

OptimA

Optimizador de Agendas de compras de embarques de GNL para Uruguay

*Ruben Chaer, Sebastián Beledo, Lorena Dichiara,
Fernando Fontana, Pablo Soubes y Enzo Coppes*

Proyecto ANII_FSE_1_2013_1_10957
del Fondo Sectorial de Energía de la ANII



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



3 de Diciembre 2015

Objetivo General

- El objetivo del proyecto de investigación es obtener un conjunto de herramientas y/o algoritmos de optimización adaptados al sistema uruguayo que permitan realizar la optimización de la operación de la regasificadora y de las agendas de embarques en tiempos de cómputo razonables y sea posible incorporar información de pronósticos disponibles al momento de decidir La Agenda del siguiente año contractual.

Objetivos Específicos

- Validación del modelo existente al momento de inicio del proyecto, de la operación de la planta regasificadora en SimSEE.
- Validación y mejora del modelo de compras SPOT de cargos de GNL.
- Diseño e implementación de un algoritmo adaptado al sistema Uruguayo para la optimización de agendas TOP.

PRIMER MODELO DE REGASIFICADORA EN SimSEE

Desarrollo de un modelo para representar el condicionamiento de la restricción Take Or Pay sobre el consumo de Gas Natural de un Ciclo Combinado.

MODELO DE CONTRATOS TOP

- **El objetivo**

- Modelar, un primera aproximación “*muy sencilla*” contratos con cláusulas de *Take or Pay* (ToP)
- Escapa de este objetivo el estudio concreto del comportamiento del sistema uruguayo a este tipo de contrato, así como el análisis comparativo entre distintos combustibles

Ejemplo: Generador con Costo de Arranque y Parada con ToP

P_i	A_i	B_i	$V_k^{ExtraToP}$	$V_k^{ConsumidaToP}$	1	
$\frac{1}{P_{max}-P_{min}} \left(\frac{P_{max}}{\eta(P_{max})} - \frac{P_{min}}{\eta(P_{min})} \right) \frac{\delta}{pci}$	$\frac{\delta}{\eta(P_{min})pci} \cdot P_{min}$		-1	-1	0	=0
	1	1		-1	X_V	≥ 0
					-1	=0
$-c_{vnc} \cdot \delta$	$-c_{vnc} \cdot P_{min} \cdot \delta - c_{larranque}$	$-c_{lparada}$	$-P^*$	$\frac{\partial CF}{\partial X} \cdot V_k$	$(P_{Top}, V_{Top}, 0)$	

Siempre incrementara primero la

Posibles futuros trabajos

- Validar el modelo probándolo en salas más complejas. (Centrales Hidráulicas).
- Verificar el comportamiento en la condición de borde.
- Introducción de *Make Up* y *Carry Forward*.
- Modelado de las máquinas térmicas de forma tal que puedan ser multicomcombustibles

MEJORAS AL PRIMER MODEL.

Aquí las mejoras realizadas por el grupo de trabajo de UTE en el modelado.

Por lo que tengo visto consiste en un modelo más detallado de la regasificadora y de aspectos como el modelado de las ventans de desembarque posible.

?????

?????

?????

¿Qué hicieron con el SPOT?.

A mejorar con UTE.

?????

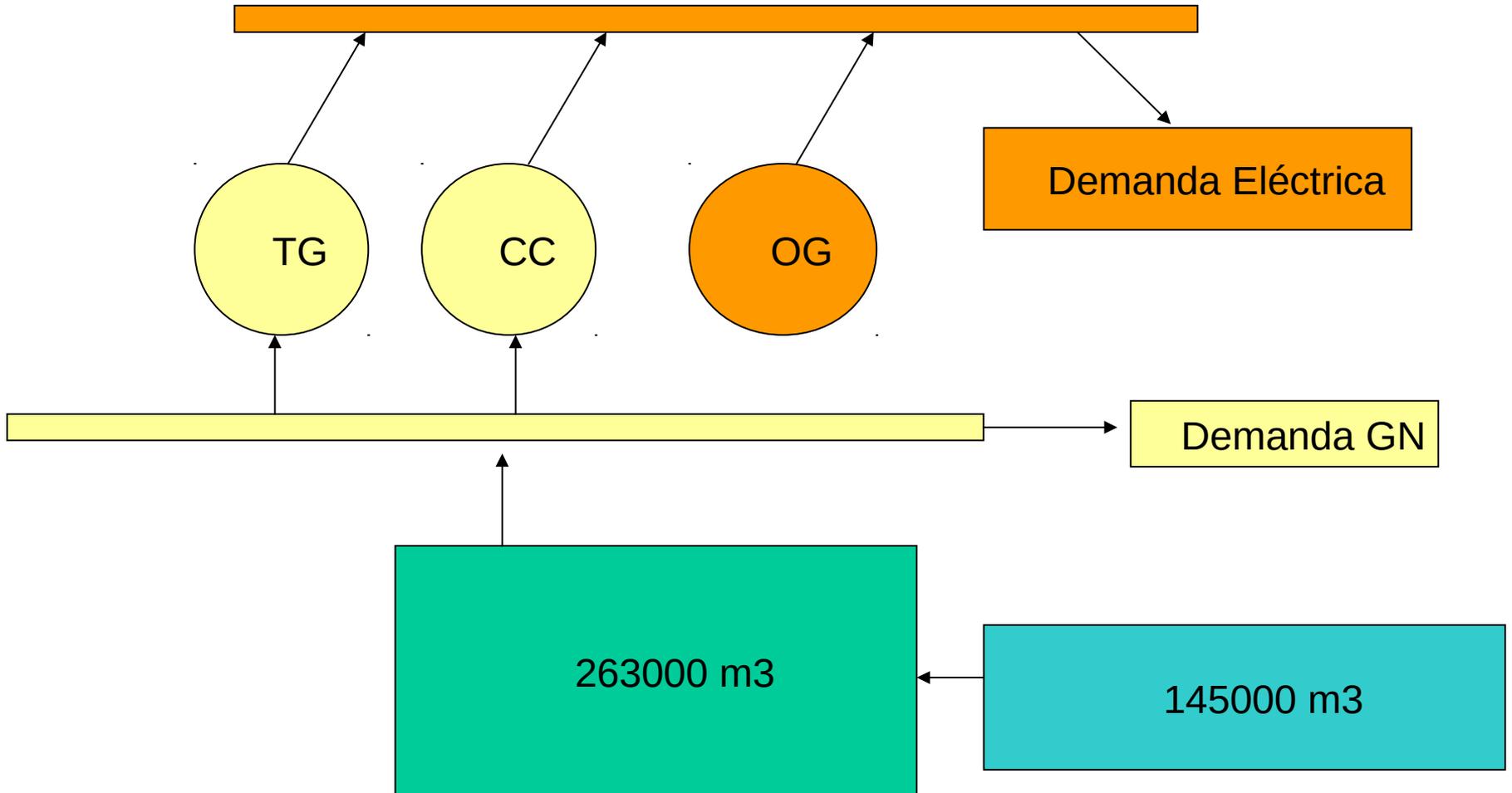
Modelo anterior

- ?? FALTA ALGUN COMENTARIO SOBRE EL MODELADO EN SI. Por ej.: dimensionalidad del espacio de estado y solución a la precisión de discretización del espacio de estado ????? A REVISAR CON UTE????.
- Implementación-Fortaleza: Posibilidad de modelar en forma muy detallado la planta regasificadora.
- Implementación-Debilidad: Complejidad para representar los generadores que pueden operar con 2 combustibles.
- A partir de la identificación de posibles mejoras en el modelo, se decide incorporar a SimSEE un modelo integral de la red de combustibles y su logística que incluye una planta regasificadora.

Red de Combustibles

- Se crea en SimSEE una red de combustible que para cada tipo de combustible , se crea con una estructura similar a la de la red eléctrica.
- Esta red de combustible se compone de nodos de combustible donde los diferentes actores se conectan y suministran o consumen combustible de dichos nodo de combustible, y además se puede modelar las conexiones entre los diferentes nodos de combustible con arcos de combustible.
-

Del GNL al MWh

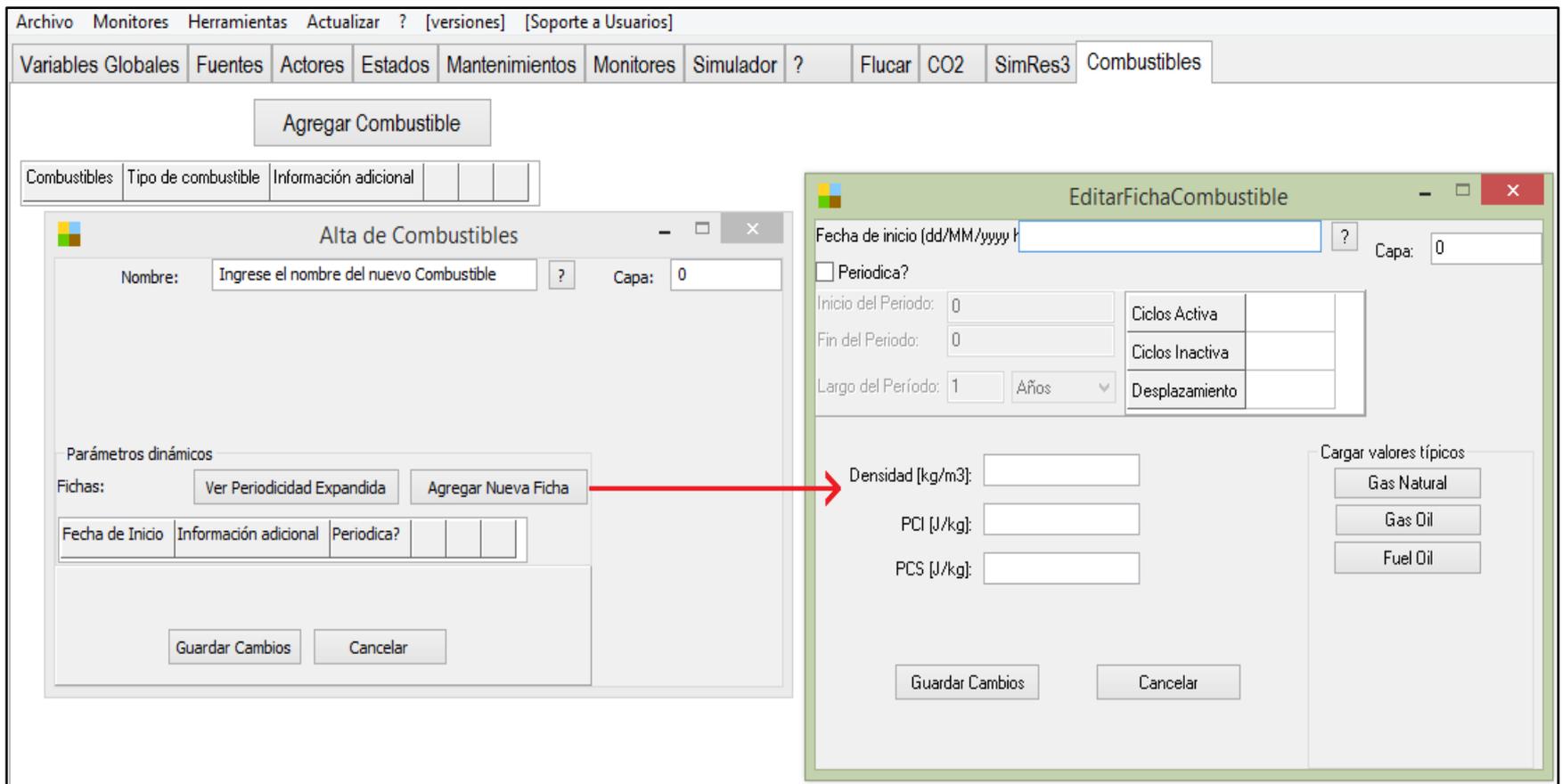


Elementos de la red de combustible

- Los principales elementos de la red de combustible son:
 - Combustible
 - Nodo de Combustible
 - Arco de Combustible
 - Demanda de Combustible
 - Generador simple monocombustible
 - Generador simple bicombustible
 - Suministro Simple de Combustible
 - Regasificadora
 - Agenda

Combustible

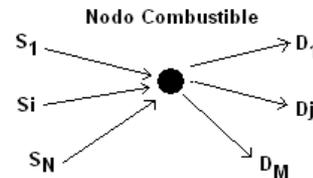
Cada tipo de combustibles cuya red se quiera modelar, debe darse de Alta.



The screenshot displays the SimSEE software interface. At the top, a menu bar includes 'Archivo', 'Monitores', 'Herramientas', 'Actualizar', '?', '[versiones]', and '[Soporte a Usuarios]'. Below the menu bar is a navigation bar with tabs for 'Variables Globales', 'Fuentes', 'Actores', 'Estados', 'Mantenimientos', 'Monitores', 'Simulador', '?', 'Flucar', 'CO2', 'SimRes3', and 'Combustibles'. The 'Combustibles' tab is active, showing a sub-menu with 'Agregar Combustible', 'Combustibles', 'Tipo de combustible', and 'Información adicional'. The main window is titled 'Alta de Combustibles' and contains a form for adding a new fuel. The 'Nombre' field is labeled 'Ingrese el nombre del nuevo Combustible' and the 'Capa' field is set to '0'. Below the form are buttons for 'Ver Periodicidad Expandida' and 'Agregar Nueva Ficha'. A red arrow points from the 'Agregar Nueva Ficha' button to the 'EditarFichaCombustible' window. The 'EditarFichaCombustible' window is titled 'EditarFichaCombustible' and contains a form for editing fuel properties. It includes fields for 'Fecha de inicio (dd/MM/yyyy)', 'Capa' (set to '0'), 'Periodica?' (checkbox), 'Inicio del Periodo' (set to '0'), 'Fin del Periodo' (set to '0'), 'Largo del Periodo' (set to '1' and 'Años'), 'Ciclos Activa', 'Ciclos Inactiva', and 'Desplazamiento'. Below these fields are input boxes for 'Densidad [kg/m3]', 'PCI [J/kg]', and 'PCS [J/kg]'. On the right side, there is a section titled 'Cargar valores típicos' with buttons for 'Gas Natural', 'Gas Oil', and 'Fuel Oil'. At the bottom of the window are 'Guardar Cambios' and 'Cancelar' buttons.

Nodo Combustible

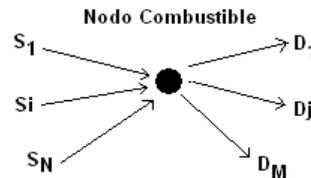
- Es un punto de conexión de la red de combustible donde los diferentes actores pueden suministrar o consumir combustible del mismo.
- En cada Nodo de Combustible se debe cumplir instantáneamente que el balance de entrada y salida de combustible sea cero.



- Balance en el Nodo Combustible: $\sum_{i=1}^N S_i - \sum_{j=1}^M D_j = 0$
- S_i : Suministro i de combustible al Nodo Combustible
- D_j : Consumo j de combustible del Nodo Combustible

Nodo Combustible

- Es un punto de conexión de la red de combustible donde los diferentes actores pueden suministrar o consumir combustible del mismo.
- En cada Nodo de Combustible se debe cumplir instantáneamente que el balance de entrada y salida de combustible sea cero.

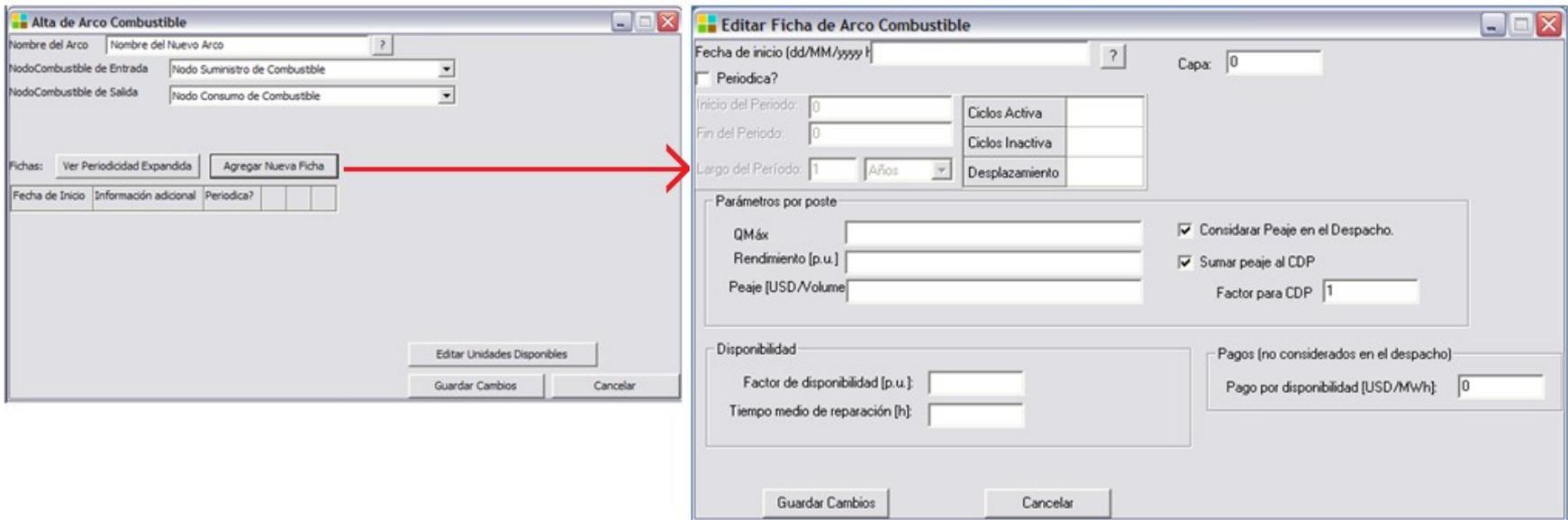


- Balance en el Nodo Combustible: $\sum_{i=1}^N S_i - \sum_{j=1}^M D_j = 0$
- S_i : Suministro i de combustible al Nodo Combustible
- D_j : Consumo j de combustible del Nodo Combustible

Arco Combustible

- La red de transporte de combustibles se modela a partir de nodos de combustible y arcos de combustible que unen 2 nodos de combustible. En el arcos se definen las posibles restricciones de capacidad y disponibilidad.
- Para indicar el sentido del flujo de combustible, es obligatorio cargar la información del nodo de entrada y el de salida. En el caso en que se quiera modelar un flujo bidireccional, es necesario crear dos arcos combustible independientes permutando los nodo de entrada y salida.
- Los arcos combustible solo pueden conectar dos nodos combustible del mismo tipo.

Ficha de Alta y Parámetros dinámicos Arco Combustible



The image displays two windows from the SimSEE software interface. The left window, titled "Alta de Arco Combustible", contains a form for creating a new fuel arc. It includes fields for "Nombre del Arco" (with a dropdown for "Nombre del Nuevo Arco"), "NodoCombustible de Entrada" (dropdown: "Nodo Suministro de Combustible"), and "NodoCombustible de Salida" (dropdown: "Nodo Consumo de Combustible"). Below these are buttons for "Ver Periodicidad Expendida" and "Agregar Nueva Ficha". A table with columns "Fecha de Inicio", "Información adicional", and "Periodica?" is also present. At the bottom are buttons for "Editar Unidades Disponibles", "Guardar Cambios", and "Cancelar".

A red arrow points from the "Agregar Nueva Ficha" button in the left window to the right window, titled "Editar Ficha de Arco Combustible". This window is used for editing the parameters of an existing fuel arc. It features a "Fecha de inicio (dd/MM/yyyy)" field, a "Capa" field (value: 0), and a "Periodica?" checkbox. Below these are fields for "Inicio del Periodo" (0), "Fin del Periodo" (0), and "Largo del Periodo" (1 Años). There are also fields for "Ciclos Activa", "Ciclos Inactiva", and "Desplazamiento".

The "Parámetros por poste" section includes fields for "QMáx", "Rendimiento [p.u.]", and "Peaje [USD/Volume]", along with checkboxes for "Considerar Peaje en el Despacho" and "Sumar peaje al CDP", and a "Factor para CDP" field (value: 1).

The "Disponibilidad" section includes fields for "Factor de disponibilidad [p.u.]" and "Tiempo medio de reparación [h]".

The "Pagos (no considerados en el despacho)" section includes a "Pago por disponibilidad [USD/MWh]" field (value: 0). At the bottom are buttons for "Guardar Cambios" and "Cancelar".

Demanda Combustible

- La función del actor Demanda de Combustible es la de modelar la demanda No Eléctrica del sistema (consumo de combustible no usado para generación de energía eléctrica).
- Para poder crear este actor se requiere contar con un archivo binario del año base que tenga la información de la demanda de combustible no eléctrica detallada en forma horaria, y en función de la misma especificar el consumo de combustible total anual para todos los años que se consideren en el estudio.

Ficha de la Demanda Combustible

Archivo Monitores Herramientas Actualizar ? [versiones] [Soporte a Usuarios]

Variables Globales Fuentes Actores Estados Mantenimientos Monitores Simulador ? Flucar CO2 SimRes3 Combustibles

Red Demandas Eolicas Solar Térmicas Hidráulicas Internacional y Otros Usos Gestionables SumComb. Sin Editor ?

Importar Un Actor Exportar Actores Agregar Actor

Alta de Demanda Combustible, año base y consumos anuales

Nombre de la Demanda ?

Asignado al Nodo Combustible

Componente Aleatoria[p.u. de la Demanda]: Sumar ruido

Borne:

Escalones de Falla

Numero de Escalones

Escalón				
Profundidad[p.u.]	0.05	0.075	0.075	0.8
Costo[USD/MWh]	250	400	1200	2000

Índice Multiplicador de Costos de Falla:

Borne:

Archivo de Datos:

Mm3 por año:

Primer Año Último Año:

Año	Demanda de Combustible del año[Mm3]
2009	1
2010	1
2011	1

Generador simple monocombustible

- Es un generador térmico que se conecta a una red de combustible a través de un único Nodo de Combustible y además entrega energía a la red eléctrica.

Alta de Generador simple MonoCombustible

Nombre del Generador: ?

Asignado al Nodo:

NodoCombA:

Calcular Gradiente de Inversión.

Emissiones CO2

Ton-CO2/MWh: Low Cost Must Run

Clean Development Mechanism

Fichas:

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?		

Editar Ficha

Fecha de inicio (dd/MM/yyyy): ?

Capa:

Periodica?

Inicio del Periodo:

Fin del Periodo:

Largo del Periodo: Años

Ciclos Activa	<input type="text"/>
Ciclos Inactiva	<input type="text"/>
Desplazamiento	<input type="text"/>

PMáx [MW]:

FD [p.u.]:

Q Máx_A [m3/s]:

TMR [h]:

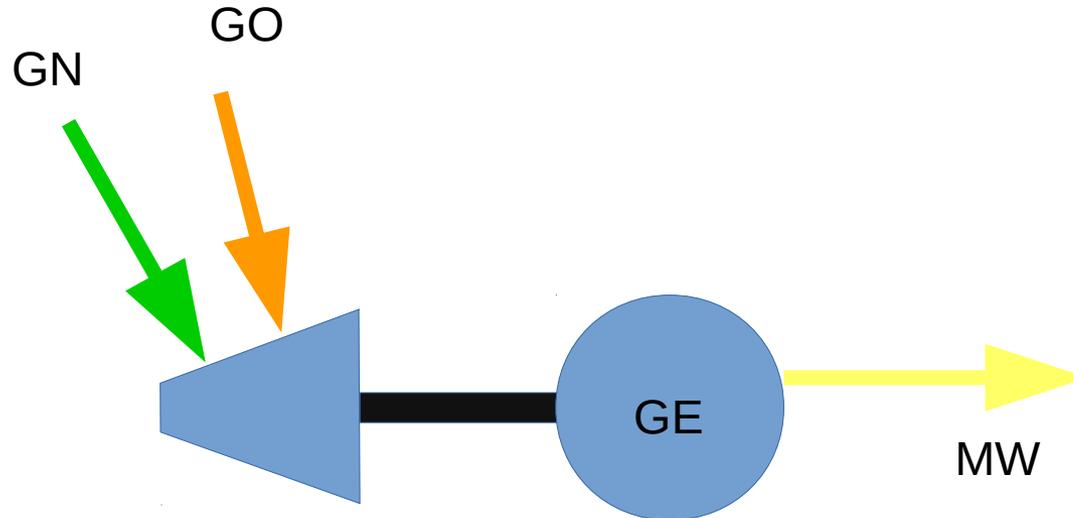
ren_A [p.u.]:

EMaxPaso[MWh]:

Pago por potencia [USD/MWh]:

Pago por energía [USD/MWh]: (Adicional al CV e igual indexación)

Generator BI-Combustible



$$P_i = \eta_a p c i_a q_{ai} + \eta_b p c i_b q_{bi}$$

$$q_{ai} \leq \hat{q}_a \alpha_i$$

$$q_{bi} \leq \hat{q}_b (1 - \alpha_i)$$

Generador simple bicomcombustible

- Es un generador térmico que se conecta a dos nodos de combustible, y permite que el generador opere con ambos combustibles.
- Las variables de control son los caudales y de consumo del combustible “A” o “B” en el poste “i” y la variable α_i indica la porción del tiempo del paso del poste “i” que la central utiliza el combustible “

$$P_i = (\eta_a p c_i q_{ai}) \alpha_i + (\eta_b p c_i q_{bi}) (1 - \alpha_i)$$

ec.1 Potencia del generador en el poste i.

ec.1 Potencia del generador en el poste i.

Generador simple bicomcombustible

- Es un generador térmico que se conecta a dos nodos de combustible, y permite que el generador opere con ambos combustibles.
- Las variables de control son los caudales y de consumo del combustible “A” o “B” en el poste “i” y la variable α_i indica la porción del tiempo del paso del poste “i” que la central utiliza el combustible “

$$P_i = (\eta_a p c_i q_{ai}) \alpha_i + (\eta_b p c_i q_{bi}) (1 - \alpha_i)$$

ec.1 Potencia del generador en el poste i.

ec.1 Potencia del generador en el poste i.

Fichas del Generador Bicombustible

Editando "NGNO_TG60" Generador simple bicombustible

Nombre del Generador: ?

Asignado al Nodo:

NodoCombA:

NodoCombB:

Calcular Gradiente de Inversión.

Emisiones CO2

Ton-CO2/MWh: Low Cost Must Run Clean Development Mechanism

Fichas:

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?		
Auto	PMax= 60 MW, fdisp= ...	NO		

Editar ficha de "NGNO_TG60" Generador simple bicombus...

Fecha de inicio (dd/MM/yyyy): ?

Capa:

Periodica?

Inicio del Periodo: <input type="text" value="0"/>	Ciclos Activa	<input type="text"/>
Fin del Periodo: <input type="text" value="0"/>	Ciclos Inactiva	<input type="text"/>
Largo del Periodo: <input type="text" value="1"/> Años	Desplazamiento	<input type="text"/>

PMáx [MW]:

FD [p.u.]:

QMáx_A [m3/s]:

QMáx_B [m3/s]:

TMR [h]:

ren_A [p.u.]:

ren_B [p.u.]:

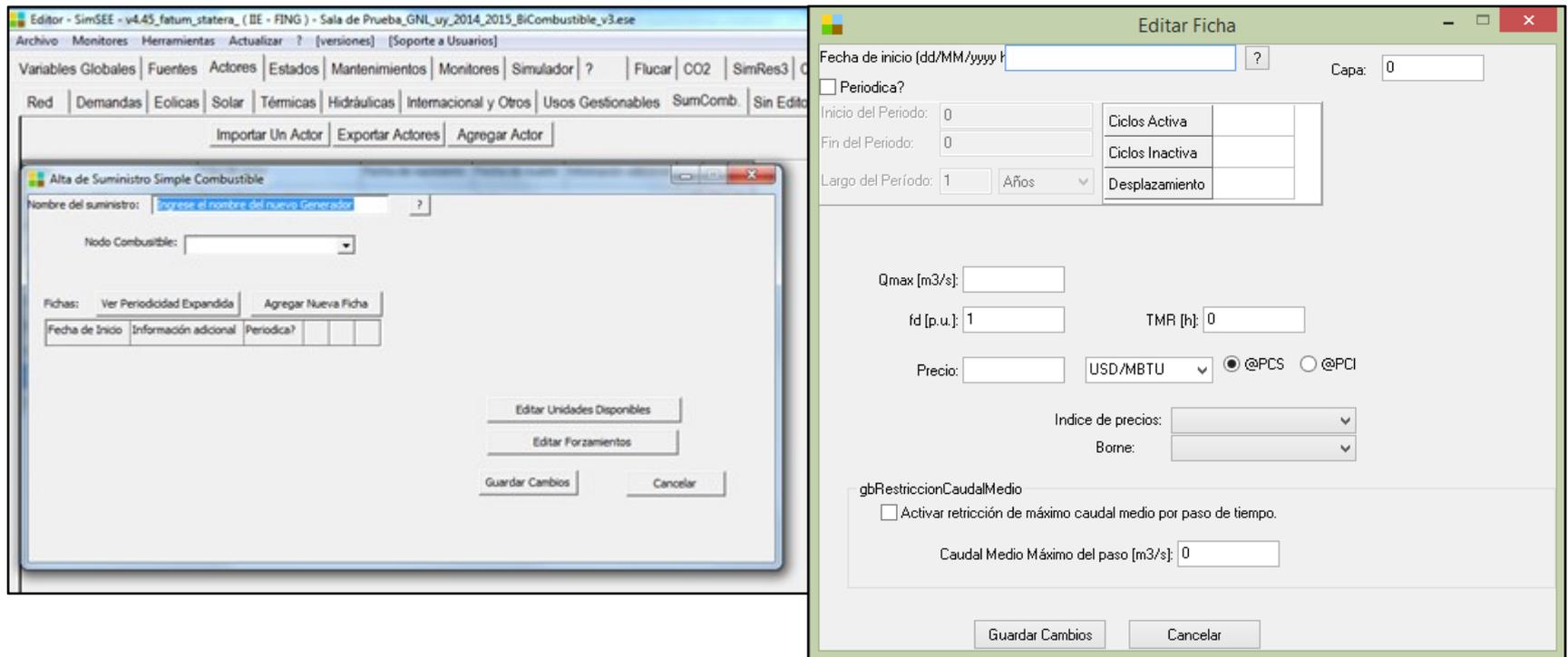
EMaxPaso[MWh]:

Pago por potencia [USD/MWh]:

Pago por energia [USD/MWh]: (Adicional al CV e igual indexación)

Suministro Simple de Combustible

- La función del Suministro Simple de Combustible es suministrar el combustible del especificado para abastecer demandas no eléctricas y/o generadores.



The image displays two overlapping windows from the SimSEE software interface. The background window is the main application, and the foreground windows are 'Alta de Suministro Simple Combustible' and 'Editar Ficha'.

Alta de Suministro Simple Combustible (Left Window):

- Title: Alta de Suministro Simple Combustible
- Form fields:
 - Nombre del suministro:
 - Nodo Combustible:
- Buttons: Ver Periodicidad Expandida, Agregar Nueva Ficha, Editar Unidades Disponibles, Editar Forzamientos, Guardar Cambios, Cancelar.
- Table:

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?

Editar Ficha (Right Window):

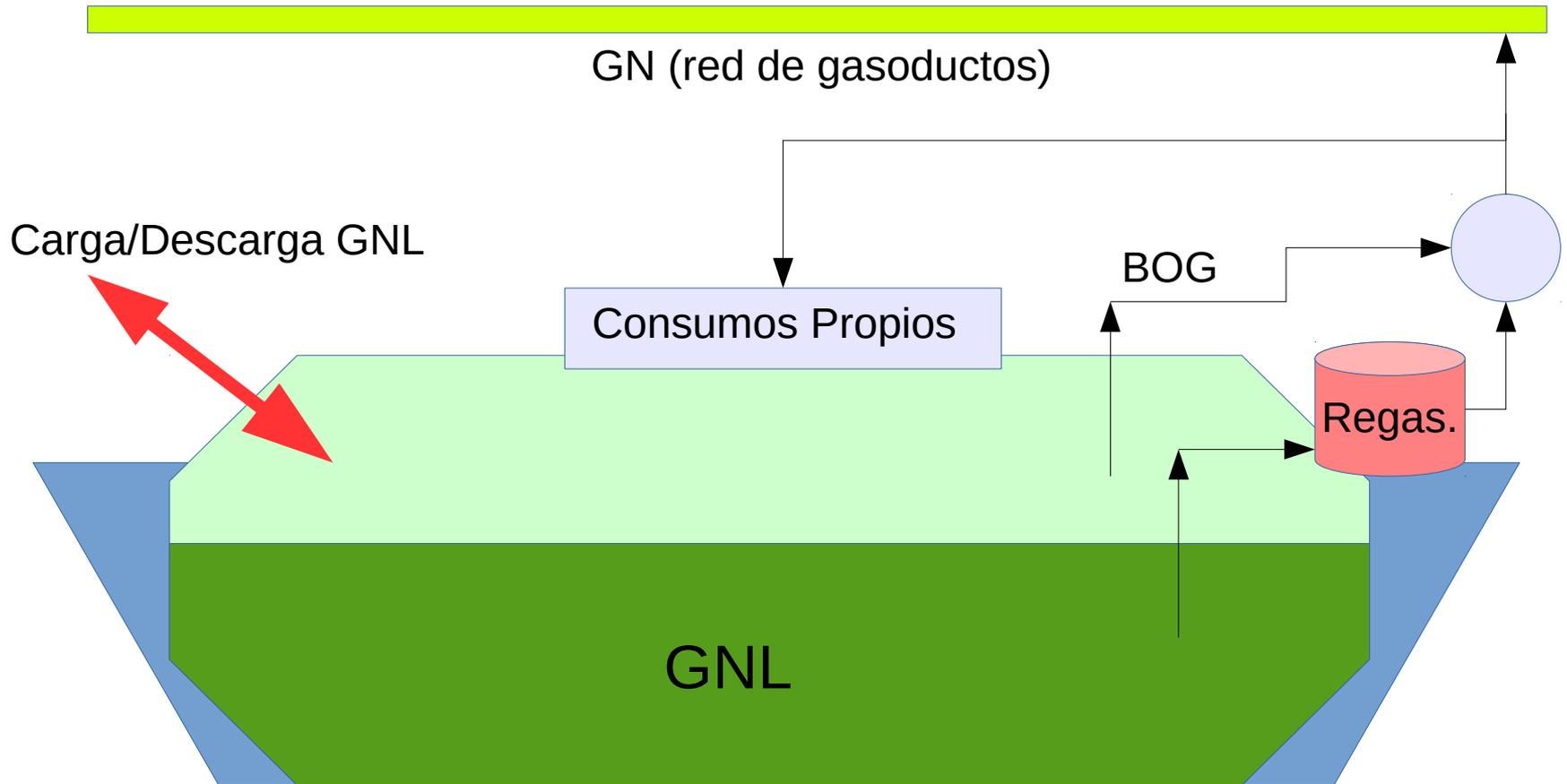
- Title: Editar Ficha
- Form fields:
 - Fecha de inicio (dd/MM/yyyy):
 - Capa:
 - Inicio del Periodo:
 - Fin del Periodo:
 - Largo del Periodo: Años
 - Qmax [m3/s]:
 - fd [p.u.]:
 - TMR [h]:
 - Precio: USD/MBTU
 - Indice de precios:
 - Borne:
 - Caudal Medio Máximo del paso [m3/s]:
- Buttons: Guardar Cambios, Cancelar.

Regasificadora

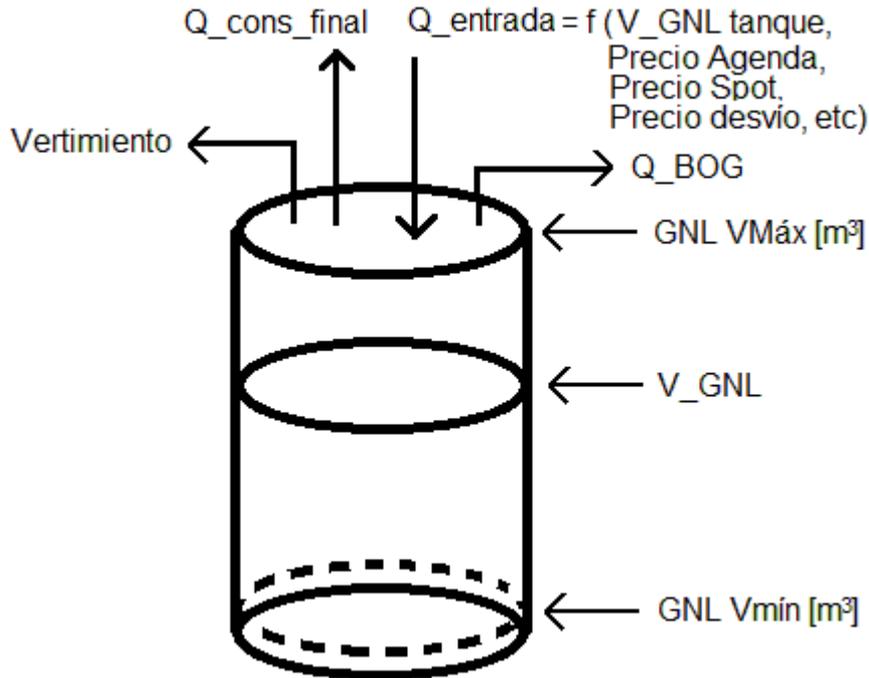
- La regasificadora es un suministrador de combustible con un tanque asociado donde se almacena el GNL, que cuenta con la posibilidad de introducir los datos de una Agenda de embarques de GNL con sus cargos asociados y un vector de toma de decisiones.

Regasificadora

Ecuaciones del almacén.



Modelo planta regasificadora



V_{GNL} es una Variable de Estado continua que debe cumplir que:

$$GNL VMáx \geq V_{GNL} \geq GNL VMín$$

$Q_{entrada}$ son los aportes recibidos.

Q_{cons_final} es lo consumido por poste en la Regasificadora.

Vertimiento es el caudal que se vierte en cada paso de simulación por falta de capacidad en el tanque.

Q_{BOG} es el caudal evaporado en cada paso de simulación.

Ecuación de Estado:

$$V_{GNL}_{k+1} = V_{GNL}_k + Q_{entrada}_k - Q_{cons_final}_k - Vertimiento_k - Q_{BOG}_k$$

Regasificadora

Boil Off y Consumos Propios

$$Q_{BOG}^{GNL} = \frac{ca_{BOG} + cb_{BOG} * X_{GNL}}{610}$$

$$Q_{CP}^{GNL} = \frac{ca_{CP} + cb_{CP} * Q_{GN_{SendOut}}}{610}$$

Ficha de Alta Regasificadora

Alta de Regasificadora
[-] [x]

Nombre del suministro: ?

Nodo Combusitble:

Fichas:				
Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?		

V_GNL inicial [m3]:

Nro discretizaciones:

Precio Vertimiento [USD/MBTU]:

Fecha de Inicio de Agenda:

Agenda:

N pasos preaviso Decisiones Spot y Desvío:

Estado inicial de decisiones:

V_GNL cargo [m3]:

Precio Spot [USD/MBTU]:

Precio Desvío [USD/MBTU]:

Precio Agenda [USD/MBTU]:

Parámetros
Regasificadora

Parámetros
Agenda

Ficha de parámetros dinámicos Regasificadora

Editar Ficha

Fecha de inicio: ?

Periodica? Capa:

Inicio del Periodo: <input type="text" value="0"/>	Ciclos Activa: <input type="text"/>
Fin del Periodo: <input type="text" value="0"/>	Ciclos Inactiva: <input type="text"/>
Largo del Periodo: <input type="text" value="1"/> Años	Desplazamiento: <input type="text"/>

Qmax [m3/s]:

fd [p.u.]: TMR [h]:

BOG_ca [m3/s]: BOG_cb [1/s]:

GNL Vmín[m3]: GNL VMáx [m3]:

Rend. Regas [p.u.]: Consumos propios [m3/s]:

Índice de precios:

Borne:

El Caudal de Boil Off se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{GNL_{BOG}} = \frac{BOG_{ca} + BOG_{cb} * X_{GNL}}{600}$$

Agenda

- En la Agenda es donde se especifican las fechas en que arriban los embarques de GNL a la Regasificadora que está asociada.
- Los pasos de tiempo pueden ser: semanal, 2 semanas y 4 semanas.
- Está implementada como un vector booleano donde se indica con 0 si en ese paso de tiempo No hay Cargo de Agenda y con 1 si hay un Cargo de Agenda.
- Se cuenta con la posibilidad de agregar un vector de cantidad de pasos de preaviso para tomar decisiones para realizar compras Spot y Desvíos y el Estado inicial de las decisiones.

Agenda

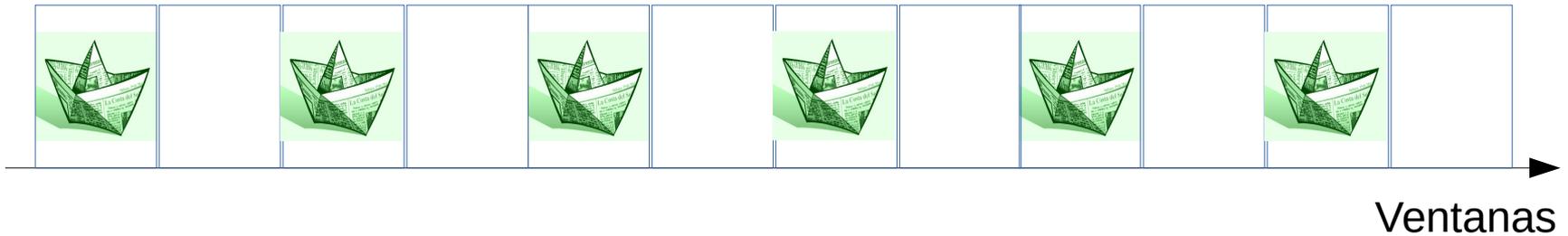
Agenda
Cargos @ 13 USD/MBTU

Noviembre-Diciembre
Programación de la Agenda Anual

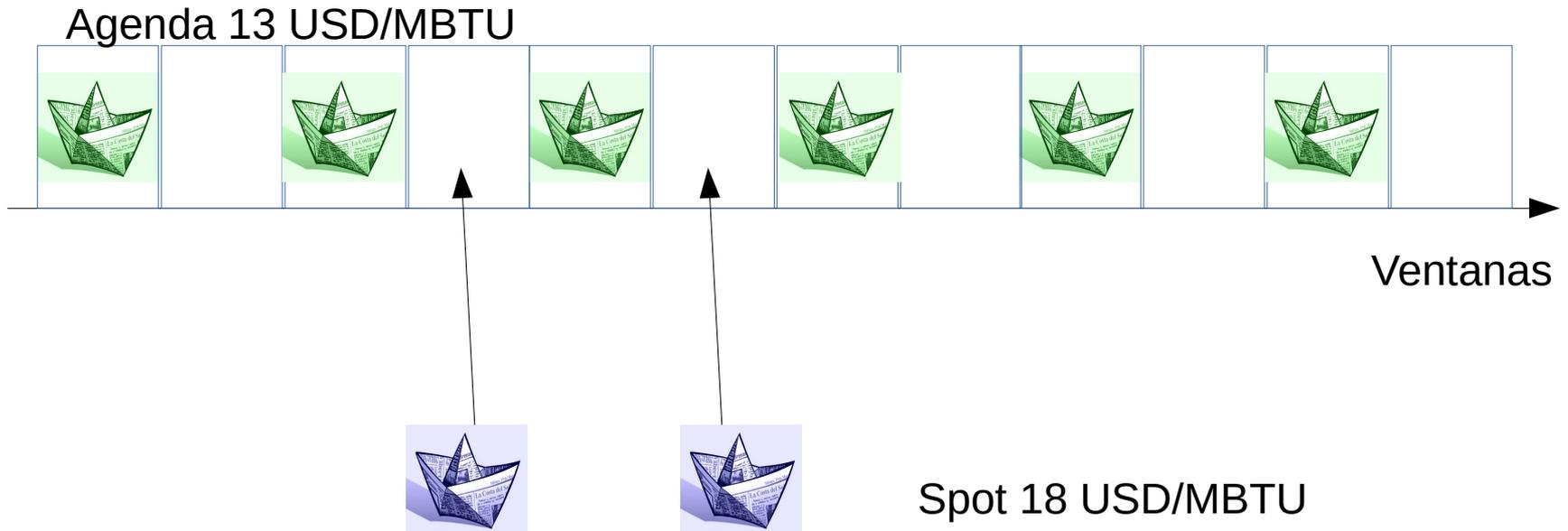


Abril

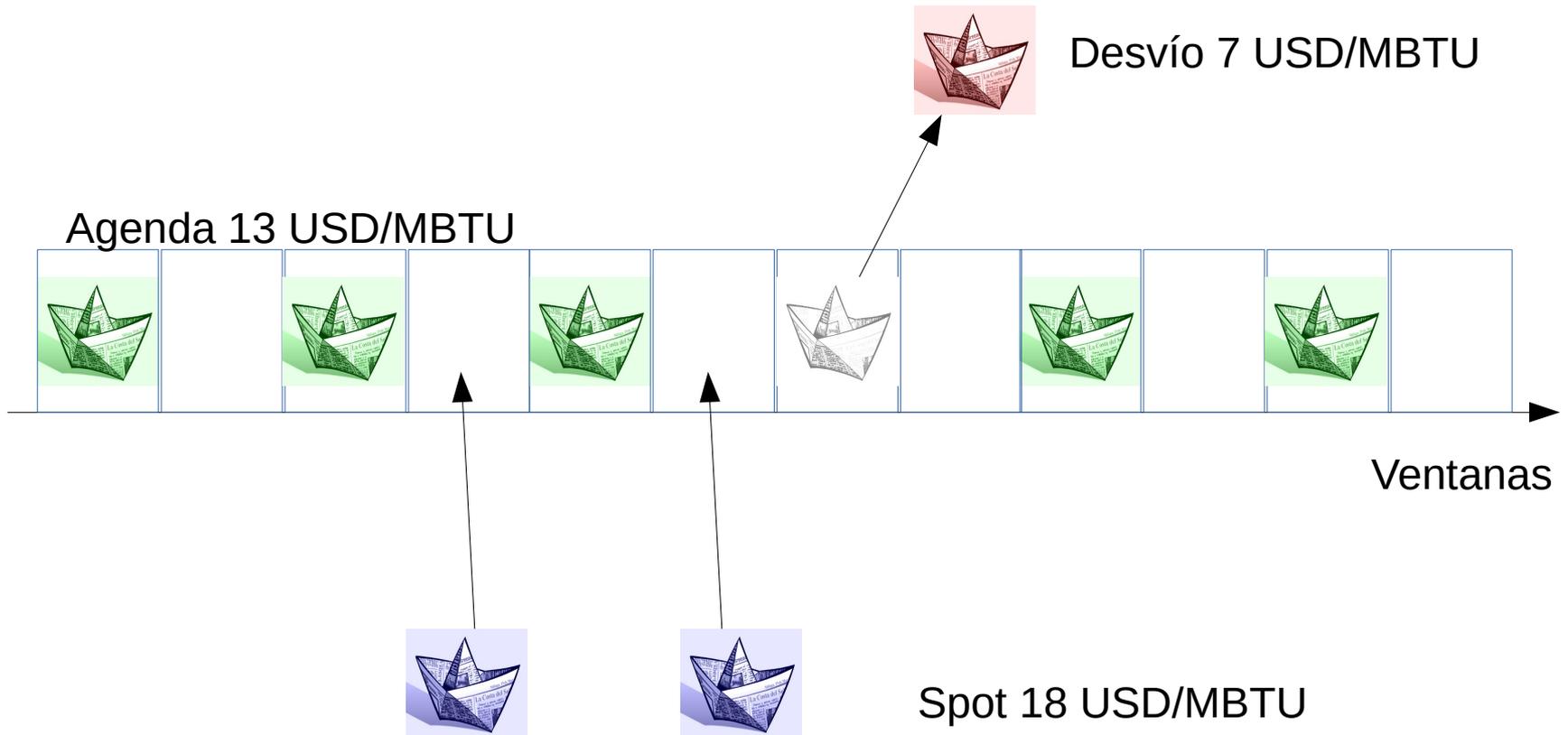
Marzo



Agenda y compras Spot



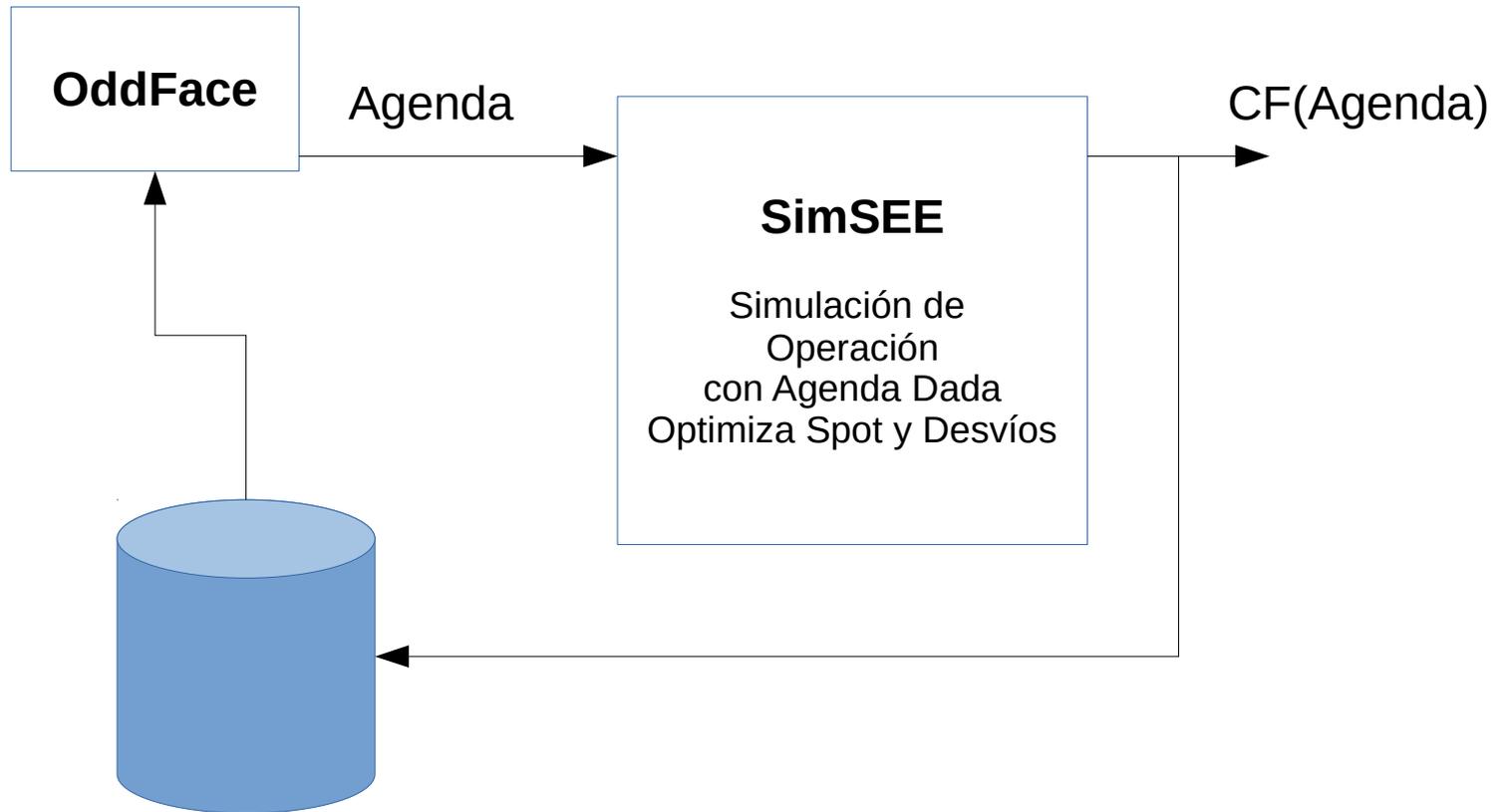
Agenda, Spot y Desvíos



Variables de decisión



OptimA



OddFace para la Agenda

00000110010001010101010101010101010010101010101001010 C1

+

000001100100010001010001010101011010101010101001010 C2

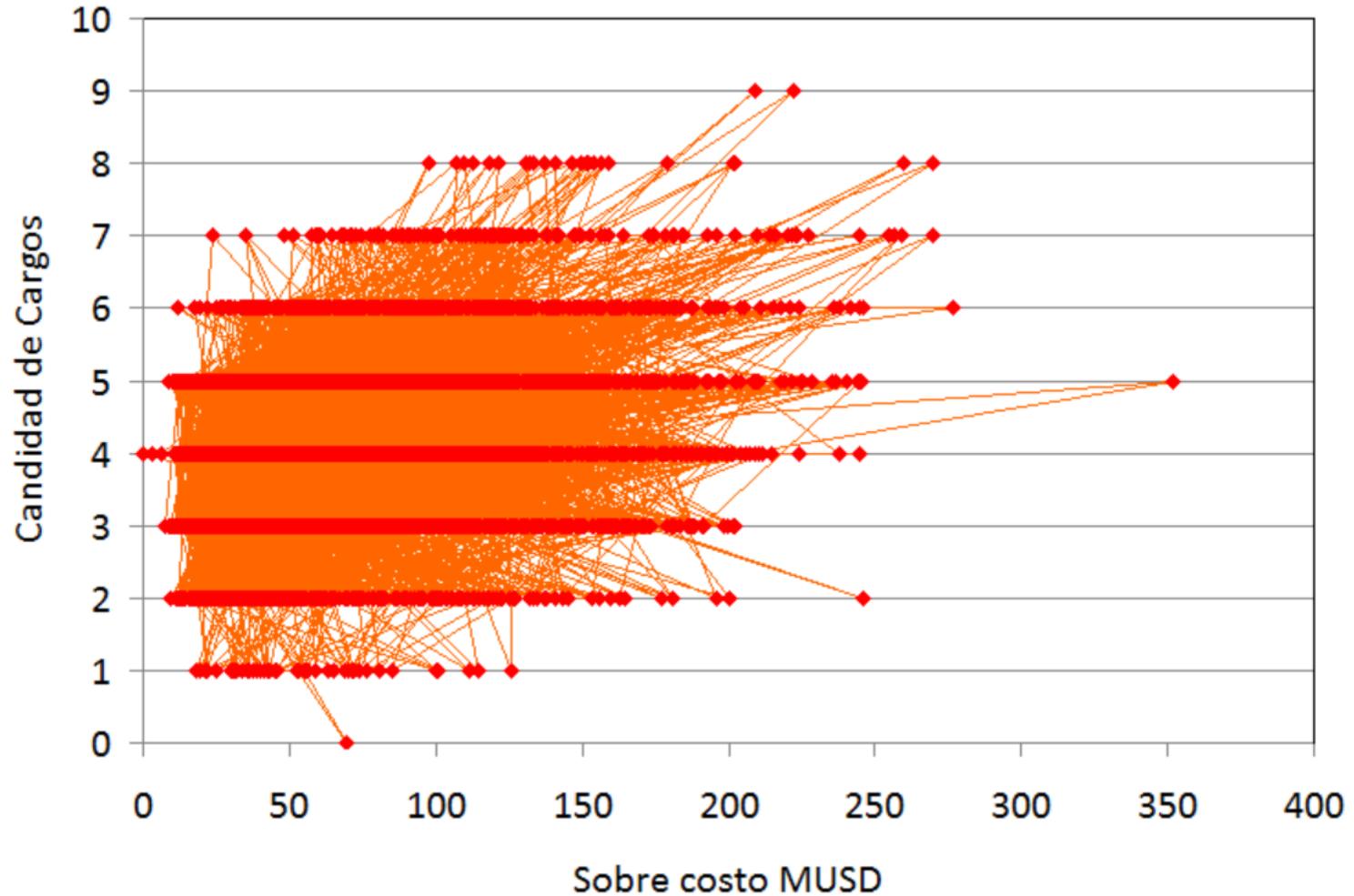
=

000001100100010001010001010101011010101010101001010 C3

Ejemplo de resultados. Comparación 8 cargos equidistribuidos vs. óptimo



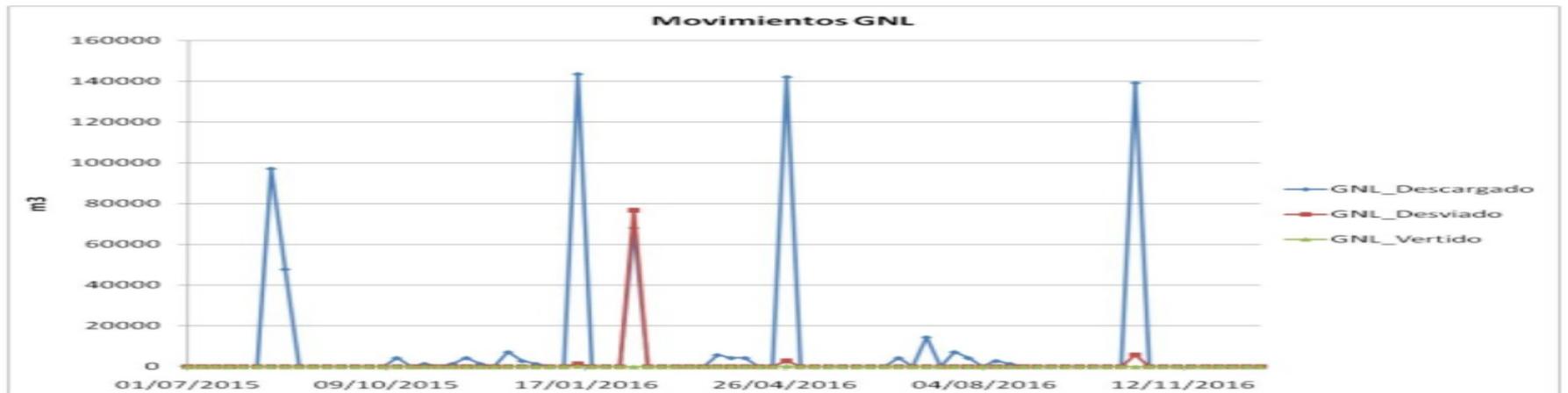
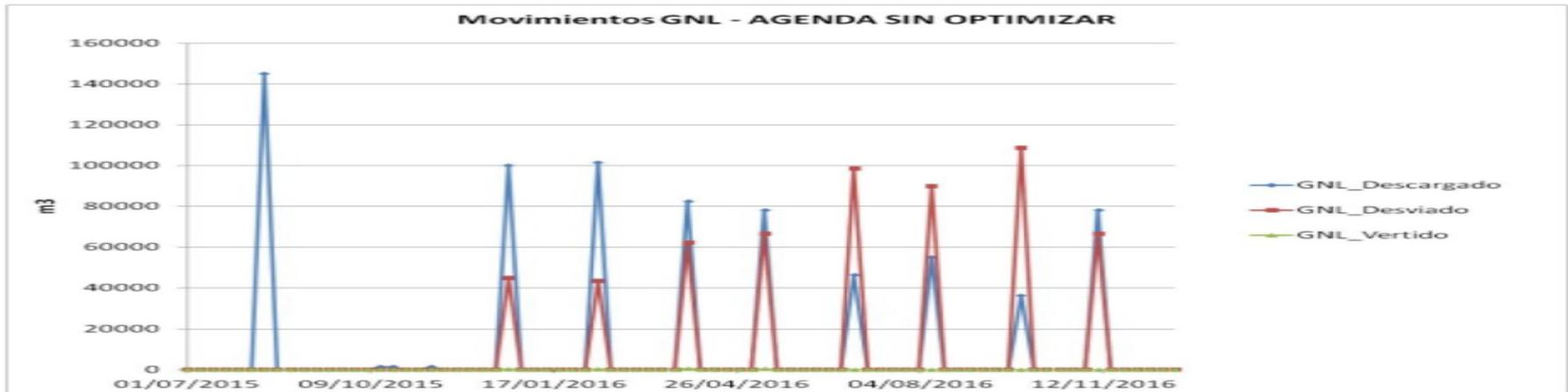
Resultados de la Optimización de la agenda. consumos solo Uruguay 2016



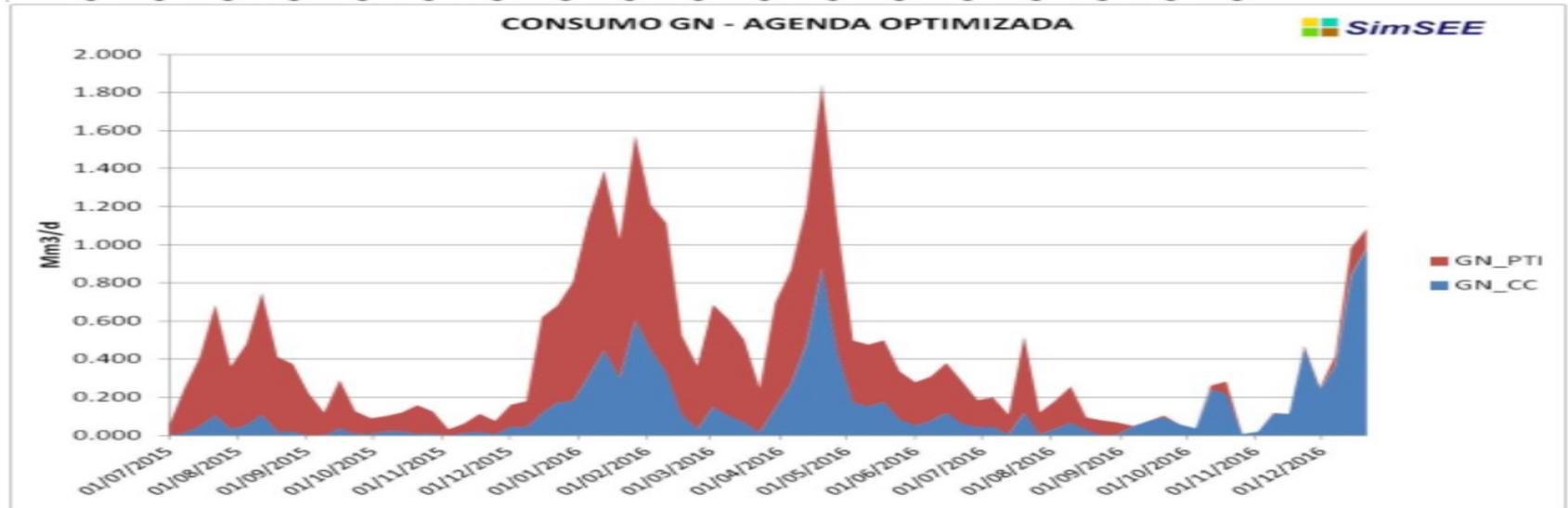
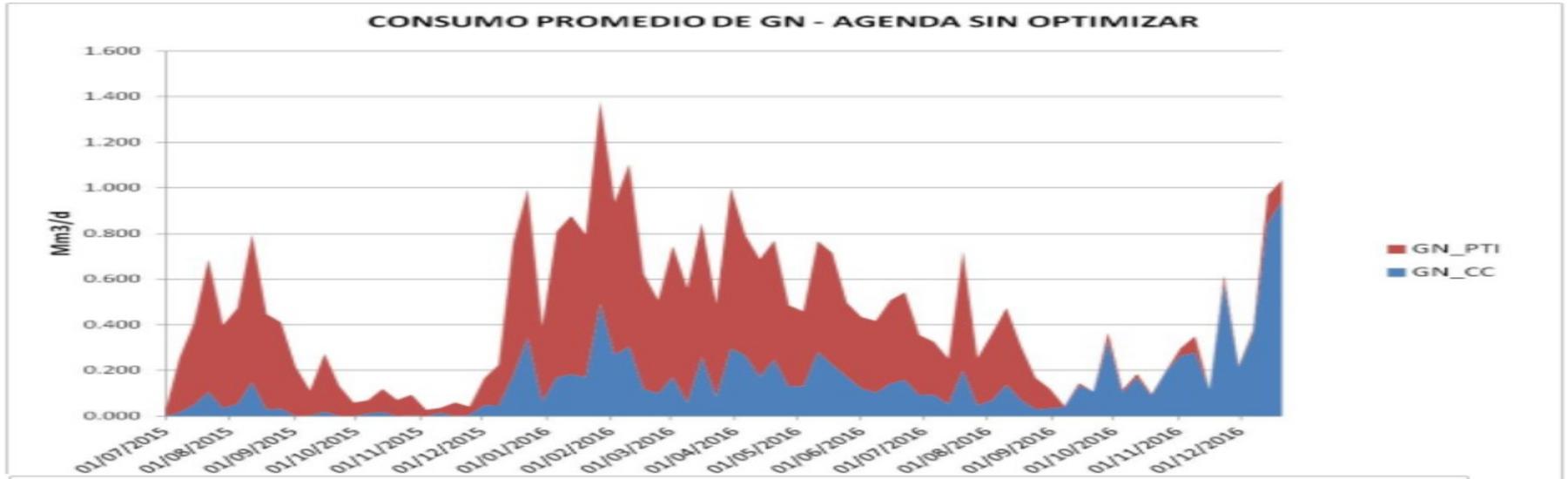
Cargos recibidos



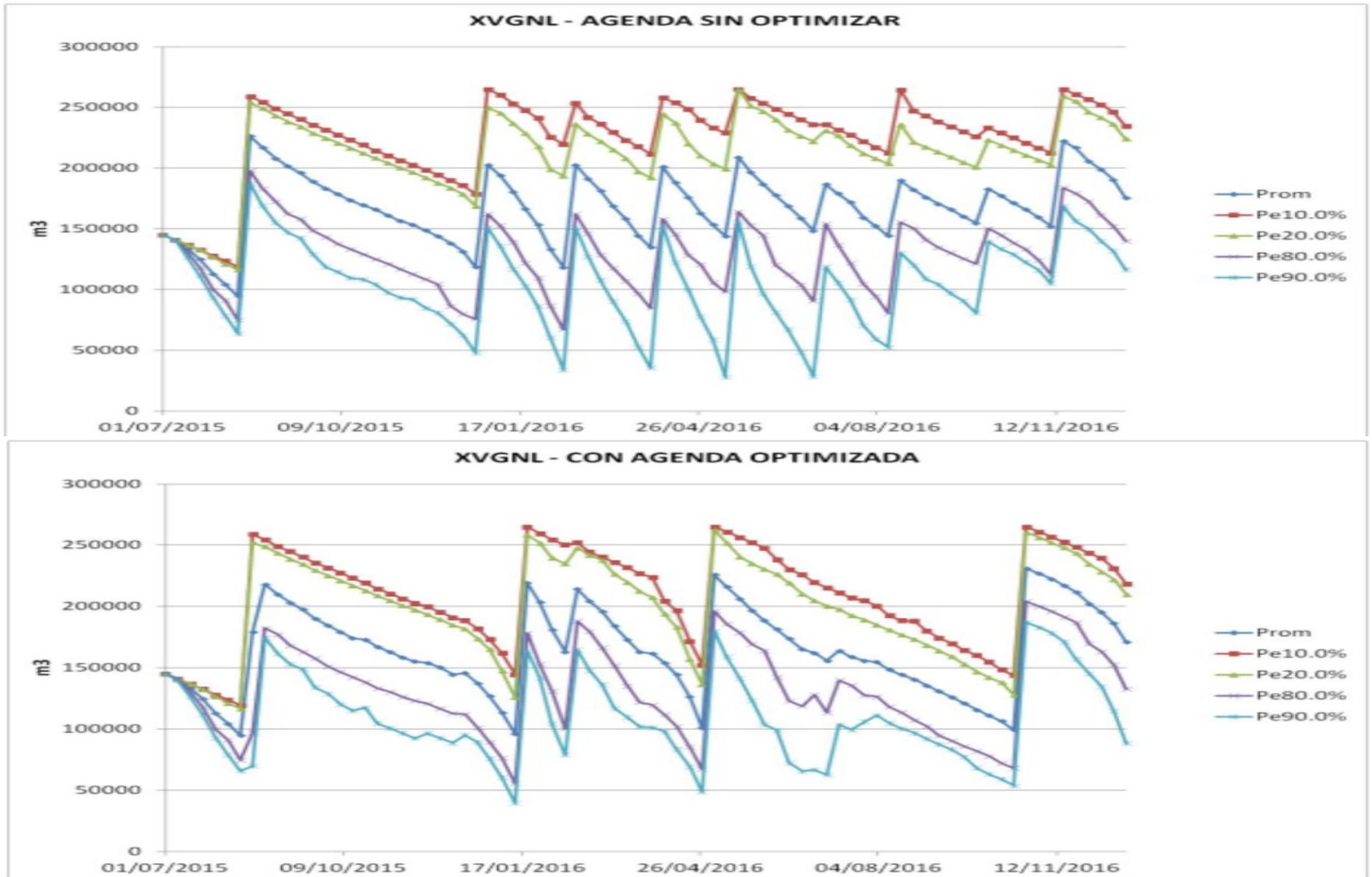
Descarga, desvío, vertido



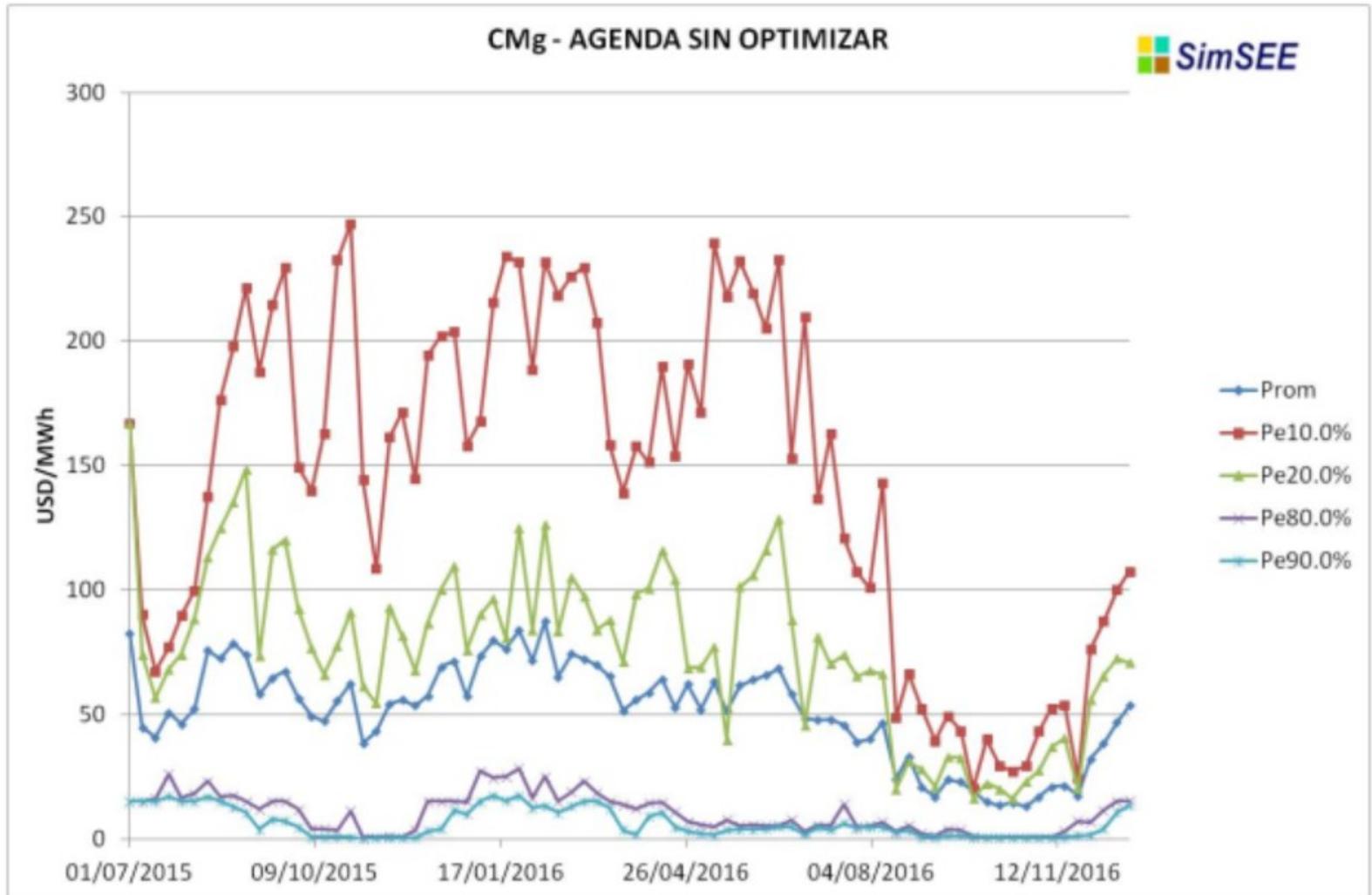
Consumos



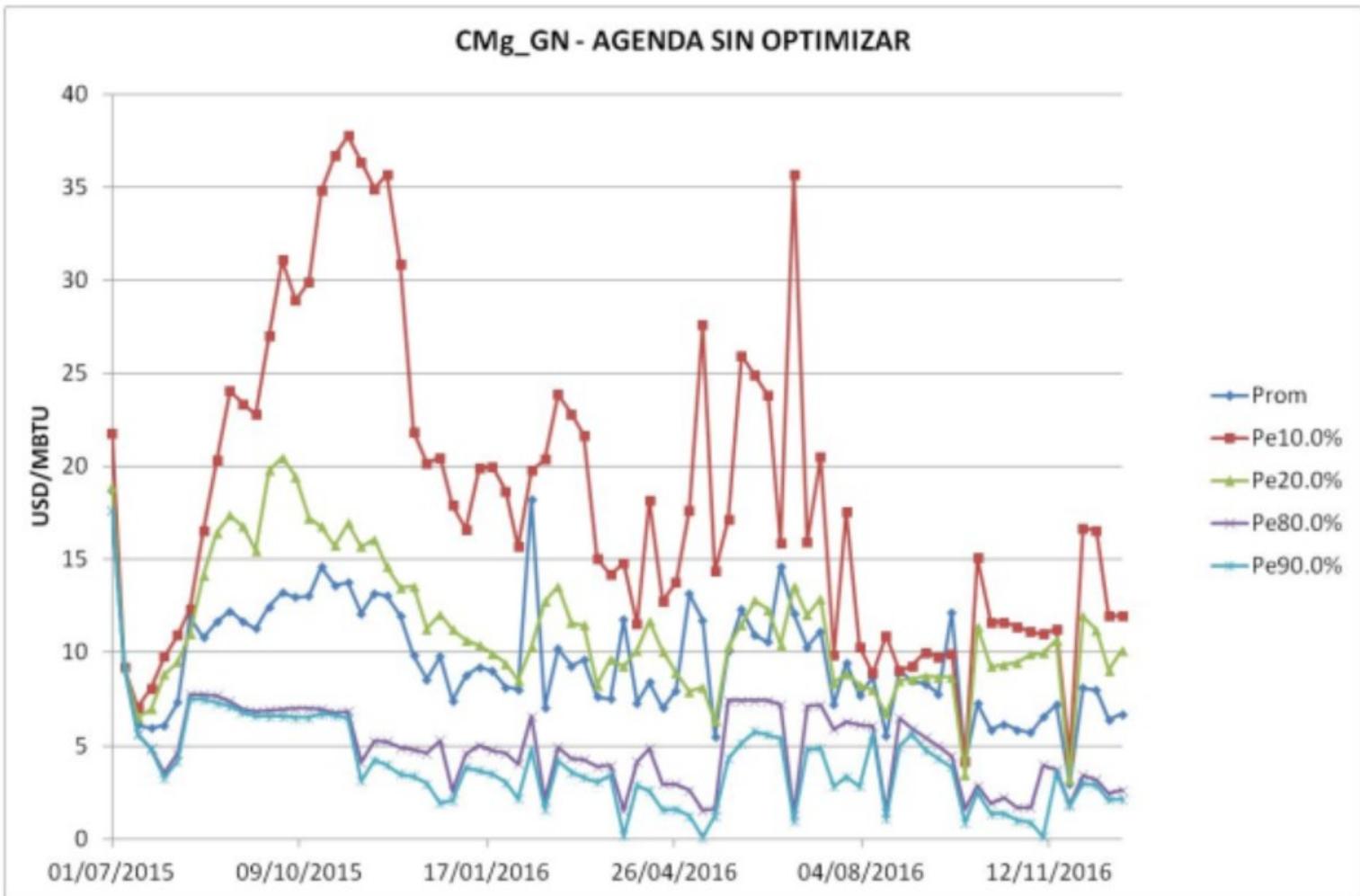
Evolución del volumen



Costo Marginal Eléctrico



Costo Marginal GNL



Consideración de pronósticos del CLIMA

- Etapa por terminar.
- Considerar sesgo del Niño?
- Con o sin nueva variable de estado?.
- ?????? - abierto - ??????