



# FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE SUBASTA DE RENOVABLES EN COLOMBIA -versión 4.2

Ministerio de Minas y Energía - UPME - Rightside S.A.S

20 de agosto de 2019

## INTRODUCCIÓN

Este documento presenta la formulación matemática completa definida para la asignación de la segunda subasta de contratos de largo plazo -CLPE, según lo definido por el Ministerio de Minas y Energía en las Resoluciones 4-0590 y 4-0591 de 2019 y sus modificaciones. El documento consta de 3 partes. En el capítulo 1 se presenta la formulación matemática del modelo de optimización. Este modelo fue desarrollado usando técnicas de programación entera mixta y fue programado en lenguaje Python y librería de optimización Pyomo. La subasta está planteada como una subasta de sobre cerrado de dos puntas, es decir, tanto compradores como vendedores, realizan ofertas. Las ofertas de los compradores se componen de un par de cantidad y precio para todo el día. La cantidad, en energía diaria MWh-día y el precio en \$/kWh. Las ofertas de los vendedores se componen de un par de cantidad y precio por bloque intradiario. La cantidad, en paquetes de energía con un tamaño definido de 0.5 MWh y el precio en \$/kWh. Las ofertas de los vendedores pueden tener restricciones tales como: ofertas simultáneas, excluyentes y dependientes. La función objetivo se define como la maximización del beneficio del consumidor.

En el capítulo 2, se presenta el criterio de convergencia establecido para considerar una solución como óptima y otras características del proceso de optimización. Finalmente, en el capítulo 3 se presenta la asignación a pro-rata con la cual se generan los valores en kWh correspondientes a cada uno de los contratos de largo plazo.

## 1. MODELO MATEMÁTICO

### Conjuntos y parámetros:

**G** Conjunto de proyectos de generación que hacen oferta de venta

**C** Conjunto de comercializadores que hacen oferta de compra

**B** Conjunto de bloques de demanda intradiarios

**OC** Conjunto de ofertas de compra. Cada ID de oferta  $Idc$  tiene asociado el nombre del comercializador  $c$  y una cantidad de energía diaria en MWh-día. Cada  $Idc$  es un código único, que contiene la información del comercializador  $c$

**OV** Conjunto de ofertas de venta. Cada ID de oferta  $Idv$  tiene asociado el nombre del generador  $g$ , un bloque  $b$  y una cantidad de paquetes máxima y mínima. Además estas ofertas de venta pueden ser simultáneas, excluyentes o dependientes. Cada  $Idv$  es un código único, que contiene la información del generador  $g$  y del bloque  $b$

**PTP** Precio Tope Promedio. [\$/kWh]

**PTS** Precio Tope Superior. [\$/kWh]

**TP** Tamaño del paquete en [MWh]

$PV_{Idv}$  Precio de venta del ID de oferta de venta  $Idv$  [\$/kWh]

$PVD_{Idv}$  Precio de venta del ID de oferta de venta  $Idv$  después de aplicar las reglas de desempate [\$/kWh]

$MXG_{Idv}$  Número de paquetes máximo del ID de oferta de venta  $Idv$  [paquetes]

$MNG_{Idv}$  Número de paquetes mínimo del ID de oferta de venta  $Idv$  [paquetes]

$PC_{Idc}$  Precio de compra del ID de oferta de compra  $Idc$  [\$/kWh]

$PCD_{Idc}$  Precio de compra del ID de oferta de compra  $Idc$  después de aplicar las reglas de desempate [\$/kWh]

$MXC_c$  Energía máxima que el comercializador  $c$  está dispuesto a comprar para todo el día [MWh-día]

$D_b$  Duración en horas del bloque  $b$

$FP_g$  Factor de planta definido por la UPME para la tecnología del proyecto  $g$

### Variables de decisión:

$asignacionV_{Idv}$  Variable entera positiva que representa la energía asignada de la oferta de venta  $Idv$  [kWh-bloque]

$asignacionC_{Idc}$  Variable entera positiva que representa la energía asignada

de la oferta de compra  $Idc$  [kWh-día]

### **Función objetivo de maximización de Beneficio del consumidor**

$$\max \left[ \sum_{c \in OC} PCD_c \cdot asignacionC_c - \sum_{v \in OV} PVD_v \cdot asignacionV_v \right] \quad (1)$$

#### **sujeto a:**

- (r1) Restricción de balance entre asignaciones de compra y venta
- (r2) Restricción para controlar máximo de ofertas de compra
- (r3) Restricción para controlar máximo de ofertas de venta
- (r4) Restricción para controlar mínimo de ofertas de venta
- (r5) Restricción para garantizar precio de oferta de compradores menor al precio ponderado de venta de la asignación diaria
- (r6) Control de ofertas de venta dependientes
- (r7) Control de ofertas de venta excluyentes
- (r8) Control de ofertas de venta simultáneas
- (r9) Restricción para garantizar que el precio ponderado de asignación de venta sea menor al precio tope promedio
- (r10) Restricción para excluir las ofertas de venta mayores al precio tope superior

## **2. CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA EL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN**

En la subasta, la casación de las ofertas es el resultado de un algoritmo de optimización. El parámetro de tolerancia relativa para este algoritmo se define en un valor de  $1 \times 10^{-6}$

Adicionalmente el Ministerio de Minas y Energía podrá definir estrategias adicionales para encontrar posibles soluciones alternas que tengan funciones objetivo menores o iguales a la encontrada inicialmente, y de ser el caso, definir criterios para elegir una solución.

## **3. ASIGNACIÓN DE CONTRATOS A PRORRATA DE ASIGNACIÓN DE COMPRA**

La solución del problema de optimización, encuentra la casación entre las ofertas de compra  $asignacionC_c$ , y las ofertas de venta  $asignacionV_v$ . Se genera un contrato para cada oferta de compra y venta asignada. La cantidad de estos contratos se calcula a prorrata de la suma del porcentaje de

asignación de cada comercializador sobre la oferta total asignada. El precio será el  $PV_{Idv}$  de la oferta de venta asignada.

Los contratos tienen asociados la energía y los precios horarios, y los valores serán iguales durante todas las horas del bloque  $b$  de la oferta  $Idv$ .

$$factorCont_c = \frac{asignacionC_c}{\sum_{c \in C} asignacionC_c} \quad \forall c \in C \quad (2)$$

$$energiaCont_{c,v} = factorCont_c \cdot asignacionV_v \quad \forall c \in C, \forall v \in OV \quad (3)$$