2 Sistemas operativos compatibles

El software ha sido diseñado para operar en entornos multiplataforma, siendo compatible con:

- Windows (10 o superior)
- macOS (10.14 o superior)
- Linux (distribuciones modernas compatibles con MATLAB)

La aplicación principal funciona dentro de MATLAB, mientras que los módulos pueden ejecutarse como aplicaciones independientes según la plataforma.

1.3 Limitaciones conocidas

- Versiones de MATLAB anteriores a R2020a pueden no soportar correctamente algunos componentes.
- En sistemas Linux, puede ser necesario ajustar permisos de ejecución para los binarios.

2. Instalación

2.1 Formato de distribución

El software se distribuye mediante el archivo:

`Toma Decisiones Elctricas.mlappinstall`

Este formato corresponde a un paquete de aplicación de MATLAB, que permite su instalación directa dentro del entorno MATLAB.

El archivo contiene:

- La aplicación principal desarrollada en App Designer
- Referencias a los módulos funcionales
- Recursos gráficos y elementos de interfaz

2.2 Procedimiento de instalación

Instalación desde MATLAB (recomendado)

1. Abrir MATLAB
2. Acceder a la pestaña **APPS**
3. Seleccionar la opción **Install App**
4. Localizar y seleccionar el archivo:

`Toma Decisiones Elctricas.mlappinstall`

5. Confirmar la instalación

Una vez finalizado el proceso, la aplicación aparecerá disponible en el panel de Apps.

Instalación mediante doble clic

En sistemas compatibles, es posible instalar la aplicación directamente:

1. Hacer doble clic sobre el archivo `.mlappinstall`
2. MATLAB se iniciará automáticamente
3. Confirmar la instalación en el cuadro de diálogo

2.3 Verificación de la instalación

Tras la instalación, se recomienda comprobar que:

- La aplicación aparece en la pestaña **Apps**
- Se puede ejecutar sin errores
- Se carga correctamente la interfaz principal
- Los recursos gráficos (imágenes, iconos) se visualizan correctamente

2.4 Configuración inicial

En el primer arranque:

- La aplicación establece su directorio de trabajo interno
- Se inicializan los componentes de interfaz
- Se habilita el sistema de activación/licencia

No es necesaria ninguna configuración adicional por parte del usuario en condiciones normales.

2.5 Instalación de módulos asociados

Los módulos funcionales (Pool Producer, Retailer, etc.) pueden estar distribuidos como:

- Ejecutables independientes (standalone)
- Recursos incluidos en la instalación

La aplicación principal se encarga de:

- Detectar el sistema operativo
- Lanzar el ejecutable correspondiente

Es importante que los módulos se encuentren en la ruta esperada por la aplicación.

2.6 Consideraciones de instalación

Durante la instalación deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- El usuario debe disponer de permisos de escritura en el entorno MATLAB
- El sistema debe permitir la ejecución de archivos MEX
- En sistemas Linux y macOS puede ser necesario habilitar permisos de ejecución en los binarios

En caso de problemas:

- Verificar la versión de MATLAB
- Reinstalar la aplicación
- Comprobar la integridad del archivo `.mlappinstall`

3. Licencia

3.1 Modelo de licenciamiento

El software **Toma de Decisiones Eléctricas** requiere la activación mediante un código de licencia para su utilización.

La licencia:

- Debe ser solicitada al autor del software
- Tiene una validez temporal de **6 meses**
- Es **renovable** previa solicitud

Este mecanismo permite controlar el uso del software y garantizar su correcta distribución.

3.2 Solicitud de licencia

Para obtener una licencia válida, el usuario debe:

1. Contactar con el autor del software
2. Solicitar un código de activación
3. Introducir dicho código en la aplicación

El código de activación es:

- Alfanumérico
- De 16 caracteres
- Generado específicamente para cada periodo de uso

3.3 Activación del software

La activación se realiza desde la aplicación principal.



1. Ejecutar la aplicación principal
2. Localizar el botón “**Activar**” en la interfaz
3. Introducir el código de licencia proporcionado
4. Confirmar la activación

3.4 Caducidad y renovación

La licencia tiene una duración de:

- **6 meses desde su activación**

Tras este periodo:

- El sistema bloqueará la ejecución del software
- Será necesario solicitar una nueva licencia

El proceso de renovación es idéntico al de activación inicial.

4. Módulo principal

4.1 Descripción general

El módulo principal constituye el punto de entrada al sistema **Toma de Decisiones Eléctricas**. Se trata de una aplicación cuya función es centralizar el acceso a los distintos modelos disponibles.

Este módulo permite al usuario:

- Seleccionar el tipo de aplicación a ejecutar
- Consultar una descripción funcional del modelo
- Activar el software mediante licencia
- Lanzar los módulos correspondientes

4.2 Interfaz de usuario

Elementos principales

La interfaz del módulo principal se compone de los siguientes elementos:



Selector de aplicación

Ubicado en la parte superior derecha, permite elegir el módulo a ejecutar. Las opciones disponibles incluyen:

- Pool Producer
- Producer New Market Unavailability
- Retailer
- Consumer
- Market Clearing

Botón “Go!”

Permite lanzar el módulo seleccionado.

Al pulsarlo:

- La aplicación identifica el sistema operativo
- Se ejecuta el módulo correspondiente
- Se abre la aplicación específica del modelo

Panel descriptivo

Situado en la parte derecha de la interfaz, muestra:

- El nombre del módulo seleccionado
- Una descripción funcional del mismo

Este panel se actualiza automáticamente al cambiar la selección.

Botón “Activar”

Permite introducir el código de licencia necesario para habilitar el uso del software.

Su funcionamiento está descrito en la sección anterior.

5. Módulo Pool Producer

5.1 Descripción general

El módulo **Pool Producer** permite modelizar el comportamiento de un productor de energía eléctrica en el mercado diario (*pool*), considerando su participación en distintos escenarios de operación.

El objetivo del módulo es:

- Determinar la **estrategia óptima de oferta** del productor
- Maximizar el beneficio esperado
- Analizar el impacto del riesgo mediante el parámetro β (beta)

El modelo incorpora:

- Escenarios de precios
- Restricciones técnicas de las unidades de generación
- Incertidumbre en el mercado

5.2 Interfaz del módulo

Pantalla de configuración de datos



Panel de elementos

Situado en la parte izquierda, permite seleccionar los distintos tipos de datos necesarios:

- Escenarios de precios
- Precios a 24 horas
- Escenarios de ajuste
- Unidades de producción

▪ Selección de tipo de dato

Mediante el desplegable “**Tipo**”, el usuario selecciona el tipo de información que desea cargar.

▪ Botones de gestión

- **Buscar**: permite cargar un fichero de entrada
- **Guardar**: almacena la configuración actual
- **Eliminar**: elimina datos cargados
- **Ayuda**: proporciona información adicional

▪ Panel descriptivo

Describe el tipo de información requerida, por ejemplo:

- Restricciones técnicas
- Capacidades operativas
- Limitaciones de las unidades

5.3 Introducción de datos

El módulo requiere la carga de datos mediante ficheros externos.

Procedimiento

1. Seleccionar el tipo de dato en el desplegable
2. Pulsar “**Buscar**”
3. Seleccionar el fichero correspondiente
4. Repetir el proceso para todos los elementos necesarios

5.4 Ejecución del modelo

Pantalla de cálculo



Proceso de cálculo

Una vez cargados los datos:

1. Acceder a la pestaña “Cálculos”
2. Pulsar el botón “Calcular”
3. El sistema ejecuta el modelo de optimización

Durante la ejecución:

- Se muestran resultados intermedios
- Se indican valores del parámetro β
- Se reporta el estado de convergencia (EXITFLAG)

5.5 Resultados del modelo

Pantalla de resultados



Información generada

El módulo proporciona:

- Beneficio esperado (**Profit**)
- Desviación estándar (**Profit std**)
- Medida de riesgo (**CVaR**)
- Valores para distintos niveles de β

5.6 Análisis de resultados

El módulo permite:

Frontera eficiente

- Representación gráfica en función de β
- Análisis del compromiso entre rentabilidad y riesgo

Resultados por unidad

- Producción esperada por unidad
- Distribución de potencia

Informes

- Generación de informes automáticos
- Exportación de resultados

6. Módulo New Market Producer

6.1 Descripción general

El módulo **New Market Producer** extiende el modelo del productor en el mercado eléctrico incorporando la participación en **mercados de futuros**, así como la consideración de la **disponibilidad de las unidades de generación**.

El objetivo del módulo es:

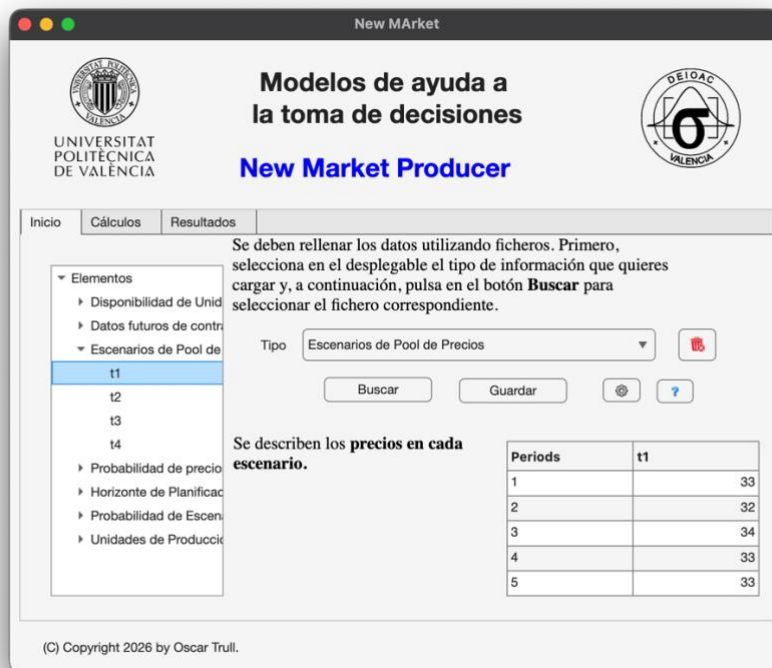
- Determinar la estrategia óptima de producción y contratación
- Integrar decisiones en mercado spot y mercado de futuros
- Analizar el impacto del riesgo mediante el parámetro β

Este módulo introduce una mayor complejidad respecto a **Pool Producer**, al considerar:

- Contratos a plazo
- Escenarios de indisponibilidad
- Decisiones intertemporales

6.2 Interfaz del módulo

Pantalla de configuración de datos



Elementos principales

▪ **Panel de elementos**

Incluye una estructura más completa que en el módulo anterior:

- Disponibilidad de unidades
- Datos de contratos de futuros
- Escenarios de precios del pool
- Probabilidades de precios
- Horizonte de planificación
- Probabilidad de escenarios
- Unidades de producción

▪ **Escenarios multi-periodo**

Se introducen escenarios organizados por periodos (t1, t2, t3, t4), lo que permite modelar la evolución temporal del sistema.

▪ **Tabla de datos**

Permite visualizar:

- Valores de precios por periodo
- Datos asociados a cada escenario

▪ **Gestión de ficheros**

Se mantiene la misma lógica:

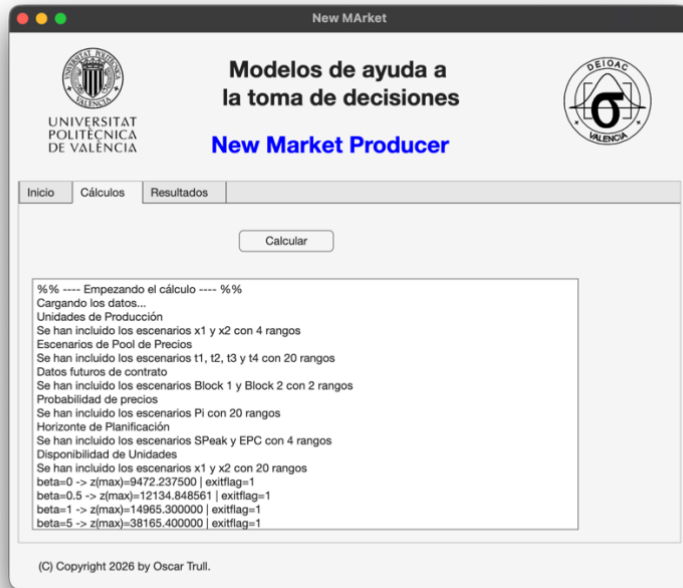
- **Buscar:** carga de datos
- **Guardar:** almacenamiento
- **Eliminar:** limpieza de datos

6.3 Introducción de datos

Procedimiento

1. Seleccionar el tipo de dato en el panel
2. Elegir el elemento específico (por ejemplo, t1, t2, etc.)
3. Cargar el fichero correspondiente
4. Repetir para todos los elementos necesarios

6.4 Ejecución del modelo



Proceso de cálculo

Durante la ejecución se muestra:

- Carga de datos por bloques:
 - Unidades de producción
 - Escenarios de precios
 - Contratos de futuros
 - Probabilidades
 - Horizonte de planificación
 - Disponibilidad
- Inclusión de escenarios en el modelo
- Resultados para distintos valores de β
- Estado de convergencia (EXITFLAG)

6.5 Resultados del modelo

Pantalla de resultados



Información generada

El módulo proporciona:

- Beneficio esperado (**Profit**)
- Desviación estándar (**Profit std**)
- Medida de riesgo (**CVaR**)
- Resultados para distintos valores de β

6.6 Análisis de resultados

El módulo permite:

Frontera eficiente

- Relación entre rentabilidad y riesgo
- Impacto del parámetro β

Producción y suministro

- Energía suministrada por periodo
- Distribución temporal de la producción

Análisis multi-periodo

A diferencia del módulo Pool Producer, aquí se obtiene:

- Evolución de decisiones en el tiempo
- Interacción entre contratos y mercado spot

7. Módulo Retailer

7.1 Descripción general

El módulo **Retailer** modeliza el problema de un **comercializador de energía eléctrica**, que actúa como intermediario entre productores y consumidores.

El objetivo del módulo es:

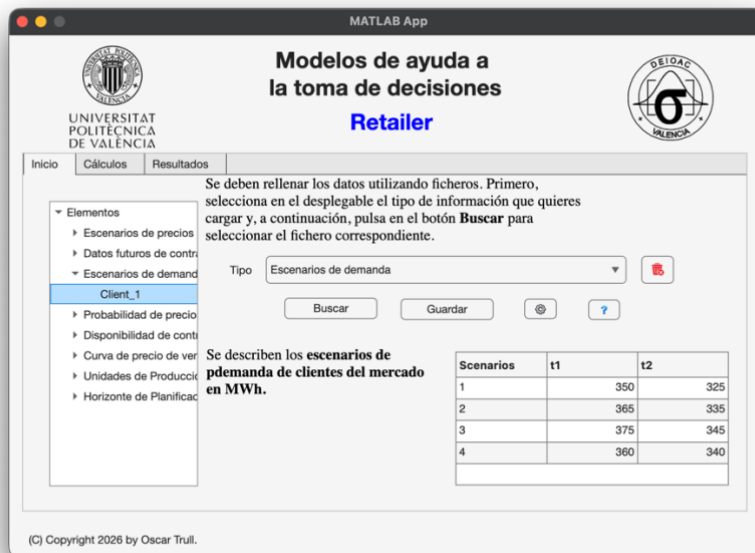
- Determinar la estrategia óptima de compra de energía
- Minimizar el coste esperado de suministro
- Gestionar el riesgo asociado a la incertidumbre del mercado

El comercializador debe decidir:

- Cuánta energía adquirir en contratos de futuros
- Cuánta energía comprar en el mercado spot
- Cómo cubrir la demanda de sus clientes

7.2 Interfaz del módulo

Pantalla de configuración de datos



Elementos principales

- Panel de elementos

Incluye los siguientes bloques de datos:

- Escenarios de precios
- Datos de contratos de futuros
- Escenarios de demanda de clientes
- Probabilidad de precios
- Disponibilidad de contratos
- Curva de precio de venta
- Unidades de producción (si aplica)
- Horizonte de planificación

▪ Tabla de datos

Permite visualizar:

- Demanda por escenario
- Evolución temporal (t_1 , t_2 , etc.)

▪ Gestión de datos

- **Buscar:** carga de ficheros
- **Guardar:** almacenamiento
- **Eliminar:** limpieza

7.3 Introducción de datos

Procedimiento

1. Seleccionar el tipo de dato (por ejemplo, escenarios de demanda)
2. Elegir el elemento específico (cliente o escenario)
3. Cargar el fichero correspondiente
4. Repetir para todos los elementos necesarios

7.4 Ejecución del modelo



Proceso de cálculo

Durante la ejecución se muestra:

- Valor objetivo (coste o beneficio)
- Resultados para distintos valores de β
- Estado de convergencia del modelo (EXITFLAG)

El modelo evalúa distintas estrategias de compra bajo incertidumbre.

7.5 Resultados del modelo



Información generada

El módulo proporciona:

- Beneficio o coste esperado (**Profit**)
- Desviación estándar (**Profit std**)
- Medida de riesgo (**CVaR**)
- Resultados para distintos valores de β

7.6 Análisis de resultados

Frontera eficiente

- Relación entre coste y riesgo
- Impacto del parámetro β

Energía suministrada

- Energía adquirida en cada periodo

- Distribución de compras entre mercado spot y contratos

Estrategia óptima

El modelo permite identificar:

- Nivel óptimo de cobertura mediante contratos
- Exposición al mercado spot
- Sensibilidad al riesgo

8. Módulo Consumer

8.1 Descripción general

El módulo **Consumer** modeliza el problema de un **gran consumidor de energía eléctrica**, que participa activamente en el mercado y puede firmar contratos bilaterales.

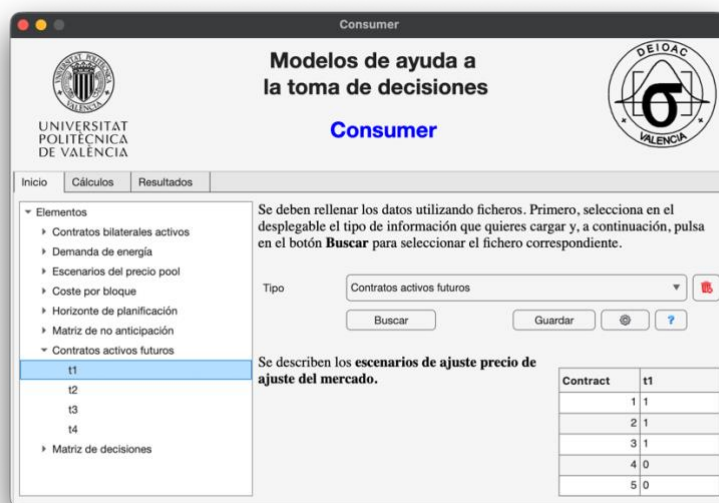
El objetivo del módulo es:

- Determinar la estrategia óptima de compra de energía
- Minimizar el coste esperado de aprovisionamiento
- Gestionar el riesgo ante la incertidumbre del mercado

A diferencia del módulo Retailer:

- El consumidor no revende energía
- Su objetivo es cubrir su propia demanda al menor coste posible

8.2 Interfaz del módulo



Elementos principales

▪ Panel de elementos

Incluye los siguientes bloques:

- Contratos bilaterales activos
- Demanda de energía
- Escenarios del precio pool
- Coste por bloque
- Horizonte de planificación

- Matriz de no anticipación
- Contratos activos futuros
- Matriz de decisiones

▪ **Contratos bilaterales**

Elemento clave del modelo:

- Representan acuerdos de suministro a precio fijo
- Se pueden activar o desactivar por periodo
- Permiten reducir la exposición al mercado spot

▪ **Matriz de no anticipación**

Define restricciones de información:

- Garantiza coherencia entre decisiones en distintos escenarios
- Evita decisiones “anticipativas” no realistas

▪ **Matriz de decisiones**

Permite modelar:

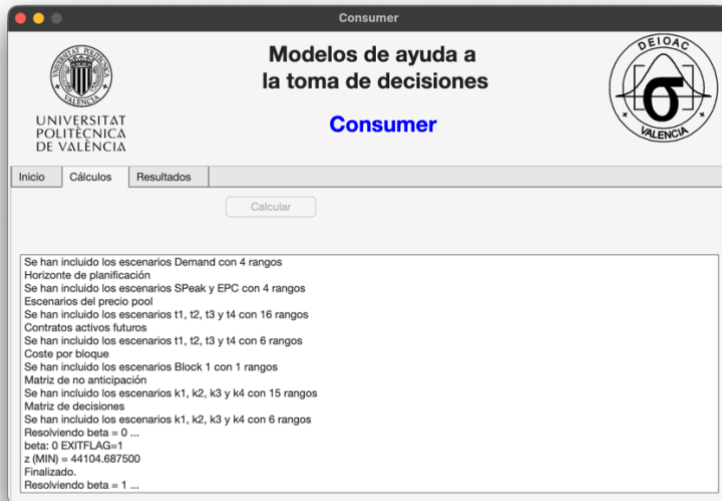
- Estrategias de compra
- Elección entre contratos y mercado

8.3 Introducción de datos

Procedimiento

1. Seleccionar el tipo de dato en el panel
2. Elegir el elemento (por ejemplo, t1, t2, etc.)
3. Cargar el fichero correspondiente
4. Repetir para todos los bloques necesarios

8.4 Ejecución del modelo



Proceso de cálculo

Durante la ejecución se muestra:

- Inclusión de escenarios:
 - Demanda
 - Precios
 - Contratos
 - Horizonte
- Construcción del modelo de optimización
- Resolución para distintos valores de β
- Valor objetivo mínimo (z MIN)
- Estado de convergencia (EXITFLAG)

8.5 Resultados del modelo



Información generada

El módulo proporciona:

- Coste esperado (**Expected value**)
- Variabilidad del coste (**Std**)
- Medida de riesgo (**CVaR**)
- Resultados para distintos valores de β

8.6 Análisis de resultados

Frontera eficiente

- Relación entre coste esperado y riesgo
- Evaluación de estrategias de compra

Consumo por contrato

- Energía adquirida mediante contratos
- Distribución del consumo

Estrategia óptima

El modelo permite analizar:

- Nivel óptimo de contratación
- Dependencia del mercado spot
- Impacto del riesgo en las decisiones

9. Módulo Market Clearing

9.1 Descripción general

El módulo **Market Clearing** modeliza el proceso de casación del mercado eléctrico (*market clearing*), es decir, la determinación simultánea de:

- Producción de cada generador
- Consumo de cada consumidor
- Precio de la energía en cada periodo

El objetivo del modelo es:

- **Maximizar el bienestar social neto**, definido como la diferencia entre utilidad de los consumidores y costes de generación

Este módulo representa el funcionamiento del mercado eléctrico desde la perspectiva del **operador del mercado**.

9.2 Interfaz del módulo



Elementos principales

▪ Panel de elementos

Incluye una estructura rica en componentes del sistema eléctrico:

- Corte involuntario de carga
- Probabilidad de escenarios
- Ofertas de coste en generación
- Mapa de consumidores

- Contingencias
- Reserva de generación
- Disponibilidad de generación
- Unidades de producción
- Reserva de demanda
- Ofertas de venta de reserva
- Estado de la red
- Elasticidad de la demanda

▪ **Mapa de consumidores**

Permite definir:

- Localización de la demanda en la red
- Distribución por nodos

▪ **Red eléctrica**

Se modeliza mediante:

- Líneas
- Nodos
- Estado de la red

Esto permite incorporar restricciones físicas del sistema.

9.3 Introducción de datos

Procedimiento

1. Seleccionar el tipo de dato (por ejemplo, mapa de consumidores)
2. Elegir el elemento correspondiente
3. Cargar el fichero
4. Repetir para todos los bloques necesarios

9.4 Ejecución del modelo

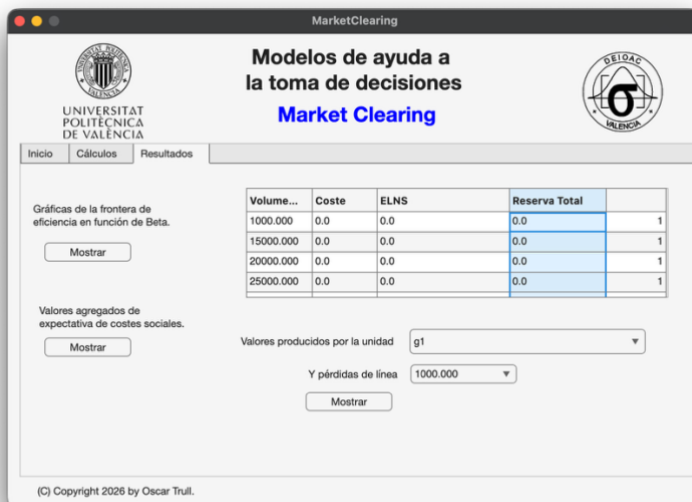


Proceso de cálculo

Durante la ejecución se muestra:

- Carga de datos del sistema:
 - Generadores
 - Red
 - Escenarios
 - Contingencias
- Inclusión de escenarios probabilísticos
- Construcción del problema de optimización
- Resolución del modelo

9.5 Resultados del modelo



Información generada

El módulo proporciona:

- Volumen de energía
- Coste total del sistema
- Energía no servida (ELNS)
- Reserva total

9.6 Análisis de resultados

Costes sociales

El modelo permite evaluar:

- Coste total del sistema
- Impacto de restricciones
- Penalización por energía no servida

Seguridad del sistema

- Nivel de reservas
- Robustez ante contingencias

Producción por unidad

- Generación por cada unidad
- Impacto de pérdidas de red

10. Modelos matemáticos

Fundamentación de los modelos matemáticos

Los modelos matemáticos implementados en el presente software están basados en la obra:

CONEJO, Antonio J.; CARRIÓN, Miguel; MORALES, Juan M. *Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets*. New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-7421-1.

Esta referencia constituye un marco teórico ampliamente reconocido en el ámbito de los mercados eléctricos y la optimización bajo incertidumbre, proporcionando formulaciones rigurosas para los problemas de decisión de los distintos agentes del sistema eléctrico.

Descripción de los modelos formulados

Los modelos incluidos en la aplicación se estructuran como problemas de **optimización matemática**, en los que cada agente del mercado (productor, consumidor, comercializador y operador del sistema) resuelve un problema específico sujeto a sus restricciones operativas y económicas.

1. Modelo del productor

El productor resuelve un problema de maximización de beneficio:

- **Función objetivo:**
 - Maximizar ingresos por venta de energía menos costes de generación (incluyendo costes variables y de arranque)
- **Restricciones:**
 - Límites de capacidad de generación
 - Restricciones técnicas de operación (mínimos, rampas, etc.)
 - Participación en mercados de energía y reserva

Este modelo se formula como un problema de optimización (habitualmente lineal o mixto-entero), donde las decisiones incluyen la producción ofertada y la participación en reservas.

2. Modelo del consumidor

El consumidor se modela como un agente que maximiza su utilidad:

- **Función objetivo:**
 - Maximizar la utilidad derivada del consumo menos el coste de adquisición de energía
- **Restricciones:**
 - Límites de demanda

- Elasticidad del consumo
- Posibilidad de reducción de demanda (load shedding)

Este modelo permite representar la sensibilidad del consumidor al precio, introduciendo funciones de utilidad o curvas de demanda.

3. Modelo del comercializador (retailer)

El comercializador actúa como intermediario entre mercado y clientes finales:

- **Función objetivo:**
 - Minimizar el coste total de suministro energético
- **Componentes del coste:**
 - Compra en el mercado spot
 - Contratos bilaterales
 - Penalizaciones por desviaciones
- **Restricciones:**
 - Balance entre energía adquirida y demanda de clientes
 - Gestión del riesgo mediante contratos

4. Modelo de Market Clearing (operador del sistema)

El modelo central del software corresponde al proceso de **market clearing**, formulado como un problema de optimización global:

- **Función objetivo:**
 - Minimizar el **coste social esperado**, que incluye:
 - Costes de generación
 - Costes de operación del sistema
 - Costes de reserva
 - Penalización por energía no servida (ELNS)

Equivalentemente, esto representa la **maximización del bienestar social**.

