



■ filial de isa

Manual de Usuario del Modelo Computacional para las Subastas de Reconfiguración de Venta

Septiembre 2016

Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales
Dirección Intercambios del Mercado
XM S.A. E.S.P.
Septiembre, 2016



■ filial de isa

Contenido

Objetivo	2
Antecedentes	2
Programación Entera Mixta	2
Modelo Computacional para las Subastas de Reconfiguración de Venta	3
Entorno y Arquitectura del Modelo	3
Base de Datos – Datos de Entrada del Modelo	5
Tabla <i>Oferta</i>	5
Tabla <i>Parámetros</i>	5
Base de Datos – Datos de Salida del Modelo	6
Tabla <i>Resultado</i>	6
Tabla <i>ResultadoObjetivo</i>	6
Formulación del Modelo	6
Configuración de los Parámetros del Modelo	8
Ejecución del Modelo	8

Objetivo

De acuerdo con lo establecido en el inciso iv del Artículo 7 de la Resolución CREG 051 de 2012 y demás normas vigentes, el ASIC pone a disposición de los usuarios o participantes de las Subastas de Reconfiguración de Venta, el Modelo Computacional, la Formulación Matemática y el Manual de usuario, que les permita identificar los aspectos de hardware y de software necesarios para realizar simulaciones de las Subastas de Reconfiguración con este modelo.

Antecedentes

El Modelo Computacional para las Subastas de Reconfiguración de Venta fue desarrollado por XM S.A. E.S.P. como Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales ASIC de acuerdo a lo establecido en el inciso iv del artículo 7 de la Resolución CREG 051 de 2012.

Programación Entera Mixta

El método utilizado para el desarrollo del Modelo Computacional para las Subastas de Reconfiguración de Venta, es conocido en la literatura como programación lineal entera mixta MILP (por sus siglas en inglés). Este método combina las fortalezas de la programación lineal, con algoritmos especializados para solución de problemas combinatorios como el Branch and Bound (BB) y Branch and Cut.

A diferencia de los problemas completamente lineales en donde se encuentra una solución óptima, la calidad de la solución de los problemas modelados con MILP, depende de varios factores:

1. *Optimizador comercial utilizado.*

Cada fabricante desarrolla sus propios algoritmos de BB, lo que implica que dependiendo del producto utilizado se pueden obtener soluciones cercanas en términos del valor de la función objetivo, pero diferentes en términos del recurso utilizado.

2. *Versión del optimizador.*

Como se había mencionado anteriormente, los métodos para solucionar problemas MILP están en continua investigación. Esto implica que cada nueva versión de un optimizador incorpora nuevos desarrollos y metodologías, que apuntan básicamente a mejorar los tiempos de ejecución en problemas de gran tamaño.

3. *Plataforma utilizada.*

La solución de un problema MILP requiere de gran cantidad de cálculos numéricos. Esto implica que factores como el sistema operativo utilizado, memoria disponible y capacidad de procesamiento del PC o servidor, así como la cantidad de procesadores, influyan en la solución encontrada.

4. *Modelado del problema.*

La calidad en el modelo matemático generado a partir del problema real, es una de los factores que influyen en la calidad de la solución. Un buen modelo requiere de la aplicación de buenas prácticas que eviten problemas numéricos, de convexidad e infactibilidades.

5. *Parámetros del optimizador.*

Cada optimizador incluye más de 100 parámetros de MILP, que permiten modificar desde las estrategias para las búsquedas de soluciones factibles, hasta los parámetros de convergencia.

El optimizador comercial CPLEX en su versión 12.3, dispone de algoritmos de BB compatibles con multiprocesamiento. En la configuración por defecto del CPLEX, el número de procesadores es el máximo, lo que significa que utiliza todos los procesadores disponibles en la máquina. En el manual del CPLEX se expresa claramente que sólo se puede garantizar la misma solución MILP cuando se dispone de la misma plataforma computacional, los mismos parámetros y la misma versión, tal como se enuncia a continuación:

"In this context, sequential means that the algorithm proceeds step by step, consecutively, in a predictable and repeatable order within a single thread. Deterministic means that repeated solving of the same model with the same parameter settings on the same computing platform will follow exactly the same solution path, yielding the same level of performance and the same values in the solution. Sequential execution is deterministic. In multi-threaded computing, a deterministic setting requires synchronization between threads. Opportunistic entails less synchronization between threads and thus may offer better performance at the sacrifice of repeatable, invariant solution paths and values in repeated runs on multiple threads or multiple processors."

Modelo Computacional para las Subastas de Reconfiguración de Venta

El modelo computacional desarrollado por XM para las Subastas de Reconfiguración de Venta es un modelo de optimización de Programación Lineal Entera Mixta que tiene como objetivo seleccionar entre las ofertas realizadas por los participantes, aquellas que maximicen la multiplicación de las OEF de Venta asignadas y el Margen de Precio Ofertado, cumpliendo las restricciones del problema.

El modelo fue desarrollado dando cumplimiento con lo establecido en la Resolución CREG 051 de 2012, para tal fin, se utilizó la herramienta IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Versión 12.3.

Entorno y Arquitectura del Modelo

Como se indica en la Figura 1 el modelo de optimización toma y entrega datos desde y hacia una base de datos, la cual es consultada directamente por el usuario.¹

¹ La implementación final que será usada para la ejecución de la Subasta de Reconfiguración de Venta puede usar una interfaz para interacción con la base de datos.

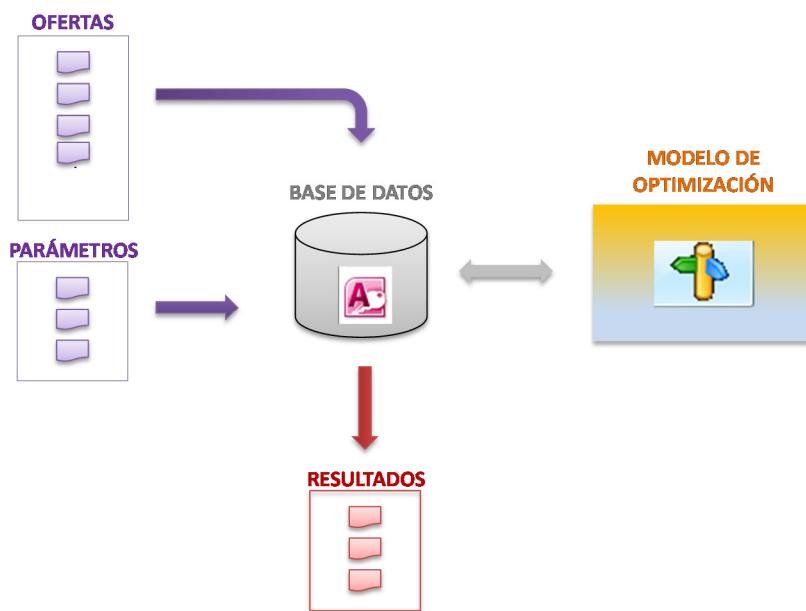


Figura 1 Entorno del Modelo de Optimización

Para el correcto funcionamiento del presente modelo de optimización se tienen los siguientes requerimientos de software

- Base de datos: **Microsoft Access 2010.**
<http://office.microsoft.com/es-es/access/>
- Optimizador: **IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.3 32 bits.**
<http://www-01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimizer/>

Las características computacionales de la máquina con la cual el ASIC realizará la ejecución del modelo son las siguientes:

- Sistema Operativo: Windows 7 Professional 32 bits, Service Pack 1.
- Procesador: Intel Core i5-4590 CPU 3.30 GHZ.
- Memoria RAM: 8 GB

Base de Datos – Datos de Entrada del Modelo

Los datos de entrada del modelo son clasificados en dos tipos, los primeros corresponden a las ofertas realizadas por los participantes (tabla *Ofertas*), y los segundos corresponden a los parámetros definidos para la Subasta (tabla *Parámetros*), toda la información debe reposar en la base de datos y cada tabla debe contener la estructura abajo mencionada.

Tabla Oferta

En esta tabla debe estar depositada la información de las ofertas realizadas por los participantes de la subasta, de este modo se indica para cada oferta el nombre del agente, el nombre de la planta, la cantidad máxima y mínima de energía y el Margen sobre el Precio Máximo del Cargo por Confiabilidad.

Oferta		
Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Agente	Texto	Agente generador que representa la Planta - string
Planta	Texto	Planta con OEF asignadas - string
Qmax	Número	Cantidad Maxima de Energía que está dispuesto a comprometer kWh-dia - entero
Qmin	Número	Cantidad Maxima de Energía que está dispuesto a comprometer kWh-dia - entero
Precio	Número	Margen sobre PrecioMaximoCargoConfiabilidad PMCC USD\$/kWh - float

Figura 2 Diseño Tabla Oferta

- **Agente:** Nombre o Denominación Social del participante que representa la Planta o unidad con OEF asignadas.
- **Planta:** Nombre de la planta o unidad con OEF asignadas a la cual se aplicarán las OEF que se lleven a comprar.
- **Qmax:** Cantidad Máxima de energía que está dispuesto a comprometer el agente en valores enteros de kWh-día.
- **Qmin:** Cantidad Mínima de energía que está dispuesto a comprometer el agente en valores enteros de kWh-día.
- **Precio:** Margen sobre el precio máximo del Cargo por Confiabilidad en dólares por kWh que incluye las variaciones sobre el margen para la diferenciación de ofertas.

Tabla Parámetros

En esta tabla debe estar depositada la información de los parámetros únicos, de este modo se tiene información de la Cantidad a subastar.

Parametros		
Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Qsubastada	Número	Cantidad de OEF a subastar para venta en el año cargo en kwh-dia

Figura 3 Diseño Tabla Parámetros

- **Qsubastada:** Cantidad subastada en la Subasta de Reconfiguración de Venta en kWh-día.

Base de Datos – Datos de Salida del Modelo

Los datos de salida del modelo son clasificados en dos tipos, los primeros corresponden a la información por oferta de asignación de OEF de Venta encontrada por el modelo de optimización por planta (tabla *Resultado*), y los segundos que corresponden al valor de la función objetivo obtenida en la ejecución del modelo (tabla *ResultadoObjetivo*), toda la información es puesta por el modelo en la base de datos y cada tabla cumple con la estructura abajo mencionada.

Tabla *Resultado*

En esta tabla el modelo deposita la información del resultado de asignación de OEF de Venta para cada una de las plantas, de este modo se indica para cada oferta el nombre del agente, el nombre de la planta, la cantidad asignada de OEF de Venta y la variable binaria asociada a la asignación.

Resultado		
Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Agente	Texto	Agente generador que representa la Planta - string
Planta	Texto	Planta con OEF asignadas - string
Qasignada	Número	Cantidad Asignada de Energía de OFE para venta kWh-dia - entero
Binaria	Número	Variable Binaria de estado - Boolean

Figura 4 Diseño Tabla *Resultado*

- **Agente:** Nombre o Denominación Social del participante que representa la Planta.
- **Planta:** Nombre de la planta o unidad con OEF asignadas a la cual se aplicarán las OEF que se lleguen a comprar
- **Qasignada:** Cantidad asignada de OEF de Venta en la Subasta de Reconfiguración de Venta en kWh-día.
- **Binaria:** Variable binaria que representa la asignación de OEF de Venta:
 - Valor = 0: No hay asignación de OEF de Venta.
 - Valor = 1: Hay asignación de OEF de Venta en una cantidad entre la Cantidad Mínima y Máxima de OEF de Venta de la oferta.

Tabla *ResultadoObjetivo*

En esta tabla el modelo deposita la información del resultado de la función objetivo del modelo.

ResultadoObjetivo		
Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
FO	Número	Función Objetivo del modelo de optimización

Figura 5 Diseño Tabla *ResultadoObjetivo*

- **FO:** Resultado de la función objetivo en dólares.

Formulación del Modelo

A continuación se presenta la notación usada para la descripción del modelo de optimización. Letras mayúsculas son usadas para denotar parámetros y letras minúsculas para denotar índices y variables.

Índices

$r \in R$ Planta, definido en el conjunto R (número total de plantas con ofertas válidas para participar en la Subasta de Reconfiguración de Venta).

Variables

$oefventa_r$ OEF de Venta asignada a la planta (r).
 $binasig_r$ Binaria de estado asociada a la asignación de OEF de Venta de la planta (r).

Parámetros

$Qsubastar$ Cantidad total a subastar en la Subasta de Reconfiguración de Venta.
 $MPMCC_r$ Margen de precio diferenciado (según lo establecido en el inciso ii del artículo 7 de la Resolución CREG 051 de 2012) sobre el Precio Máximo para el Cargo por Confiabilidad de la oferta de la planta (r).
 \overline{Qmax}_r Cantidad Máxima de OEF de Venta de la oferta de la planta (r).
 \underline{Qmin}_r Cantidad Mínima de OEF de Venta de la oferta de la planta (r).

Función Objetivo

La función objetivo del modelo maximiza el producto del Margen de Precio diferenciado sobre Precio Máximo para el Cargo por Confiabilidad y las OEF de venta a asignar.

$$\max \quad \sum_r^R \{ MPMCC_r * oefventa_r \}$$

Restricciones

Dentro de las restricciones que debe cumplir el modelo se encuentran:

- La máxima asignación de OEF de Venta

$$\sum_r^R (oefventa_r) \leq Qsubastar$$

- La restricción asociada a la máxima cantidad de OEF de Venta a asignar a una planta, en caso que esta resulte con asignación de OEF de Venta

$$\overline{Qmax}_r * binasig_r - oefventa_r \geq 0 \quad \forall r$$

- La restricción asociada a la mínima cantidad de OEF de Venta a asignar a una planta, en caso que esta resulte con asignación de OEF de Venta

$$\underline{Qmin}_r * binasig_r - oefventa_r \leq 0 \quad \forall r$$

Configuración de los Parámetros del Modelo

A continuación se mencionan los parámetros para el ejecución del modelo, entre ellos se encuentra el número de procesadores en paralelo a utilizar, la cual estará definida como *CPX_PARAM_THREADS = 2* y el método de utilización y selección de estos procesadores como *CPX_PARAM_PARALLELMODE = 1*.

El parámetro referente al tiempo máximo para encontrar la solución es *CPX_PARAM_ITILIM = 9223372036800000000*, está dado en segundos y en la configuración determinada se tiene un valor lo suficientemente grande que garantiza que no sea el tiempo un factor que determine la solución del modelo.

En lo referente a los criterios de convergencia, un primer parámetro es el error absoluto entre la solución no entera y la solución entera *Tolerancia de diferencia absoluta – CPX_PARAM_EPAGAP= 1.0E-7*, el segundo parámetro hace referencia al error relativo entre la solución no entera y la solución entera *Tolerancia de diferencia absoluta – CPX_PARAM_EPGAP= 1.0E-12*.

Ejecución del Modelo

Se debe verificar la ruta en la cual se encuentra instalado el IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.3, La Figura 6 ilustra un ejemplo.

C:\ILOG\CPLEX_Studio123			
Edición	Ver	Herramientas	Ayuda
Incluir en biblioteca	Compartir con	Grabar	Nueva carpeta
Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
concert	19/09/2011 05:04 ...	Carpeta de archivos	
cplex	19/09/2011 05:04 ...	Carpeta de archivos	
cpoptimizer	19/09/2011 05:04 ...	Carpeta de archivos	
licenses	19/09/2011 05:09 ...	Carpeta de archivos	
opl	19/09/2011 05:09 ...	Carpeta de archivos	
properties	19/09/2011 05:09 ...	Carpeta de archivos	
Uninstall	20/09/2011 06:38 a...	Carpeta de archivos	
IBM_ILOG_CPLEX_Optimization_Studio_1...	20/09/2011 06:38 a...	Documento de tex...	994 KB
README.html	19/09/2011 05:03 ...	Documento HTML	7 KB

Figura 6 Directorio de archivos IBM ILOG

El archivo adjunto al documento publicado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG, a través de la Circular CREG 043 de 2012, debe ser extraído al disco C:\ del ordenador. De este modo se debe tener la siguiente ruta y datos como se muestra en la Figura 7.

c:\SubastaReconfiguracionVenta			
Edición	Ver	Herramientas	Ayuda
Incluir en biblioteca	Compartir con	Nueva carpeta	
Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
DatosSubasta.mdb	12/07/2012 11:24 a...	Microsoft Access ...	976 KB
run.bat	12/07/2012 07:43 a...	Archivo por lotes ...	1 KB
SubastaReconfiguracionVenta.dat	12/07/2012 10:53 a...	Archivo DAT	1 KB
SubastaReconfiguracionVenta.mod	12/07/2012 11:05 a...	Archivo MOD	3 KB

Figura 7 Directorio de archivos

Se debe configurar la ruta donde se encuentra instalado el *oplrn* del IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.3, para ello se debe dar click derecho sobre el archivo run.bat del directorio c:\SubastaReconfiguracionVenta y seleccionar la opción *editar*, en la primera línea se deberá colocar la ruta en la cual se encuentra el *oplrn* instalado en el ordenador tal como se ilustra en el ejemplo de la Figura 8.

```
C:\ILOG\CPLEX_Studio123\opl\bin\x86_win32\oplrn C:\SubastaReconfiguracionVenta\SubastaReconfiguracionVenta.mod SubastaReconfiguracionVenta
pause
```

Figura 8 Ingreso acceso al oplrun

Se debe ingresar en la base de datos DatosSubasta.mdb la información de Ofertas y Parámetros, descritos arriba y que se muestran en la Figura 9.

Agente	Planta	Qmax	Qmin	Precio
AGENTE XX	PLANTA AA	100500	1000	8
AGENTE ZZ	PLANTA DD	459015	12378	5
AGENTE CC	PLANTA MM	98000	8000	10

Qsubastada
1500000

Figura 9 Ingreso de datos en DatosSubasta.mdb

Para ejecutar el modelo se debe dar doble click sobre el archivo run.bat del directorio c:\SubastaReconfiguracionVenta, aquí se despliega una ventana de comandos en DOS y en caso de que la ejecución haya sido exitosa en las líneas finales se debe presentar un mensaje que indique el valor de la función objetivo, post proceso y done, tal como se muestra en la Figura 8.

```
Presolve time =      0.02 sec.

<<< solve

OBJECTIVE: 1.500001e+7

<<< post process

<<< done
```

Figura 8 Ejecución exitosa

Los resultados pueden ser observados en las tablas *Resultado* y *ResultadoObjetivo* de la base de datos DatosSubasta.mdb que se describieron arriba y que se muestran en la Figura 9.

The screenshot shows the Microsoft Access 'Todos los objetos de Acc...' (All Access objects) window. On the left, a tree view lists 'Tablas' (Tables) including 'Oferta', 'Parametros', 'Resultado', and 'ResultadoObjetivo'. The 'Resultado' table is open, displaying four rows of data:

Agente	Planta	Qasignada	Binaria
AGENTE XX	PLANTA AA	100500	1
AGENTE ZZ	PLANTA DD	459015	1
AGENTE CC	PLANTA MM	98000	1
AGENTE XX	PLANTA QQ	842485	1

Below it, the 'ResultadoObjetivo' table is open, showing one row with the value '4921.56' in the 'FO' column.

Figura 9 Consulta de resultados en DatosSubasta.mdb

En caso de que la ejecución del modelo no haya sido exitosa se presentará un mensaje de error en la ventana de comandos, es importante verificar las rutas de instalación del optimizador, del modelo suministrado y de la calidad de los datos ingresados en la base de datos.