

Metodología para controlar el poder de mercado en mercados spot de generación Eléctrica: el caso colombiano

John J. García
Santiago Bohórquez
Gustavo López
Fredy Marín

Agenda

- **Motivación y Objetivo**
- **Experiencias internacionales sobre poder de mercado**
- **Consideraciones del MEM en Colombia**
- **Simulación del precio spot en el MEM utilizando una convolución (Filtro de Kalman)**
 - **Modelo para estimar el precio spot**
 - **Resultados de las estimaciones: precio spot y otros parámetros**
- **Estimación de beneficios a través de un modelo de Cournot que considera el mercado *spot* y el mercado de contratos de largo plazo**
 - **Modelo Cournot para la estimación de beneficios**
 - **Resultados de las estimaciones del modelo de Cournot**
- **Consideraciones finales**

Objetivo

Objetivo General

Proponer una metodología acorde a las características de MEM en Colombia, la cual incorpore los contratos a futuro y, a su vez, permita hacer seguimiento a los comportamientos estratégicos al precio en bolsa en este mercado.

Principales indicadores para medir y controlar el poder de mercado

ÍNDICES DE CONCENTRACIÓN

- *Market Share*
- *Herfindahl-Hirschman Index (HHI)*

INDICADORES PARA MEDIR PODER DE MERCADO

- *Indicadores de pivotalidad*
 - *Residual Supply Index (RSI)*
 - Índice de Demanda Residual
- Índice de Lerner
- Índice de *Mark up* de Beneficios

MECANISMOS PARA CONTROLAR PODER DE MERCADO

- Ventas de activos
- Ventas virtuales de energía (*Virtual Power Plant*)
- Contratos a plazo (*Forward*)

Agenda

- Motivación y Objetivo
- Experiencias internacionales sobre poder de mercado
- **Consideraciones del MEM en Colombia**
- Simulación del precio spot en el MEM utilizando una convolución (Filtro de Kalman)
 - Modelo para estimar el precio spot
 - Resultados de las estimaciones: precio spot y otros parámetros
- Estimación de beneficios a través de un modelo de Cournot que considera el mercado *spot* y el mercado de contratos de largo plazo
 - Modelo Cournot para la estimación de beneficios
 - Resultados de las estimaciones del modelo de Cournot
- Consideraciones finales

MEM

-Participación en la actividad de generación de energía eléctrica

CREG 060, 2007

Participación en el mercado no puede exceder el 25%

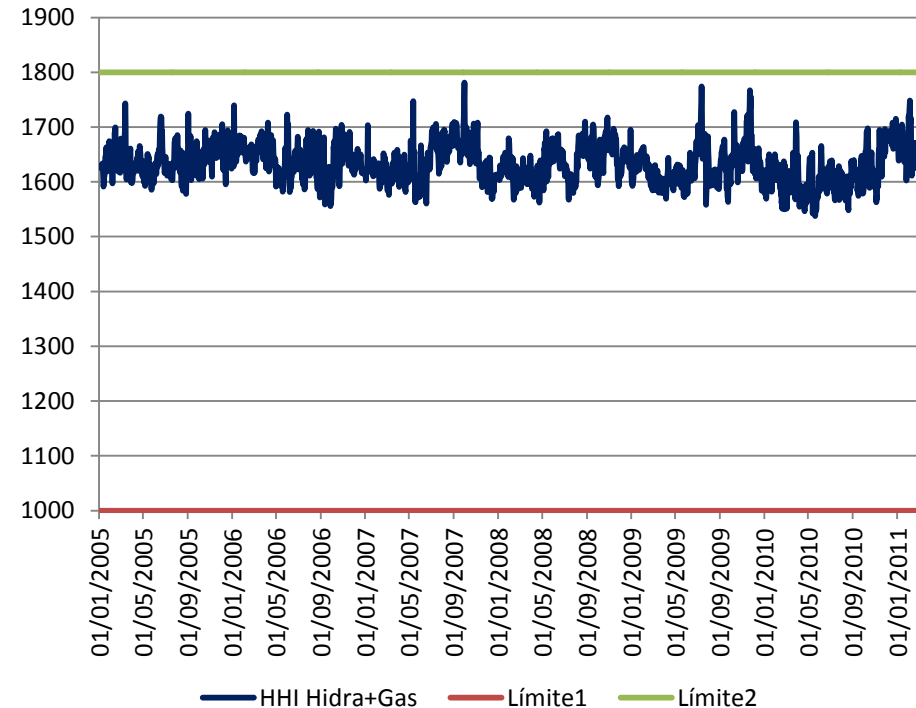
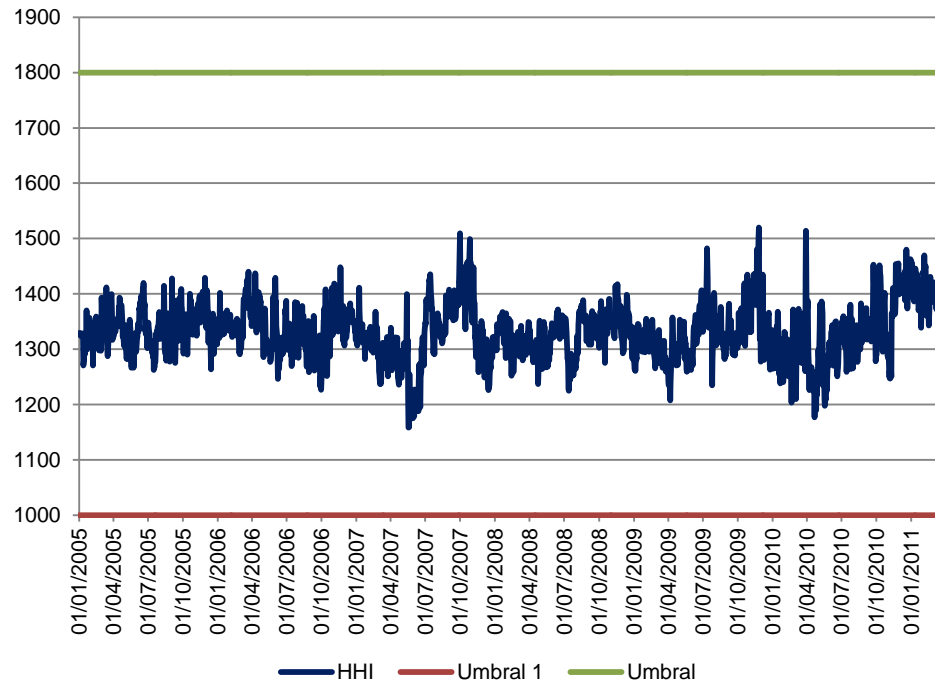
Umbral HHI 1800

-Definición de mantenimiento programado y normas sobre el tema

CREG 159 , 2008

CREG 065, 2000

Herfindahl-Hirschman Index (HHI) (Disponibilidad ofertada)



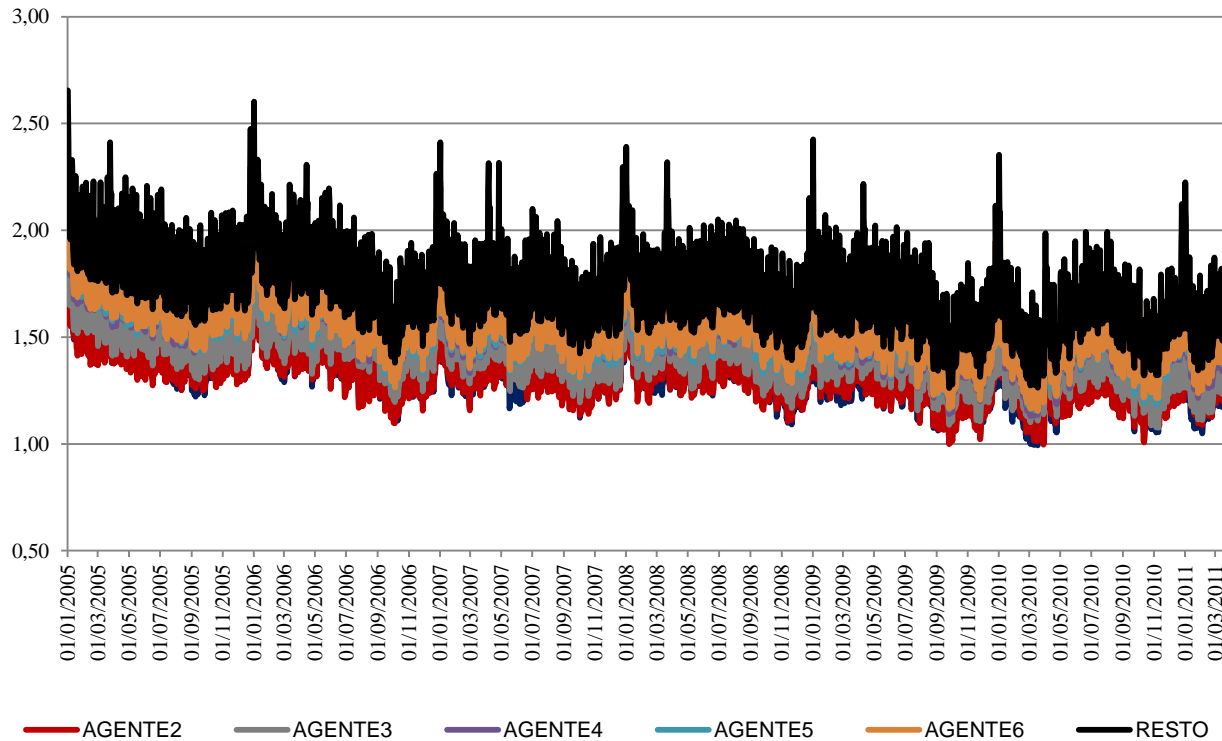
$$HHI = s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_N^2 = \sum_{i=1}^N s_i^2$$

HHI < 1.000, no hay problemas de competencia

1.000 < HHI < 1.800, mercado levemente concentrado

HHI > 1.800, mercado altamente concentrado

Índice de oferta residual, Colombia (datos horarios demanda alta)

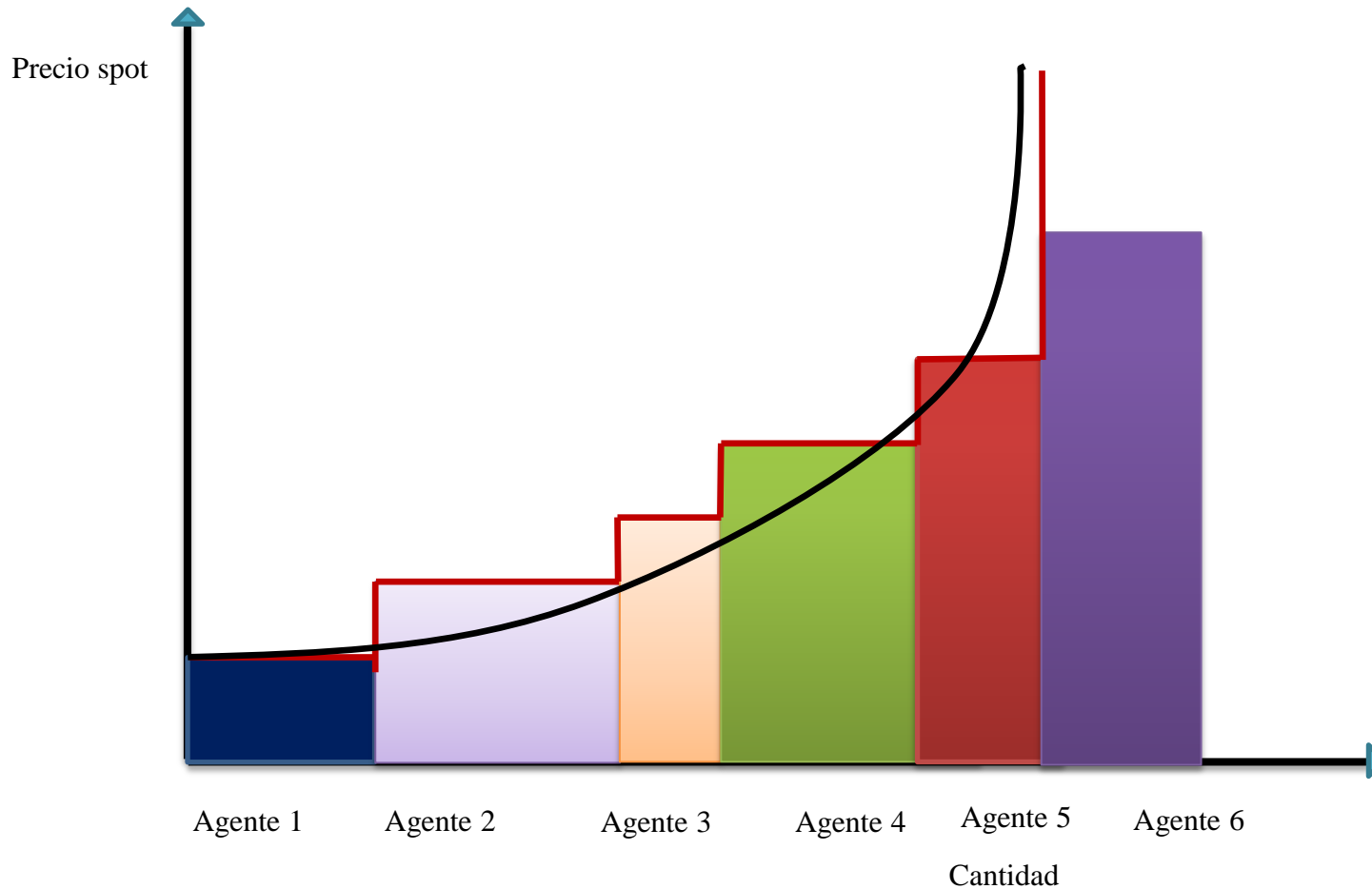


$$\text{Índice de oferta residual del agente } i = \frac{\text{Disponibilidad total del sistema} - \left(\text{Disponibilidad del agente } i - \text{Contratos del agente } i \right)}{\text{Demanda total del sistema}}$$

Agenda

- Motivación y Objetivo
- Experiencias internacionales sobre poder de mercado
- Consideraciones del MEM en Colombia
- **Simulación del precio spot en el MEM utilizando una convolución (Filtro de Kalman)**
 - **Modelo para estimar el precio spot**
 - **Resultados de las estimaciones: precio spot y otros parámetros**
- Estimación de beneficios a través de un modelo de Cournot que considera el mercado *spot* y el mercado de contratos de largo plazo
 - Modelo Cournot para la estimación de beneficios
 - Resultados de las estimaciones del modelo de Cournot
- Consideraciones finales

Gráfico de ofertas en el pool



Función Exponencial - original

El comportamiento del precio de la energía se describe con la siguiente forma funcional:

$$P_t = \alpha_t + \varphi P_{t-1} * e^{A_t * D_t - B_t * O_t + \varepsilon_t}$$

donde:

P_t es el precio de la energía para cada día

α_t es un *parámetro dinámico que captura los costos, las condiciones climatológicas (Niño, Niña), las intervenciones del gobierno*

A_t es la *elasticidad de la demanda con respecto al precio*

D_t es la *demanda diaria*

B_t es la *elasticidad del oligopolio con respecto al precio*

O_t es la *cantidad generada por el oligopolio*

P_{t-1} es el *precio de la energía rezagado un periodo*

φ_t es el *parámetro asociado al rezago*

ε_t es el *término de error, que distribuye $N(0, \sigma)$*

Función Exponencial - original

Por la ecuación de equilibrio del mercado se sabe que para todo momento:

$$D_t = O_t + Q_t$$

Donde, Q_t es la cantidad producida por las minorías.

Y dado que esto se cumple, se puede encontrar entonces parámetros que cumplan con:

$$A_t * D_t = B_t * O_t + C_t * Q_t$$

Despejando, se obtiene:

$$C_t * Q_t = A_t * D_t - B_t * O_t$$

Si se asume que la demanda de energía es inelástica a través del tiempo, tomaremos su parámetro asociado como dado:

$$A_t = 1 \quad \text{Para todo } t$$

Función en su forma reducida para la estimación

Y obtenemos entonces:

$$C_t * Q_t = D_t - B_t * O_t$$

Reemplazando en la ecuación del precio:

$$P_t = \alpha_t + \varphi P_{t-1} * e^{C_t * Q_t} + \varepsilon_t$$

Aplicándole logaritmos:

$$\tilde{P}_t = \tilde{\alpha}_t + \varphi \tilde{P}_{t-1} + C_t * Q_t + \varepsilon_t$$

Estimación del modelo y simulación

Estimación de la Convolución para el precio, \hat{Z}_t

$$\hat{Z}_t = [\tilde{\alpha}_t + C_t * Q_t] / [1 - \varphi]$$

La estimación del parámetro de rezago φ , y de σ se realiza usando M.V.

De este modo se obtiene:

$$[1 - \hat{\varphi}] \hat{Z}_t = [\tilde{\alpha}_t + C_t * Q_t]$$

Estimación de la elasticidad de la franja:

$$[(1 - \hat{\varphi}) \hat{Z}_t - \tilde{\alpha}_t] / Q_t = \hat{C}_t$$

Además sabemos que:

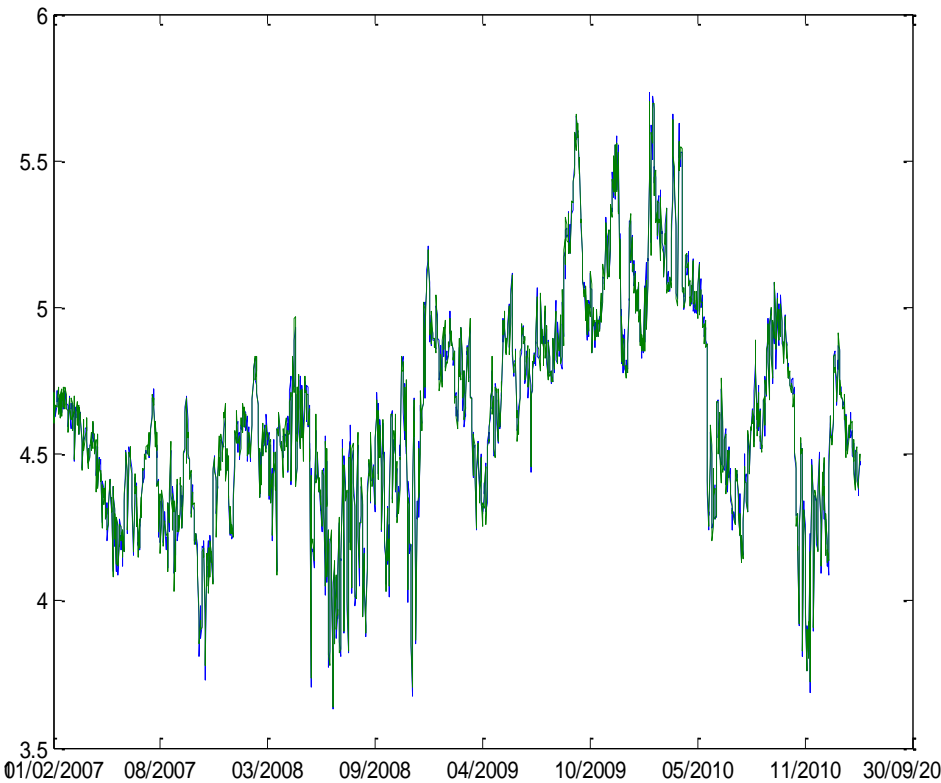
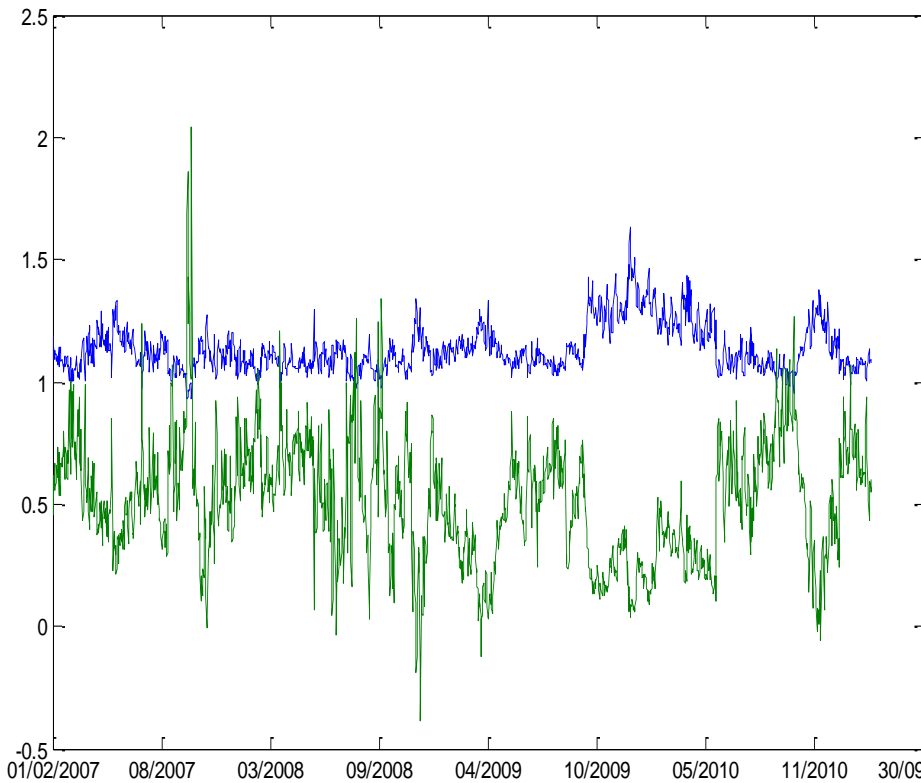
$$D_t = B_t * O_t + \hat{C}_t * Q_t \Rightarrow [D_t - \hat{C}_t * Q_t] / O_t = \hat{B}_t$$

Y por tanto los parámetros para el modelo:

$$\hat{P}_t = \tilde{\alpha}_t + \hat{C}_t * Q_t + \hat{\varphi} P_{t-1} + \varepsilon_t$$

Simulación Elasticidades Oligopolio (incluye térmica) y Minorías

$$O > 1; 0 < q < 1$$



* El parámetro para el precio rezagado es: 0.1096802352

Agenda

- Motivación y Objetivo
- Experiencias internacionales sobre poder de mercado
- Consideraciones del MEM en Colombia
- Simulación del precio spot en el MEM utilizando una convolución (Filtro de Kalman)
 - Modelo para estimar el precio spot
 - Resultados de las estimaciones: precio spot y otros parámetros
- **Estimación de beneficios a través de un modelo de Cournot que considera el mercado *spot* y el mercado de contratos de largo plazo**
 - **Modelo Cournot para la estimación de beneficios**
 - **Resultados de las estimaciones del modelo de Cournot**
- Consideraciones finales

Estimación modelo de Cournot

La simulación del precio de bolsa en los dos escenarios se incorpora en la función de maximización de beneficios

Se trata de un **Modelo de Cournot**, donde la variable estratégica es Q

$$Max \Pi_{i,L} = P(Q_L, Q_S) * Q_{i,L} - CT_{i,L}$$

Sujeto a:

$$0 \leq Q_i \leq Q_{max}$$

$$\sum Q_i \leq Demanda$$

$$0.3caphidrica \leq Embalse \leq 0.9caphidrica$$

$$\sum (Q_L + Q_S) = Demanda$$

Estimación modelo de Cournot

Al incorporar los contratos en la función de maximización de beneficios: A nivel teórico ***aumentos en el nivel de contratación disminuyen el*** precio (Nord pool, Inglaterra y Gales, Alberta)

$$\Pi_{i,L} = P_b * (Q_G - Q_C) + P_C * Q_C - CT_{i,L}$$

donde:

Q_G , es la cantidad generada en bolsa

Q_C , es la cantidad contratada (contratos de largo plazo)

P_C , es el precio de los contratos

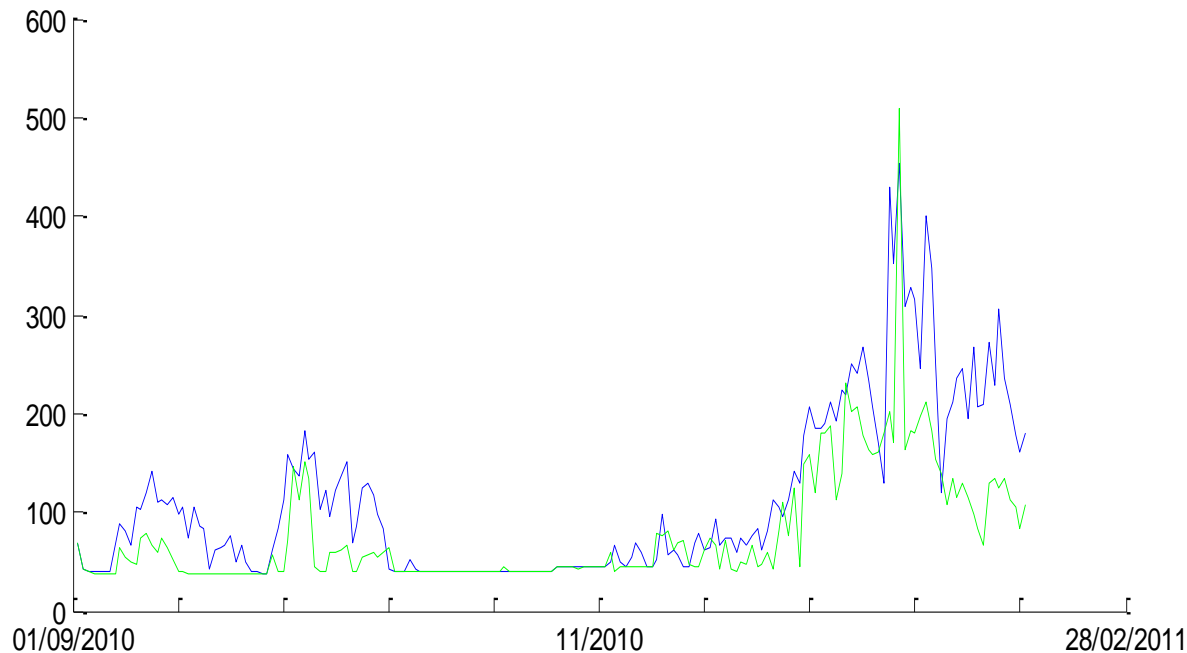
P_b , es el precio en bolsa

$CT_{i,L}$, es el costo total (medido por medio del CERE)

Incorporando el precio estimado en Bolsa

$$\Pi_{i,L,t} = [\alpha_t + \phi P_{t-1} * \exp^{\gamma_t} Q_t] * (Q_G - Q_C) + [P_C * Q_C] - CT_{i,L}$$

Resultados modelo de Cournot (el oligopolio incluye la térmica)



Mientras que el precio en bolsa promedio en la situación con menor nivel de contratos bilaterales fue de 111.26 \$/kWh, al aumentar el nivel de contratación en 10% el promedio del precio cae a 76.90 \$/kWh.

Agenda

- Motivación y Objetivo
- Experiencias internacionales sobre poder de mercado
- Consideraciones del MEM en Colombia
- Simulación del precio spot en el MEM utilizando una convolución (Filtro de Kalman)
 - Modelo para estimar el precio spot
 - Resultados de las estimaciones: precio spot y otros parámetros
- Estimación de beneficios a través de un modelo de Cournot que considera el mercado *spot* y el mercado de contratos de largo plazo
 - Modelo Cournot para la estimación de beneficios
 - Resultados de las estimaciones del modelo de Cournot
- **Consideraciones finales**

Conclusiones

- Dadas las características del pool eléctrico colombiano (alto componente tecnológico hidráulico) no es recomendable utilizar un IOR para intervenir los agente en el MEM.
- Es viable la utilización de un modelo estocástico para hacer seguimiento a los agentes en mercados eléctricos mayoristas, con el objeto de determinar comportamientos estratégicos en cantidades y precios.
- Evidencia por medio de un modelo de Cournot, como lo establece la teoría económica, cómo la implementación de un mayor nivel de contratación de largo plazo disminuye la volatilidad y el precio en bolsa.
- La implementación del Mercado Organizado Regulado (MOR) debería contribuir a la disminución del precio en bolsa. No obstante esto merece un examen más detallado, donde el diseño del mecanismo de la subasta es muy importante, ya que si no se realiza adecuadamente puede conllevar a una industria con mayor poder de mercado a pesar de una mayor contratación.

Conclusiones

- Otro aspecto no menos importante es la implementación de redes inteligentes que, entre otras cosas permitirían la generación distribuida de pequeñas unidades de generación y una mayor variedad en la matriz de generación, incluyendo las energías renovables. Por otra parte, las redes inteligentes darían lugar a un consumo más racional de la energía y a una participación activa de los pequeños consumidores aplanando la curva de consumo y disminuyendo los picos que dan lugar a una generación más costosa.

Poder de mercado en mercados spot de generación Eléctrica: metodología para su análisis

MUCHAS GRACIAS

Definición de variables

Variable	Definición
P_t	Precio en bolsa (promedio diario) definido en condiciones normales de operación, como el precio de oferta incremental más alto de las plantas flexibles programadas en el Despacho Ideal para la hora de liquidación. Su unidad de medida es \$/kWh.
α_t	Parámetro dinámico que captura los costos marginales (se toma el Costo Equivalente Real de Energía del Cargo por Capacidad (CERE), definido como el valor real del equivalente en unidades energéticas del Cargo por Capacidad, su unidad de medida es \$/kWh). También se incorporan otros eventos que pudieron generar cambios de nivel del precio, como el efecto del cambio climático, El Niño y La Niña, para lo cual se estima la mediana del precio en cada uno de estos periodos y se comparara con la mediana del precio presentada en el periodo inicial de la muestra. Las intervenciones del Ministerio de Minas y Energía, recogidas en la Resolución CREG 006 de 2009, se miden de la misma forma que las condiciones climáticas. A pesar de que se quisieron tener en cuenta las restricciones, no fue posible obtener una buena medida para capturar esta información.
D_t	Demanda real diaria, definida como diferencia entre la generación real del sistema y las pérdidas reales en el Sistema de Transmisión Nacional, está medida en GWh.
O_t	Cantidad generada por el oligopolio, incluye las 4 empresas más grandes de la industria para el escenario 1 y las 5 empresas más grandes de la industria para el escenario 2, ya que este incluye la empresa especializada en generación térmica, medida en GWh.
P_{t-1}	Precio en bolsa rezagado un periodo, medida es \$/kWh
Q_t	Cantidad generada por las minorías, correspondiente a las otras empresas restantes más pequeñas que desarrollan la actividad de generación en la industria, medida en GWh.