

# DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PRECIOS PACTADOS EN EL MERCADO DE CONTRATOS Y MITIGACIÓN DE LA VOLATILIDAD EN EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA ECUATORIANO

Galo Nina  
Análisis y Control

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es establecer los precios de los contratos a plazo entre Generadores y Distribuidores del Sistema de manera eficiente y óptima. Basado en la Teoría de Juegos se establece un modelo matemático para calcular estos precios. Debido a que los costos marginales sancionados en la barra de mercado tienen una alta volatilidad, en este trabajo se investiga adicionalmente una modalidad de contratos para mitigar esta volatilidad. Estas metodologías son aplicadas a datos tomados del MEM Ecuatoriano.

**PALABRAS CLAVES:** Volatilidad, Teoría de Juegos, Programación Lineal, Mitigación de Riesgo.

## 1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo es presentar alternativas para mitigar la volatilidad de los costos marginales en el Mercado Eléctrico Mayorista – MEM, Ecuatoriano.

Dado que la última reforma al Reglamento Sustitutivo al Reglamento para el Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista MEM establece que la mayoría de centrales hidroeléctricas y centrales termoeléctricas a vapor venderán en contratos a plazo el cien por ciento de su producción energética total, el establecimiento de los precios de estos contratos es determinante en el mantenimiento de la estabilidad financiera del MEM.

El promedio ponderado de los costos marginales diarios en la barra de mercado durante el 2003 fue de 5,93 centavos, que en comparación con el costo promedio del 2002 de 4,81 centavos corresponde a un aumento de 23,4%. Se observa así mismo que los costos marginales en la barra de mercado sancionados tuvieron una alta volatilidad. Sus valores variaron entre valores máximos diarios de 12,3789 centavos (ocurrido el 26 de febrero), a un valor mínimo diario de 0,8765 centavos de dólar (ocurrido el 1 de junio), durante el 2003. Como consecuencia de esto, los resultados del cálculo de los indicadores de desvío de Costos Marginales y el Precio Referencial de Generación en el 2003, para las bandas horarias de base (22:01 – 07:00), media (07:01 – 17:00) y punta (17:01 – 22:00) dio un valor promedio de desvíos del 25.41%.

En vista de que la tarifa a usuario final tiene como una componente principal el Precio Referencial de Generación es necesario protegerse contra esta alta variación.

En este trabajo se investiga una modalidad de contrato, el Contrato por Diferencias, que puede mitigar esta característica de nuestro mercado.

El problema de la determinación de los precios para contratos a plazo en el MEM ha sido tratado en [4], cuando se trata de empresas que cooperan entre sí. Los contratos por diferencias han sido utilizados en muchos Mercados como en Inglaterra, Gales, Australia [5], [6], para la mitigación del poder de mercado y en el Nord Pool de los países escandinavos para mitigar la diferencia entre los precios marginales del sistema y los precios de áreas determinadas.

El trabajo está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2.0 los conceptos de Teoría de Juegos relevantes para el trabajo son introducidos, así como el modelo planteado para su solución. Esta metodología es luego aplicada a datos tomados del MEM. En la Sección 3.0 se describe la modalidad de contratación de Contratos por Diferencias y se aplica esta modalidad a datos del MEM. Las conclusiones del trabajo son presentadas en la Sección 4.0.

## 2. DETERMINACION DEL NIVEL DE PRECIOS PACTADOS EN EL MERCADO DE CONTRATOS

### 2.1. Empresas en Competencia

La Teoría de Juegos determina que cuando en un mercado oligopólico las empresas compiten en precios; competencia a la Bertrand; los productos son sustitutivos perfectos; y, ninguna empresa tiene costos mas bajos, entonces, el equilibrio de la competencia de Bertrand exige que los precios sean iguales al costo marginal. Bajo esta consideración dado que toda la energía de las Empresas Generadoras está colocada en contratos a plazo esta condición sería semejante a que los Generadores colocaran toda su producción en el MEM. Esto tiene como consecuencia debido a las características de este Mercado que se estaría sujeto a la gran volatilidad del costo marginal que en este caso depende de la hidrología sobre todo de la central hidroeléctrica Paute.

## 2.2. Empresas Cooperando entre Sí

### 2.2.1. Cantidad Pactada en el Contrato No Establecida

En el caso de que los Generadores cooperen para la fijación del precio sin establecer la cantidad de los contratos, la Teoría de juegos nos indica que el equilibrio se obtiene cuando se forman coaliciones entre vendedores y compradores [2]. Estas coaliciones están en equilibrio cuando no hay ningún Generador o Distribuidor que pueda estar mejor si deserta de la coalición y forma parte de otra coalición propuesta. En este caso se puede plantear un modelo tomando en cuenta los conjuntos de parejas de coalición que están en equilibrio y las restricciones de disponibilidad de los Generadores y demanda de los Distribuidores para determinar las cantidades de que se deben considerar en los contratos. El precio de todos los contratos en este caso es único y corresponde al equilibrio de Mercado. En algunos casos éste no corresponde al precio spot del Sistema [4].

### 2.2.2. Cantidad Pactada en el Contrato Establecida

Cuando se considera que las cantidades están determinadas; como es el caso establecido en la última reforma al Reglamento Sustitutivo al Reglamento para el Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista; es necesario establecer el precio de los contratos guardando que se mantenga el equilibrio financiero del MEM. Este equilibrio consiste en mantener la suma del superávit de las Empresas que están cooperando entre sí lo más alta posible. Se puede plantear un modelo que toma en cuenta el superávit de las Empresas Distribuidoras y Generadoras. En este caso los precios de los contratos son diferentes para cada uno de los Generadores. El modelo se describe a continuación

#### Modelo

##### Índices

i Empresa Distribuidora

j Empresa Generadora

##### Variables de Decisión

$P_j$  Precio de los contratos a plazo de la Empresa Generadora j

$s_j, s_i$  Superávit de la Empresa Generadora j, Distribuidora i

$o_j, o_i$  Gastos Operación y Mantenimiento de la Empresa Generadora j, Distribuidora i

##### Parámetros

$X_{ji}$  Energía contratada entre la Empresa Distribuidora i Generadora j

$p_j, \bar{p}_j$  Precio máximo (mínimo) de los contratos de la Empresa Generadora j

$o_j, o_i$  Gastos mínimos de la Empresa Generadora j, Distribuidora i

$X_{js}, X_{si}$  Energía puesta en mercado ocasional por el Generador j, energía recibida por el Distribuidor i del mercado ocasional.

p Precio Spot.

d Tarifa final a consumidor

#### Modelo

$$\max \sum_j s_j + \sum_i s_i$$

Sujeto a:

Restricción del superávit de las Empresas Distribuidoras.

$$s_i + \sum_j x_{ji} p_j + o_i \leq d \sum_j x_{ji} + (d - p) x_{si}, \forall i$$

Restricción del superávit de las Empresas Generadoras con venta en el Mercado Ocasional.

$$s_j - p_j \sum_i x_{ji} + o_j \leq p x_{js}, \forall j$$

Restricción del superávit de las Empresas Generadoras sin venta en el Mercado Ocasional.

$$s_j - p_j \sum_i x_{ji} - o_j \geq 0, \forall j$$

Restricción de los precios de los contratos

$$\underline{p}_j \leq p_j \leq \bar{p}_j$$

Restricción de Gastos de Operación y Mantenimiento

$$o_i \leq \underline{o}_i$$

$$o_j \leq \underline{o}_j$$

En este modelo se expresa el flujo de fondos del Generador y el Distribuidor sin tomar en cuenta los pagos por transmisión en las restricciones 1., 2. y 3. [7]. Se conoce la demanda de los Distribuidores y una vez definido el monto de energía que debe ser transado en el Mercado de contratos definida por el Reglamento Sustitutivo al Reglamento para el Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista [8], la energía en el Mercado Ocasional es por lo tanto conocida, convirtiéndose en un parámetro. El modelo no considera explícitamente el cargo por potencia pero como este es pago que realizan los Distribuidores al Generador esto compensa el flujo de caja conjunto.

### 2.3. Aplicación de la Metodología

El modelo descrito en la sección anterior es ilustrado con datos del MEM Ecuatoriano para el 2004. Tomando en cuenta los datos del Plan de Operación del MEM enero – diciembre 2004. La energía que se debe negociar en el mercado de contratos según el Reglamento Sustitutivo al Reglamento para el Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista MEM consta en la Tabla 1:

TABLA 2: Precios de los Contratos

USD/GWh	PAUTE	PUCARA	AGOYAN	GZEV	TRINITARIA	TERMO ESMERALDAS	TERMO PICHINCHA	% SUPERAVIT(1)
PRECIOS CASO 1	20	36	20	58	53	48	64	14%
PRECIOS CASO 2	20	36	20	66	62	63	69	10%
PRECIOS CASO 3	20	36	20	88	88	85	139	

(1) Porcentaje de mejora en relación al superavit del Caso 3

TABLA 1: Valores Anuales Contratadas por los Distribuidores con los Generadores

Año 2004 (MWh)	PAUTE	PUCARÁ	AGOYÁN	GZEV	TRINITARIA	TERMOESMERALDAS	TERMO PICHINCHA
AMBATO	127,929.63	6,593.61	22,449.79	19,228.66	26,471.20	19,544.45	3,950.88
AZOGUES	26174.6793	1,349.07	4,593.28	3,934.23	5,416.06	3,998.84	808.36
BOLÍVAR	18930.3257	975.69	3,322.00	2,845.35	3,917.06	2,892.08	584.63
COTOPAXI	99378.8273	5,122.08	17,439.54	14,937.29	20,563.47	15,182.60	3,069.14
ESMERALDAS	108655.424	5,600.20	19,067.45	16,331.63	22,482.98	16,599.83	3,355.63
LOS RÍOS	76916.0794	3,964.33	13,497.65	11,560.99	15,915.48	11,750.86	2,375.42
MANABÍ	295849.815	15,248.38	51,917.34	44,468.17	61,217.25	45,198.46	9,136.81
MILAGRO	138632.512	7,145.25	24,327.99	20,837.38	28,685.84	21,179.59	4,281.42
QUITO	969108.939	49,948.80	170,064.52	145,663.45	200,528.03	148,055.64	29,929.25
CENT. SUR	200474.755	10,332.66	35,180.40	30,132.67	41,482.24	30,627.54	6,191.31
REG. SUR	62971.895	3,245.63	11,050.65	9,465.09	13,030.15	9,620.53	1,944.78
EL ORO	170949.561	8,810.90	29,999.16	25,694.84	35,372.89	26,116.82	5,279.48
RIOBAMBA	61989.6024	3,195.00	10,878.27	9,317.45	12,826.89	9,470.46	1,914.44
STA. ELENA	92536.1026	4,769.40	16,238.74	13,908.78	19,147.57	14,137.21	2,857.82
STO. DMGO	92195.1131	4,751.82	16,178.90	13,857.53	19,077.01	14,085.11	2,847.29
CATEG	1221199.1	62,941.76	214,302.68	183,554.26	252,690.53	186,568.72	37,714.61
EMELGUR	323720.717	16,684.87	56,808.28	48,657.35	66,984.29	49,456.44	9,997.55
EMELNORTE	114158.442	5,883.83	20,033.15	17,158.76	23,621.67	17,440.56	3,525.59
TOTAL	4201771.52	216,563.30	737,349.79	631,553.90	869,430.61	641,925.74	129,764.41

Se analizaron tres casos considerando datos diferentes para la restricción 4. del modelo.

En el primer caso se considero los costos de operación como el nivel inferior de la variable de precios para todos los Generadores y como nivel superior de la variable se tomó en cuenta los precios históricos del 2003, adicionalmente se contemplo que las variables representando los superávit de los Generadores y Distribuidores podían asumir valores negativos.

En el segundo caso se considero también, como anteriormente, los mismos niveles para los precios tanto superiores como inferiores pero esta vez se contemplo que los superávit de los Generadores debían ser positivos.

Finalmente en el tercer caso los precios de los contratos fueron para los Generadores Térmicos los del 2003 y se estableció que los superávit podían ser negativos.

Los resultados de este análisis constan en la Tabla 2.

Los resultados nos indican que existe una mejora en relación a los precios históricos de los contratos, por la aplicación del modelo. El valor con mayor superávit es el Caso 1, sin embargo en este caso algunos Generadores Térmicos tienen ganancias negativas.

El Caso 2, por lo tanto se considera la mejor opción ya que no tiene ninguna ganancia negativa para los Generadores considerados.

### 3. MITIGACIÓN DE LA VOLATILIDAD

#### 3.1. Contratos por Diferencias

En esta clase de contratos una parte contratante conviene en pagar a la otra la diferencia entre el precio establecido en el contrato y un precio referencial. Estos contratos pueden ser de dos vías o de una vía.

##### 3.1.1. Contrato de Dos Vías

Un contrato de dos vías es similar a un contrato financiero de futuros y esta definido en términos de un precio determinado (\$/MWh) y una cantidad.

Como se muestra en la figura 1, si el precio referencial

representado en la figura por la línea curva es mayor que el precio determinado en el contrato, el comprador recibe una rebaja igual a la diferencia en precios representada por el área A. En caso contrario cuando el precio referencial es menor que el precio determinado el comprador debe pagar la diferencia al vendedor en los precios representada por el área B.

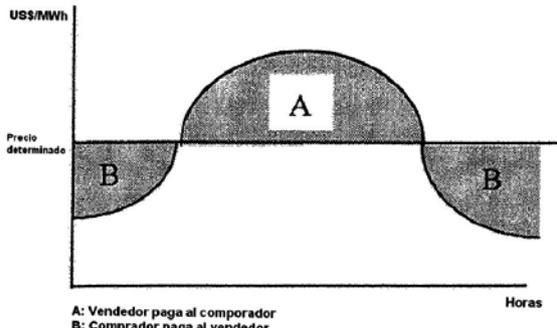


FIGURA 1: Contrato por Diferencias Dos Vías [5]

### 3.1.2. Contrato de Una Vía

Un contrato por diferencias de una vía es similar a un contrato financiero de opciones y por lo tanto incluye una prima en adición al precio determinado y una cantidad contratada. Bajo el contrato de una vía los pagos por diferencias son hechos solamente si el precio referencial sube arriba del precio determinado. Esto se representa en la Figura 2 por el área A.

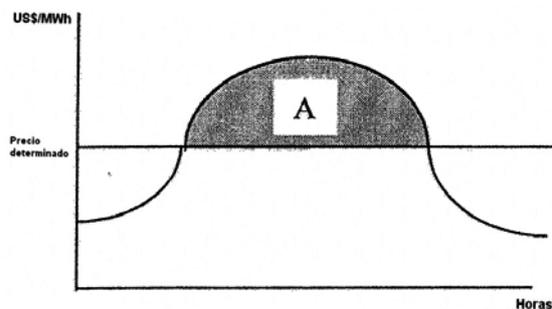


FIGURA 2: Contrato por Diferencias de Una Vía

## 3.2 Aplicación de la Metodología

Dado que el precio marginal en el Mercado está determinado por la hidrológica en la central Paute y ésta es además la Empresa con mayor participación en el Mercado sería deseable establecer contratos de esta Empresa con los Distribuidores en la modalidad de dos vías.

Para esto se establecería un contrato en cual se fijaría el precio determinado como el Precio Referencial de Generación, y el precio referencial sería el precio marginal del Mercado. De esta manera se mitigaría las diferencias existentes cuando el precio marginal es mayor que el PRG. La cantidad a la cual se aplicaría el contrato sería aquella que se negocia en el Mercado Ocasional para cada uno de los Distribuidores.

Utilizando los datos del Plan de Operación del MEM del 2004, se simuló este contrato utilizando como precio referencial de generación 41.66 US\$/MWh y precios de energía de 48.1, 42.1 y 40.0 US\$/MWh para punta, media y base respectivamente.

Los resultados utilizando datos totales anuales fueron: valores de pagos de 6.94 millones de USD de Paute a los Distribuidores y pagos de 3.88 millones de los Distribuidores a Paute. En estas condiciones el flujo de caja de los Distribuidores tiene un saldo positivo de aproximadamente 143 millones de US\$.

Se debe añadir que los Generadores siguen teniendo contratos a plazo tal como especificado en el Reglamento Sustitutivo al Reglamento para el Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista MEM. El contrato de diferencias es un contrato adicional que tendría Paute con los Distribuidores por una cantidad determinada por el valor negociado por los respectivos distribuidores en el Mercado Ocasional.

## 4. CONCLUSIONES

La utilización de metodologías para el cálculo de los precios de los contratos nos permite lograr una mejora del 10% en las ganancias totales del Sistema para datos del MEM en el 2004.

Así mismo los contratos por diferencias con Paute permiten tener un Sistema en el cual no existen saldos negativos en el flujo de caja de los distribuidores.

De esta manera se puede concluir que la utilización de metodologías apropiadas y nuevas en el MEM ecuatoriano nos permitirán mitigar el riesgo inherente a la gran volatilidad de los precios marginales.

Sin embargo es necesario no solo emplear metodologías para mitigar la volatilidad de los precios marginales en el MEM, sino también emprender en una mejora de la administración de las Distribuidoras tendiente a optimizar la recaudación y pérdidas en las mismas. Estas mejoras pueden tener un efecto positivo adicional en mantener la estabilidad del modelo del MEM que es uno de los objetivos de calidad de la Corporación CENACE.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Corporación CENACE, Informe Anual 2003
- [2] Gardner Roy, Juegos para Empresarios y Economistas, Anton Bosch Editor, 1996.
- [3] Kristiansen Tarjei, Pricing Analysis of Contracts for Difference. Department of Electrical Power Engineering. Norwegian University of Science and Technology, 2002
- [4] Nina Galo, Modelos para los Contratos a Plazo en la Etapa de Transición del Mercado Eléctrico Mayorista Ecuatoriano, AEBCA Magazín, 2001.
- [5] Options for Market Power Mitigation in the Alberta Power Pool, Department of Energy London Economics, 1998.
- [6] Singh Harry, Market Power Mitigation in Electricity Markets, Game Theory Applications in Electric Power Markets, IEEE Tutorial, 1999.
- [7] Lecaros Fernando, Expectativas, Realidad y Futuro del Sector Eléctrico Ecuatoriano Estrategia de Desarrollo. 2004.
- [8] Registro Oficial No. 310, Jueves 8 de abril del 2004.
- [9] Corporación CENACE, Plan de Operación del MEM Enero – Diciembre 2004.



**Galo Nina S.**- Ingeniero Eléctrico por la ESPOL, M.Sc. en Ingeniería de Sistemas (Optimización) por la COPPE/UFRJ Brasil y D. Ing. en Ingeniería Económica por FHTE Esslingen Alemania. Desde 1981 a 1988 y desde 1994 a 1995 trabajó en INECEL en Planificación de la Operación

y Control de Gestión en la Dirección de Operaciones del SNI.

Desde 1999 se desempeña como Jefe de Análisis y Control en la Corporación CENACE. De 1981 a 1988 fue profesor de Ingeniería de Sistemas de la ESPE. Desde 1994 ha dictado cursos de post-grado en Métodos Cuantitativos y Planificación de Producción en las Universidades Andina, Central del Ecuador, EPN y ESPOL.

Ha realizado alrededor de 30 publicaciones en Planificación de la Operación de SP, Confiabilidad, Métodos Cuantitativos y Planificación de Manufactura en diversos Congresos en el País y en el extranjero.