Comportamiento estratégico de las plantas generadoras en la bolsa de energía colombiana: pronósticos climatológicos y mantenimientos

Nicolás Gómez Parra*

Universidad de los Andes

Bogotá D.C., 2017

*Asesor: Rodrigo Taborda Ríos

Contenido

1. Introducción
2. Metodología
   - Marco teórico
   - Modelo empírico
   - Datos
3. Resultados
   - Modelo básico
   - Modelo con variables dependientes alternativas
   - Presencia de Fenómeno del Niño
4. Conclusiones
   - Resumen
   - Recomendaciones de política
   - Pasos a seguir

Contenido

1. Introducción
2. Metodología
   - Marco teórico
   - Modelo empírico
   - Datos
3. Resultados
   - Modelo básico
   - Modelo con variables dependientes alternativas
   - Presencia de Fenómeno del Niño
4. Conclusiones
   - Resumen
   - Recomendaciones de política
   - Pasos a seguir

La Bolsa de Energía (BE) es el mercado de corto plazo de energía en Colombia. Se caracteriza por:

1. Subasta multiunidad de precio uniforme para el día siguiente
   - Ofertas de las plantas: disponibilidad declarada horaria (kWh) y precio de venta diario ($/kWh). [1]
   - Oferta=Demanda (proyección de XM). [2]
2. "Libre competencia"
   - Precio de Escasez (PE) y Obligaciones de Energía Firme (OEF)
   - Fondos Sectoriales (CEE y FAZNI)
   - Reconciliaciones
3. Oligopolio
   - Sistema dominado por hidroeléctricas [3]
   - Precios más altos que en competencia perfecta (Cruz Rodriguez et al., 2013; García et al., 2015)
   - Demanda inelástica en el corto plazo (García et al., 2015)
   - Mercado complementario de largo plazo para contratos [4]

Figura 1: Ejemplo de las ofertas diarias de las firmas en la BE

INFORMACIÓN
DEL ARCHIVO

OFERTA DE ELECTRICIDAD
Oferta Inicial

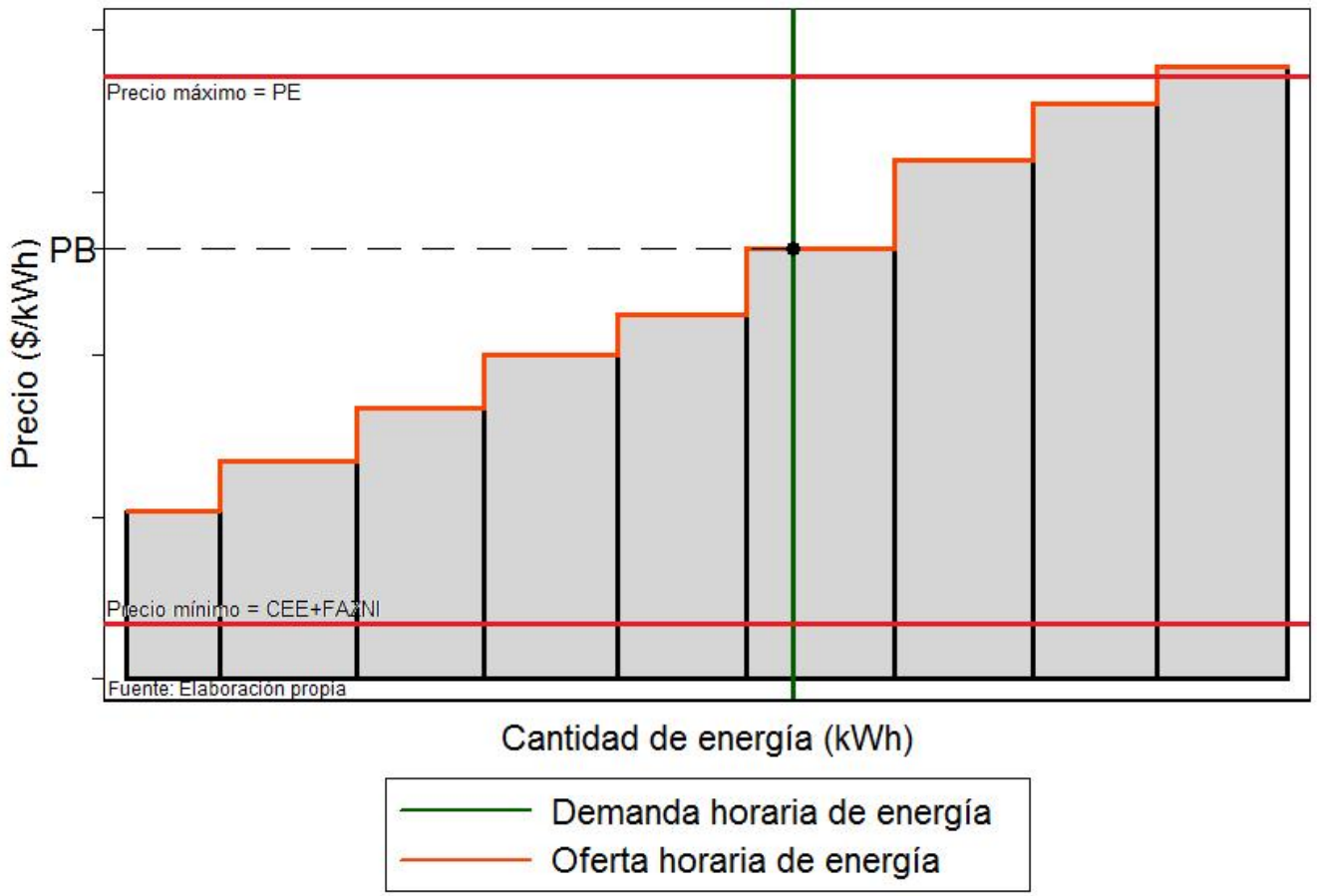
D: Disponibilidad(MWh) - **P:** Precio($/MWh) - **PAP:** Precio Arranque y Parada($) - **PAP1USD:** Precio Arranque y Parada en Dólares(USD) - **C:** Combustible(Tipo

Agente / Planta	Concepto	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Periodo 7	Periodo 8
Ofertas Iniciales para: 2017-03-06									
AGENTE: AES CHIVOR									
CHIVOR	P	55925							
CHIVOR1	D	0	0	0	0	0	0	0	0
CHIVOR2	D	0	0	0	0	0	0	0	0
CHIVOR3	D	0	0	0	0	0	0	0	0
CHIVOR4	D	0	0	0	0	0	0	0	0
CHIVOR5	D	125	125	125	125	125	125	125	125
CHIVOR6	D	125	125	125	125	125	125	125	125
CHIVOR7	D	125	125	125	125	125	125	125	125
CHIVOR8	D	125	125	125	125	125	125	125	125

La Bolsa de Energía (BE) es el mercado de corto plazo de energía en Colombia. Se caracteriza por:

1. Subasta multiunidad de precio uniforme para el día siguiente
   - Ofertas de las plantas: disponibilidad declarada horaria (kWh) y precio de venta diario ($/kWh). [1]
   - Oferta=Demanda (proyección de XM). [2]
2. "Libre competencia"
   - Precio de Escasez (PE) y Obligaciones de Energía Firme (OEF)
   - Fondos Sectoriales (CEE y FAZNI)
   - Reconciliaciones
3. Oligopolio
   - Sistema dominado por hidroeléctricas [3]
   - Precios más altos que en competencia perfecta (Cruz Rodriguez et al., 2013; García et al., 2015)
   - Demanda inelástica en el corto plazo (García et al., 2015)
   - Mercado complementario de largo plazo para contratos [4]

Figura 2: Esquema para calcular el Precio de Bolsa (PB) horario en la BE



La Bolsa de Energía (BE) es el mercado de corto plazo de energía en Colombia. Se caracteriza por:

1. Subasta multiunidad de precio uniforme para el día siguiente
   - Ofertas de las plantas: disponibilidad declarada horaria (kWh) y precio de venta diario ($/kWh). [1]
   - Oferta=Demanda (proyección de XM). [2]
2. "Libre competencia"
   - Precio de Escasez (PE) y Obligaciones de Energía Firme (OEF)
   - Fondos Sectoriales (CEE y FAZNI)
   - Reconciliaciones
3. Oligopolio
   - Sistema dominado por hidroeléctricas [3]
   - Precios más altos que en competencia perfecta (Cruz Rodriguez et al., 2013; García et al., 2015)
   - Demanda inelástica en el corto plazo (García et al., 2015)
   - Mercado complementario de largo plazo para contratos [4]

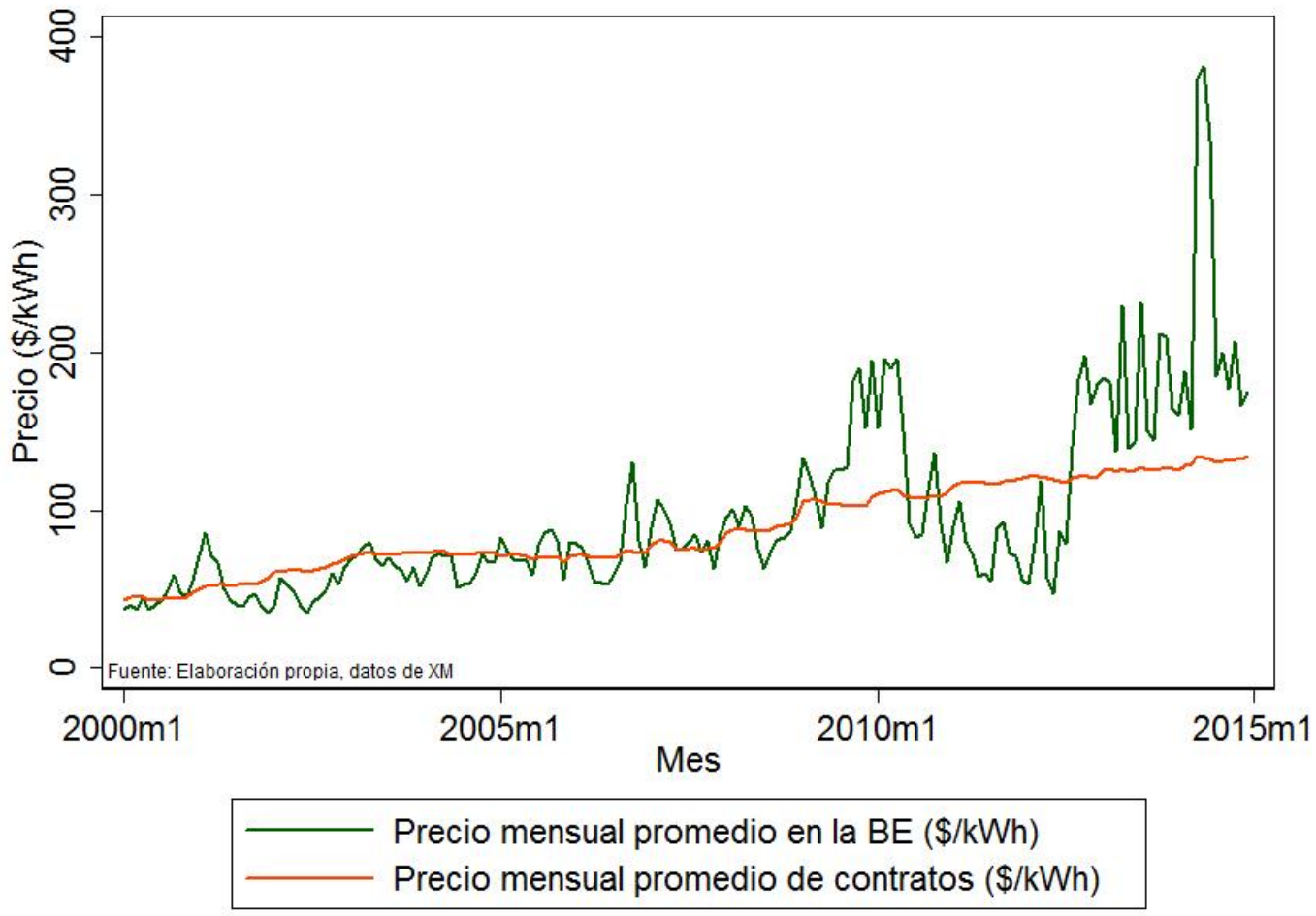
Figura 3: Capacidad instalada en el SIN por tipo de generación

Tipo de generación	Despachadas centralmente	No despachadas centralmente	Total
Hidráulica	10,892	661	11,553
Térmica	4,727	137	4,864
Cogeneración	-	93	93
Eólica	-	18	18
Total	16,529	910	17,440

La Bolsa de Energía (BE) es el mercado de corto plazo de energía en Colombia. Se caracteriza por:

1. Subasta multiunidad de precio uniforme para el día siguiente
   - Ofertas de las plantas: disponibilidad declarada horaria (kWh) y precio de venta diario ($/kWh). [1]
   - Oferta=Demanda (proyección de XM). [2]
2. "Libre competencia"
   - Precio de Escasez (PE) y Obligaciones de Energía Firme (OEF)
   - Fondos Sectoriales (CEE y FAZNI)
   - Reconciliaciones
3. Oligopolio
   - Sistema dominado por hidroeléctricas [3]
   - Precios más altos que en competencia perfecta (Cruz Rodriguez et al., 2013; García et al., 2015)
   - Demanda inelástica en el corto plazo (García et al., 2015)
   - Mercado complementario de largo plazo para contratos [4]

Figura 4: Precios en la BE vs Precios de contratos



La Bolsa de Energía (BE) es el mercado de corto plazo de energía en Colombia. Se caracteriza por:

1. Subasta multiunidad de precio uniforme para el día siguiente
   - Ofertas de las plantas: disponibilidad declarada horaria (kWh) y precio de venta diario ($/kWh). [1]
   - Oferta=Demanda (proyección de XM). [2]
2. "Libre competencia"
   - Precio de Escasez (PE) y Obligaciones de Energía Firme (OEF)
   - Fondos Sectoriales (CEE y FAZNI)
   - Reconciliaciones
3. Oligopolio
   - Sistema dominado por hidroeléctricas [3]
   - Precios más altos que en competencia perfecta (Cruz Rodriguez et al., 2013; García et al., 2015)
   - Demanda inelástica en el corto plazo (García et al., 2015)
   - Mercado complementario de largo plazo para contratos [4]

Examinar situaciones asociadas a cambios en el comportamiento de las firmas:

1. Los pronósticos de comportamiento climatológico.
2. Los mantenimientos técnicos de las plantas de generación de la competencia.

¿Por qué?

- Eventos asociados a PB más altos. [7]
- No deberían afectar sus costos directos.
- Variables observadas en la práctica.
- Información completa y continua.
- Estudiar el comportamiento de la oferta. [8;9]

La hipótesis presentada en el artículo se puede dividir en 3 partes:

- Decisiones óptimas asociadas a eventos exógenos que no están en los modelos usuales.
- Las situaciones que considero son: la llegada de nuevos pronósticos climatológicos, y los días en que las plantas con mayor capacidad entran en mantenimiento.
- Las desviaciones de los agentes aumentan las diferencias entre lo esperado bajo el diseño actual del mercado y lo que realmente ocurre.

Los aspectos más importantes de la literatura para esta investigación se pueden resumir así:.

1. Las firmas de generación se comportan estratégicamente en los mercados eléctricos (Von Der Fehr & Harbord, 1993; Green & Newbery, 1992; Wolfram, 1998).
2. En el caso colombiano, también existe comportamiento estratégico y los precios de la energía son ineficientes (Stacchetti, 1999; Espinosa, 2009; Espinosa & Riascos, 2010; Balat et al.,2015).
3. La literatura es escasa para los eventos propuestos:
   - Huurman, Ravazzolo, y Zhou (2012) utilizan variables de pronóstico climatológico.
   - No hay investigaciones que utilicen los mantenimientos de otras plantas.

Las metodologías a utilizar son las usuales para panel de datos:

- Mínimos cuadrados ordinarios (Pooled OLS)
- Modelo de efectos aleatorios (RE)
- Modelo de efectos fijos (FE)

Los cuales se van a aplicar sobre 3 diferentes muestras: todas las firmas, solo hidroeléctricas, y solo termoeléctricas.

Los resultados muestran que:

1. Las empresas oferentes de energía cambian sus ofertas ante los anuncios de la llegada de un Fenómeno del Niño en el futuro y ante los mantenimientos de las plantas con mayor capacidad.
   - Variables estratégicas dentro de la maximización de ganancias.
   - Ganancias esperadas mayores por aumentos en el precio final.
2. Las plantas hidroeléctricas reaccionan a estas situaciones de forma diferente que las termoeléctricas.
   - Riesgo asociado a las condiciones futuras del sistema.
3. Los resultados cambian según la forma en la que se mida la variable dependiente y perduran durante episodios de Fenómeno del Niño.
   - Las hidroeléctricas ajustan sus ofertas a largo plazo.
   - Las térmicas reaccionan en el corto plazo.
   - Importancia del tipo de generación dominante.

Contenido

1. Introducción
2. Metodología
   - Marco teórico
   - Modelo empírico
   - Datos
3. Resultados
   - Modelo básico
   - Modelo con variables dependientes alternativas
   - Presencia de Fenómeno del Niño
4. Conclusiones
   - Resumen
   - Recomendaciones de política
   - Pasos a seguir

Hortaçsu & Puller (2008)

El modelo tiene las siguientes características:

1. Subasta multiunidad de precio uniforme.
2. Modelo estático de competencia horaria.
3. Función objetivo de las firmas: maximizar beneficios.
4. Existencia de un mercado de contratos de largo plazo, e incertidumbre en el precio final de bolsa.
5. Aplicado en el caso colombiano (Espinosa, 2008; Balat et al., 2015)[1]

[1] También para mercados similares, i.e. Bustos-Salvagno(2015) en Chile

Existen N firmas generadoras que emiten simultáneamente en cada t una curva de oferta $S_{it}(p, CC_{it})$. Una vez se emiten todas las ofertas de los agentes, el precio de bolsa PB_t se calcula al igualar la oferta con la demanda. Es decir,

$$\sum_{i=1}^{N} S_{it}(p, CC_{it}) = D_t^R(PB_t)$$

En busca de caracterizar un Equilibrio Nash Bayesiano (ENB) por la existencia de incertidumbre en el mercado, las firmas buscan maximizar el valor esperado de las ganancias ex post de las firmas ante las diferentes posibles realizaciones del PB_t. En particular se enfrentan al siguiente problema,

$$\max_{\hat{S}_{it}(p)} \int_{P_L}^{P_H} [\hat{S}_{it}(p)p - C_{it}(\hat{S}_{it}(p)) - (p - PC_{it})CC_{it}] \times dH_{it}(p, \hat{S}_{it}(p); CC_{it})$$

La elección óptima del individuo está caracterizada por la siguiente ecuación:

$$p - C'_{it}(S^*_{it}(p)) = (S^*_{it}(p) - CC_{it}) \frac{\frac{\partial}{\partial s} Pr(PB_t \leq p | CC_{it}, S^*_{it}(p))}{\frac{\partial}{\partial p} Pr(PB_t \leq p | CC_{it}, S^*_{it}(p))}$$

¿Cómo se verían afectadas por los pronósticos y por los mantenimientos las decisiones óptimas de las firmas?

$$\frac{\frac{\partial}{\partial s} Pr(PB_t \leq p | CC_{it}, S^*_{it}(p))}{\frac{\partial}{\partial p} Pr(PB_t \leq p | CC_{it}, S^*_{it}(p))} \tag{1}$$

1. Probabilidad de no entrar en despacho y cómo éste reacciona a cambios en el precio de oferta y en las cantidades ofertadas.
2. Eventos asociados a PB más altos [7], entonces los cambios en las ofertas estarían reduciendo esta probabilidad.
   - $\downarrow$ costos de aumentar las ofertas
   - $\uparrow$ beneficios esperados por buscar vender a un precio más alto

Aplicar OLS, RE, y FE a tres diferentes submuestras. Las variables a incluir en las regresiones cambian a partir de esto:[2]

$$\log P^{S}_{d,i} = \alpha + \gamma_X X + \beta W_{i,d} + \theta Y_d + \tau D_t + \pi Z_i + \epsilon_{d,i} \quad (2)$$

$$\log P^{Hidro}_{d,i} = \alpha^{Hidro} + \gamma^{Hidro}_X X + \beta^{Hidro} W_{i,d} + \theta Y_{i,d} + \tau^{Hidro} D_t + \pi^{Hidro} Z_i + \epsilon^{Hidro}_{d,i} \quad (3)$$

$$\log P^{Termo}_{d,i} = \alpha^{Termo} + \gamma^{Termo}_X X + \beta^{Termo} W_{i,d} + \tau^{Termo} D_t + \pi^{Termo} Z_i + \epsilon^{Termo}_{d,i} \quad (4)$$

Aquí $X \in \{Manten._d, Pronost._m\}$ y los parámetros de interés son los: γ_X, γ^{Hidro}_X y γ^{Termo}_X.

[2] La variable Z_i son efectos fijos por planta y solo aplican para la estimación por FE. D_t hace referencia a efectos fijos año/mes.

Las variables de control adicionales en las ecuaciones (2), (3) y (4) se presentan a continuación:

Figura 5: Variables de control

Matriz	No.	Variables
$W_{i,d}$	1.1	Log del promedio de las ofertas horarias en el día d de la disponibilidad de la planta i
	1.2	Log del promedio de la generación efectiva horaria en el día d de la planta i
	1.3	Cuadrado del log del promedio de la generación efectiva horaria en el día d de la planta i
	1.4	Log del promedio de ventas en contratos horarios en el día d de la planta i
	1.5	Interacción entre la variable 1.1 y la variable 1.4
	1.6	Log del promedio de reconciliaciones positivas horarias en el día d de la planta i
	1.7	Log del promedio de reconciliaciones negativas horarias en el día d de la planta i
Y_d	2.1	Log de la capacidad de producción de energía del SIN según sus niveles de los ríos en el día d
	2.2	Log de la capacidad de producción de energía del SIN según sus niveles de embalses en el día d
	2.3	Interacción entre la variable 2.1 y la variable 2.2
$Y_{i,d}$	3.1	Log de la capacidad de producción de energía de la planta i, en el día d, según el nivel de agua en el río que la abastece
	3.2	Log de la capacidad de producción de energía de la planta i, en el día d, según el nivel de agua en el embalse que la abastece
	3.3	Interacción entre la variable 3.1 y la variable 3.2

Notas: Las variables de control se encuentran en logaritmo teniendo en cuenta la diferencia en escalas entre las diferentes variables. Igualmente, aunque algunas variables están en frecuencia horaria, se decidió utiliza los promedios diarios para hacerlos comparables con la variable dependiente que se encuentra con frecuencia diaria.

La información obtenida conforma un panel diario de 15 años en total[3], desde el 1 de enero de 2000, hasta el 31 de diciembre de 2014. Las fuentes son:

XM (2000-2014)

Ofertas de las firmas, mantenimientos, generación, precio de bolsa, ventas en contratos, demanda hidrología (reservas de los embalses y aportes de los ríos), precio de escasez, FAZNI y CEE.

International Research Institute for Climate and Society

IRI ENSO Forecast - IRI (2005 a 2014)

National Oceanic & Atmospheric Administration - NOAA:

Multivariate ENSO Index - MEI (2000 a 2014)

[3]Se reduce a 10 años, para las estimaciones de pronósticos climatológicos.

Figura 6: Estadísticas descriptivas de las variables por tipo de generación y totales

Variable	Indicador	Unidades	Media (Desviación estándar)			Observaciones		
			Térmicas	Hidráulicas	Total	Térmicas	Hidráulicas	Total
Precio de oferta diario	Precio de oferta por planta	$/kWh	361.9 (348.4)	158.8 (330.4)	285.2 (355.6)	154,187	93,690	247,877
Disponibilidad declarada	Promedio horario por día y planta	kWh	117,232.4 (138,903.2)	441,938.4 (318,291.6)	239,961.4 (274,010.4)	154,187	93,690	247,877
Generación	Promedio horario por día y planta	kWh	42,090.5 (104,071.9)	254,412.7 (254,847.4)	122,341.9 (204,655.8)	154,187	93,690	147,368
Venta de contratos	Promedio horario por día y planta	kWh	435,807.7 (465,485.2)	797,849.8 (502,149.5)	572,648.7 (510,785.5)	154,187	93,690	247,877
Reconciliación positiva	Promedio horario por día y planta	kWh	17,002.5 (63,919.1)	14,445.1 (42,880.7)	16,035.9 (56,902.7)	154,187	93,690	247,877
Reconciliación negativa	Promedio horario por día y planta	kWh	1,619.5 (10,602.5)	56,146.4 (111,721.0)	22,229.0 (74,071.4)	154,187	93,690	247,877
Precio de Bolsa Nacional	Promedio horario por día	$/kWh	NA	NA	101.0 (63.6)	NA	NA	247,877
Precio de Escasez	Precio mensual fijo	$/kWh	NA	NA	371.7 (83.8)	NA	NA	143,031
FAZNI	Precio mensual fijo	$/kWh	NA	NA	1.1 (0.2)	NA	NA	247,877
CEE	Precio mensual fijo	$/kWh	NA	NA	28.6	NA	NA	247,877

Contenido

1. Introducción
2. Metodología
   - Marco teórico
   - Modelo empírico
   - Datos
3. Resultados
   - Modelo básico
   - Modelo con variables dependientes alternativas
   - Presencia de Fenómeno del Niño
4. Conclusiones
   - Resumen
   - Recomendaciones de política
   - Pasos a seguir

Cuadro 1: Resultados de regresión utilizando como variable de interés los pronósticos de Fenómeno del Niño

	Completa			Hidroeléctricas			Termoeléctricas		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	OLS	FE	RE	OLS	FE	RE	OLS	FE	RE
(Log) Pred. Niño 8 meses	0.414***	0.382***	0.382***	0.823***	0.806***	0.805***	0.150***	0.097	0.097
	(0.026)	(0.098)	(0.098)	(0.048)	(0.151)	(0.151)	(0.028)	(0.099)	(0.099)
Constante	98.64***	86.03***	86.02***	43.55***	45.49	45.47	112.4***	88.58***	88.58***
	(7.05)	(15.86)	(15.86)	(11.89)	(30.07)	(30.08)	(8.3)	(15.6)	(15.6)
Observaciones	176,776	176,776	176,776	63,548	63,548	63,548	113,228	113,228	113,228

Los errores estándar robustos de la estimación se presentan en paréntesis. Todas las estimaciones incluyen controles y efectos fijos de tiempo. ***p<0.1, **p<0.05, *p<0.1

La variable de pronósticos del Niño tiene un coeficiente significativo y positivo en las ofertas de precios de las firmas de generación.

- Un cambio de 1 % en las proyecciones del IRI está asociado a cambios de 0,4 % en las ofertas de las generadoras.
- Para las plantas termoeléctricas el coeficiente se reduce a solo un 0,1 % y para algunas estimaciones no es significativo.
- Las hidroeléctricas parecen representar la mayor parte del efecto encontrado para toda la muestra, con un coeficiente asociado a cambios de 0.8 %.

Diferentes canales podrían explicar estos resultados

- Precios finales mayores = mayores ganancias
- Entrar en despacho ante la contracción de la oferta de las hídricas
- Cubrimiento del riesgo ante la llegada del Niño

Cuadro 2: Resultados de regresión utilizando como variable de interés las salidas a mantenimiento de las 6 plantas con mayor capacidad

	Completa			Hidroeléctricas			Termoeléctricas		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	OLS	FE	RE	OLS	FE	RE	OLS	FE	RE
Manten. grandes plantas	-0.002***	-0.002***	-0.002***	-9.42E-05	-0.001	-0.001	-0.002***	-0.002***	-0.002***
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.001)	(0.001)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Constante	64.74***	59.40***	59.43***	51.12***	49.23**	49.21**	75.97***	66.77***	66.84***
	(5.174)	(12.82)	(12.81)	(8.554)	(23.35)	(23.35)	(6.173)	(1.000)	(1.000)
Observaciones	247,877	247,877	247,877	93,690	93,690	93,690	154,187	154,187	154,187

Los errores estándar robustos de la estimación se presentan en paréntesis. Todas las estimaciones incluyen controles y efectos fijos de tiempo. ***p<0.1, **p<0.05, *p<0.1

La variable de mantenimientos también muestra resultados significativos:

- Las plantas de generación reducen hasta en un 0,2 % sus ofertas con una hora adicional de mantenimiento.
- Las hídricas parecen no reaccionar a estos eventos, mientras que las térmicas parecerían reducir sus precios de venta en un 0,2 %.

La dinámica en este caso se explicaría de la siguiente manera:

- Las termoeléctricas encuentran que los momentos en que pueden entrar en operación son precisamente cuando las firmas más grandes salen del mercado y el PBN aumenta por la contracción de la oferta.
- Las firmas compiten entre ellas, reduciendo sus ofertas, en busca de entrar en el despacho durante estas situaciones.

Se proponen las siguientes variaciones en la variable dependiente de las ecuaciones (2), (3) y (4):

1. Medida de retornos:
$$\ln\left(\frac{P_{i,d}}{P_{i,d-1}}\right)$$
2. Oferta de precios estandarizada por firma y mes
$$\frac{P_{i,d} - \overline{P_{i,m}}}{\sigma_{P_{i,m}}}$$

Se busca analizar qué causa cambios en las ofertas en el corto plazo.

Cuadro 3: Resultados de las regresiones al utilizar como variable dependiente el cambio porcentual de las ofertas de las plantas

Variable dependiente: medida de retornos/cambio porcentual diario de las ofertas de las generadoras

		Completa			Hidroeléctricas			Termoeléctricas		
		(1) OLS	(2) FE	(3) RE	(4) OLS	(5) FE	(6) RE	(7) OLS	(8) FE	(9) RE
	(Log) Pred. Niño 8 meses	0.020**	0.022**	0.021***	0.014	0.015	0.014	0.009	0.011**	0.009**
		(0.008)	(0.008)	(0.008)	(0.021)	(0.020)	(0.020)	(0.006)	(0.004)	(0.004)
(A)	Constante	0.412	1.360	1.085	-6.055	-5.222	-5.700	2.013	2.759**	2.079
		(1.979	(1.738)	(1.548)	(4.720)	(4.085)	(3.815)	(1.442)	(1.303)	(1.129)
	Observaciones	176,772	176,772	176,772	63,546	63,546	63,546	113,226	113,226	113,226
	Manten. grandes plantas	-0.0002*	-0.0002**	-0.0002***	0.001**	0.0001	0.001*	-0.0002**	-0.0002**	-0.0002**
		(0.000)	(0.00009)	(0.000076)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.00008	(1.000)	(1.000)
(B)	Constante	3.222**	2.699*	2.859**	1.040	-0.181	1.04	3.248***	3.697***	3.374***
		(1.437)	(1.550)	(1.399)	(3.234)	(4.361)	(3.754)	(1.207)	(1.074)	(0.89)
	Observaciones	247,818	247,818	247,818	93,670	93,670	93,670	154,148	154,148	154,148

Los errores estándar robustos de la estimación se presentan en paréntesis. Todas las estimaciones incluyen controles y efectos fijos de tiempo. ***p<0.1, **p<0.05, *p<0.1

Cuadro 4: Resultados de las regresiones al utilizar como variable dependiente el cambio porcentual de las ofertas de las plantas

Variable dependiente: ofertas de precio estandarizadas mensualmente

		Completa			Hidroeléctricas			Termoeléctricas		
		(1) OLS	(2) FE	(3) RE	(4) OLS	(5) FE	(6) RE	(7) OLS	(8) FE	(9) RE
	(Log) Pred. Niño 8 meses	0.152***	0.176***	0.162***	0.001	0.017	0.001	0.163***	0.214***	0.204***
		(0.035)	(0.056)	(0.051)	(0.051)	(0.075)	(0.069)	(0.045)	(0.072)	(0.071)
(C)	Constante	-37.99***	-27.34*	-33.76**	-98.97***	-91.92***	-98.97***	-13.57	-0.96	-3.47
		(8.805)	(14.11)	(13.57)	(13.12)	(19.12)	(15.88)	(11.26)	(1.000)	(16.58)
	Observaciones	164,222	164,222	164,222	62,665	62,665	62,665	101,557	101,557	101,557
	Manten. grandes plantas	-0.002***	-0.002	-0.002	0.005***	0.003	0.005***	-0.004***	-0.004**	-0.004*
		(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.002)	(0.002)	(0.000)	(0.002)	(0.002)
(D)	Constante	-17.29**	-18.61*	-17.29*	-52.03***	-59.00***	-52.03***	-8.191	-2.629	-8.191
		(7.036)	(10.24)	(9.11)	(10.29)	(17.22)	(13.15)	(9.18)	(12.27)	(11.83)
	Observaciones	228,033	228,033	228,033	92,362	92,362	92,362	135,671	135,671	135,671

Los errores estándar robustos de la estimación se presentan en paréntesis. Todas las estimaciones incluyen controles y efectos fijos de tiempo. ***p<0.1, **p<0.05, *p<0.1

Los resultados muestran que:

1. Se encuentra que cambios de 1 % en las predicciones del Niño, están asociadas a un aumento en 0.002σ en las ofertas de las térmicas en ese mes. Las hidroeléctricas no reaccionarían con esta medida.
2. Los horarios de mantenimiento están asociados a una caída de 0.02 % en las ofertas de las térmicas, usando la medida de retornos.

Las explicaciones para esto serían:

1. Firmas hidroeléctricas hacen ajustes a sus expectativas climatológica en el mediano y largo plazo.
   - Aumentando sus reservas en los embalses.
   - Contrayendo su oferta de generación
2. Para las termoeléctricas, aumentan la competencia en el corto plazo en busca de entrar en el despacho de energía.

¿Qué pasa en situaciones en las que el mercado está restringido? Por ejemplo, durante un Fenómeno del Niño.

- Para ver esto, se restringe la muestra únicamente a aquellos meses en los que se presenta un Niño moderado o fuerte en el país.[4]
- Cambios en la oferta aumentarían aún más los precios finales.

[4] Multivariate ENSO Index (MEI) de 54 a 67.

Cuadro 5: Resultados de las regresiones al utilizar como variable dependiente el cambio porcentual de las ofertas de las plantas

Variable dependiente: (Log) Precios de oferta de energía de las generadoras

		Completa			Hidroeléctricas			Termoeléctricas		
		(1) OLS	(2) FE	(3) RE	(4) OLS	(5) FE	(6) RE	(7) OLS	(8) FE	(9) RE
	(Log) Pred. Niño 8 meses	0.224***	0.271***	0.270***	-0.483***	-0.393***	-0.393***	0.667***	0.746***	0.744***
		(0.0799)	(0.0663)	(0.0663)	(0.156)	(0.132)	(0.132)	(0.0839)	(0.0658)	(0.0659)
(A)	Constante	-0.583	1.644	1.713	10.51	-1.804	-1.751	3.683	7.894	7.993
		(15.23)	(12.63)	(12.63)	(29.45)	(24.8)	(24.8)	(16.07)	(12.6)	(12.62)
	Observaciones	41,336	41,336	41,336	14,684	14,684	14,684	26,652	26,652	26,652
	(Log) Pred. Niño 0 meses	0.260***	0.255***	0.255***	-0.18	-0.0953	-0.0957	0.493***	0.472***	0.473***
		(0.0658)	(0.0546)	(0.0546)	(0.128)	(0.128)	(0.128)	(0.0693)	(0.0544)	(0.0545)
(B)	Constante	-8.396	-5.371	-5.34	11.92	-2.685	-2.619	3.248***	-2.27	-2.245
		(15.42)	(12.79)	(12.79)	(29.83)	(25.12)	(25.12)	(16.29)	(12.78)	(12.8)
	Observaciones	41,336	41,336	41,336	14,684	14,684	14,684	26,652	26,652	26,652
	Manten. grandes plantas	0.00107	0.000804	0.000806	-0.00013	8.41E-05	7.82E-05	0.00135	0.00124	0.00124
		(0.0019)	(0.0016)	(0.0016)	(0.0037)	(0.00327)	(0.00327)	(0.00205)	(0.0016)	(0.0016)
(C)	Constante	-6.827	-6.993	-7.003	-12.94	-20.17	-20.13	11.41	10.89	10.91
		(10.34)	(8.849)	(8.85)	(13.12)	(17.4)	(17.4)	(11.21)	(9.004)	(9.012)
	Observaciones	58,425	58,425	58,425	21,010	21,010	21,010	37,415	37,415	37,415

Los errores estándar robustos de la estimación se presentan en paréntesis. Todas las estimaciones incluyen controles y efectos fijos de tiempo. ***p<0.1, **p<0.05, *p<0.1

Cuadro 6: Resultados de las regresiones al utilizar como variable dependiente el cambio porcentual de las ofertas de las plantas

Variable dependiente: (Log) Precios de oferta de energía de las generadoras

		Completa			Hidroeléctricas			Termoeléctricas		
		(1) OLS	(2) FE	(3) RE	(4) OLS	(5) FE	(6) RE	(7) OLS	(8) FE	(9) RE
	(Log) Pred. Niño 8 meses	-0.178**	-0.251***	-0.205**	0.654***	0.806***	0.654***	-0.570***	-0.748***	-0.670***
		(0.0805)	(0.0782)	(0.0798)	(0.118)	(0.114)	(0.118)	(0.104)	(0.103)	(0.103)
(D)	Manten. grandes plantas	0.0143***	0.0136**	0.0140**	-0.0182**	-0.0164**	-0.0182**	0.0357***	0.0339***	0.035***
		(0.0055)	(0.0053)	(0.0054)	(0.0081)	(0.0078)	(0.0081)	(0.0071)	(0.007)	(0.007)
	Predicc.×Mantenim.	-0.0404**	-0.0383**	-0.0395**	0.041	0.0338	0.041	-0.0950***	-0.0881***	-0.0910***
		(0.0178)	(0.0173)	(0.0177)	(0.0259)	(0.025)	(0.0259)	(0.0231)	(0.0228)	(0.0229)
	Constante	-45.45**	-47.63***	-46.35***	-24.17	-30.28	-24.17	-43.10*	-51.34**	-47.71**
		(17.92)	(17.39)	(17.75)	(25.96)	(25.08)	(25.96)	(23.23)	(22.94)	(23.07)
	Observaciones	38,199	38,199	38,199	14,561	14,561	14,561	23,638	23,638	23,638

Los errores estándar robustos de la estimación se presentan en paréntesis. Todas las estimaciones incluyen controles y efectos fijos de tiempo. ***p<0.1, **p<0.05, *p<0.1

Los resultados muestran que:

1. Las ofertas de las plantas están relacionadas positivamente con aumentos en la probabilidad de existencia de Fenómeno del Niño en 8 meses.
2. El coeficiente es mayor para las termoeléctricas y se hace negativo para las hidroeléctricas.
3. No hay una relación significativa entre la salida de mantenimiento de las firmas con mayor capacidad y el comportamiento de los agentes.

Las explicaciones para esto serían:

1. Esto se puede entender como la oportunidad que tienen las termoeléctricas de aumentar el precio final de la energía, cuando la probabilidad de no entrar en el despacho al aumentar sus ofertas es baja por las restricciones en las que se encuentra el sistema.
2. Una mayor probabilidad de Niño dentro de 8 meses les da a entender que las hidroeléctricas seguirán contrayendo su oferta ante la posibilidad de una nueva llegada del Niño.
3. Por otra parte, las hidroeléctricas al encontrarse en una situación en la que ya tienen restringida su generación en la BE disminuyen sus ofertas de precio al actualizar su información de Niño.

Contenido

1. Introducción
2. Metodología
   - Marco teórico
   - Modelo empírico
   - Datos
3. Resultados
   - Modelo básico
   - Modelo con variables dependientes alternativas
   - Presencia de Fenómeno del Niño
4. Conclusiones
   - Resumen
   - Recomendaciones de política
   - Pasos a seguir

Los resultados muestran que:

1. Las empresas oferentes de energía cambian sus ofertas ante los anuncios de la llegada de un Fenómeno del Niño en el futuro y ante los mantenimientos de las plantas con mayor capacidad.
   - Variables estratégicas dentro de la maximización de ganancias.
   - Ganancias esperadas mayores por aumentos en el precio final.
2. Las plantas hidroeléctricas reaccionan a estas situaciones de forma diferente que las termoeléctricas.
   - Riesgo asociado a las condiciones futuras del sistema.
3. Los resultados cambian según la forma en la que se mida la variable dependiente y perduran durante episodios de Fenómeno del Niño.
   - Ajustes de las firmas hidroeléctricas en el mediano y largo plazo.
   - Las térmicas reaccionan en el corto plazo.

- Respaldan la administración que debe hacer XM.
- Comportamientos inherentes al diseño del mercado y al tipo de subasta.
- Estos eventos tienen en común que son choques de información, pueden no ser los únicos en su tipo.

Un ejercicio práctico da cuenta del tamaño de los efectos que tienen los cambios de ofertas en la BE:

- Una desviación estándar de las ofertas de las firmas equivale a $124.71
- Teniendo en cuenta que en promedio una planta de generación ofrece 239.961,61 kW/h. El efecto en sus ingresos variaría entre -$2'483.963,81 y $7'894.553,251 solo en una hora. Asumiendo variaciones positivas en las variables de control y que se liquidara en el mercado su precio de oferta.

Algunas cosas para resaltar:

1. Componente dinámico y repetido del mercado, desde un punto de vista teórico.
   - Balat et al. (2015)
2. Colisiones/movimientos coordinados
   - Se discute en el documento, pero no a profundidad
3. Estructura de los datos y panel de series de tiempo
   - Componente dinámico

Anexos

Figura 7: Tabla de correlaciones del precio de oferta y del PBN con las medidas de anuncios y de mantenimiento

Variable	Coeficiente de correlación con las ofertas de precio de las generadoras	Coeficiente de correlación con el PBN/hora
Proyecciones del Niño para el trimestre que comienza en 9 meses	0.0243*** [180,000]	0.342*** [130,000]
Días en que al menos una de las 6 primeras firmas con mayor capacidad entra en mantenimiento	-0.0038* [250,000]	0.0805*** [87,648]

El número de observaciones se presenta entre brackets. * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Figura 8: Tabla de correlación del PBN con sus fundamentales y con el promedio de los precios de oferta

Variable	Coeficiente de correlación con el precio final de bolsa horario (PB)
Promedio diario de las ofertas de precio de las generadoras en la BE ($/kWh)	0.3889***
Promedio diario de los niveles de agua en los ríos del SIN (kWh)	-0.1582***
Promedio diario de los niveles de agua en los embalses del SIN (kWh)	-0.4216***
Promedio horario de la disponibilidad declarada de las generadoras en la BE (kWh)	-0.4321***
No. de observaciones	130,000

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

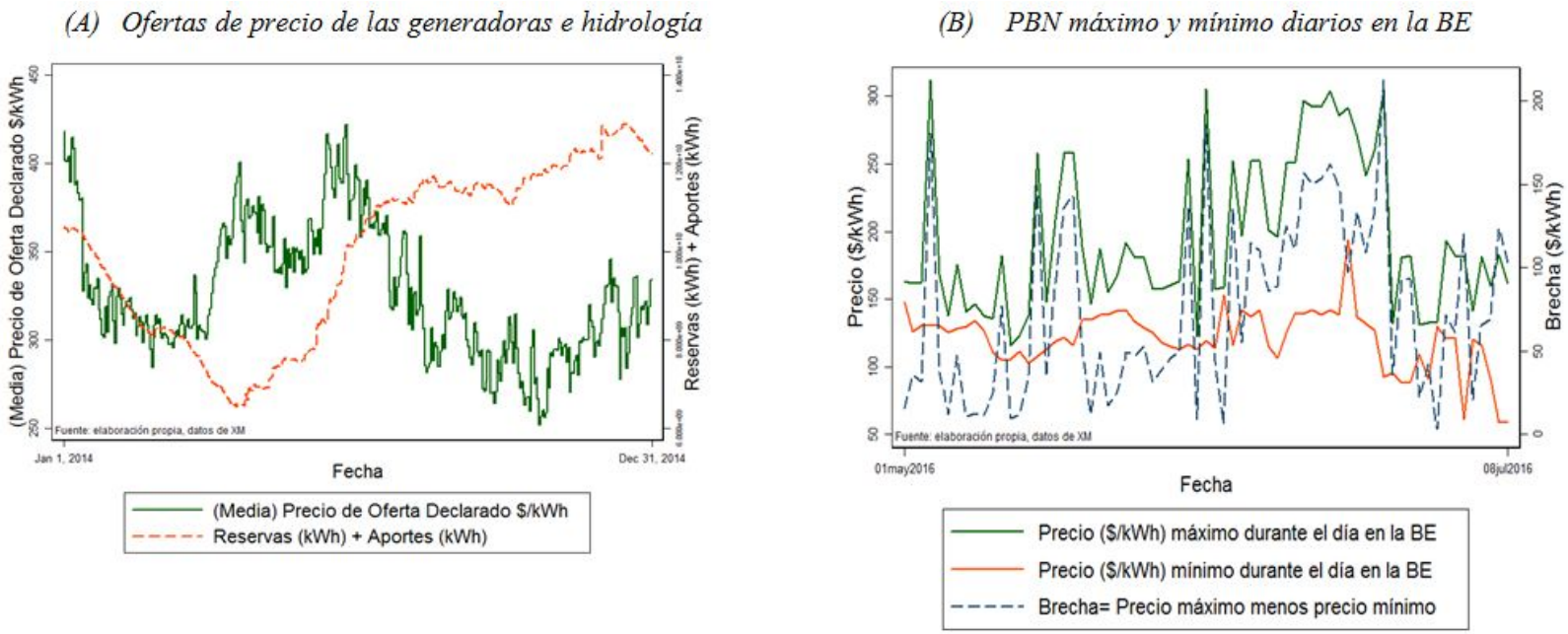



Figura 9: Oportunidades de arbitrajes de los oferentes y variaciones en sus ofertas de precio