

BSERVATORIO Colombiano de Energía

Publicación trimestral

enero • marzo 2008

El Observatorio Colombiano de Energía (OCE) hace parte del Centro de Investigaciones para el Desarrollo (CID) de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y funciona en asocio con las Facultades de Ingeniería y Ciencias Económicas de la Universidad Nacional en Bogotá, y con la Facultad de Minas de la Universidad Nacional en Medellín. Los profesores e investigadores participantes son expertos, consultores y analistas de la coyuntura minero-energética y de la modelación de los mercados energéticos.

Este Boletín está clasificado en la Categoría C de Colciencias.

Editor

Germán Corredor Avella
Profesor Asociado
Universidad Nacional de Colombia

Coordinador Editorial

Raúl Ávila Forero

Asistente Editorial

Diana Caruso López

Comité Editorial

Klaus Binder

Carmenza Chahín

Isaac Dyer

Mario García

Astrid Martínez

Héctor Pistonesi (Bariloche)

Alicia Puyana (Flacso México)

Philip Wright (Universidad Sheffield)

**Decano Facultad
de Ciencias Económicas**

Álvaro Zerda Sarmiento

Vicedecano Académico

Gustavo Junca

Director del CID

Germán Umaña Mendoza

Subdirectora del CID

Adriana Rodríguez Castillo

**Observatorio Colombiano
de Energía**

CII 26 A No 37A-10

Bogotá, D.C. Colombia

Teléfono: (57) (1) 3684821, ext. 102/107

Página web

www.cid.unal.edu.co

Correo electrónico

obsce_bog@unal.edu.co

CID Centro de
Investigaciones
para el Desarrollo



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

Contenido

Editorial

Germán Corredor Avella

2

El gas como herramienta de política exterior rusa

Mariana Ruiz Tonelli

Mario García Molina

3

Economías computacionales basadas en agentes:

**Una aplicación a la oferta de Energía en el mercado
eléctrico colombiano.**

Andrés Delgadillo

Luis Eduardo Gallego Vega

12

Indicadores energéticos

25

Pautas para autores

31



Editorial

Los primeros meses del 2008 continúan con la tendencia de los últimos años de alza en los precios del petróleo. En el mes de marzo se sobrepasó la barrera de los US\$111 por barril. Los analistas pronostican que los altos precios continuarán por algún tiempo más, sin que se vislumbren luces de reducción del precio en el corto plazo.

Por otro lado, la situación de inestabilidad económica de los Estados Unidos y su impacto en la economía mundial está afectando la demanda de energía, con la consiguiente presión a la tendencia de la disminución de los energéticos. Esta situación muestra la incertidumbre que sobre los precios del petróleo y de sus sustitutos energéticos como el carbón y el gas natural en el mediano plazo.

Este contexto es muy complejo y afecta directamente los precios de los energéticos en el país. Por una parte la fórmula de precios de gasolina y ACPM está ligada al precio internacional y por otro, este escenario de altos precios ha impulsado al alza el precio del gas natural, situación que ya se siente en Colombia, como lo mostró la pasada subasta de gas del campo La Creciente. Esta situación también afecta los precios de la energía eléctrica en la medida en que las plantas térmicas son requeridas cada vez más por el sistema ante el crecimiento continuo de la demanda.

El tema del gas natural internacional dentro del contexto Ruso, es el artículo que aborda el Profesor Mario García y la internacionalista Mariana Ruiz en el primer artículo que se presenta en este número de la revista, con lo cual esperamos contribuir al debate entorno de la relación entre geopolítica y energía.

El otro artículo que publicamos en éste boletín trata el tema de economías computacionales basadas en agentes aplicado a la oferta del mercado eléctrico colombiano, que realizaron los ingenieros Luis Gallego y Andrés Delgadillo.

La privatización de las electrificadoras, la actividad exploratoria, el resultado de la subasta de energía firme, los precios internacionales, los programas de Uso Racional de Energía impulsados por el Ministerio y el uso de los Biocombustibles en el país serán algunos de los temas que definirán la agenda energética durante este año y que estaremos analizando en los próximos números de la revista.

Por otra parte esperamos seguir publicando los trabajos de grado de estudiantes de diferentes facultades sobre los temas relacionados con la economía de la energía. Consideramos esta una manera de incentivar a quienes inician la investigación y el análisis de estos temas.

Con la publicación de los indicadores energéticos que avanzamos en la consolidación del Observatorio y llenamos un vacío desde la academia en el seguimiento de las variables fundamentales de los diferentes sectores energéticos en el país.



El gas como herramienta de política exterior rusa

Mariana Ruiz Tonelli

Internacionalista. Universidad del Rosario.

Mario García Molina

Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia.
Profesor –investigador Universidad Externado de Colombia

Fecha de Recepción: 15 de Febrero de 2008 • Fecha de Aceptación: 18 de Marzo de 2008.

Resumen

Se estudia el papel de los elementos políticos en la determinación del precio de gas ruso para tres de sus vecinos. Se consideran dos importadores, Ucrania y Bielorrusia, y un importado, Turkmenistán. Para cada país se estudia si el manejo de los precios ha estado relacionado con el alineamiento en sus políticas externas con Rusia. Se encuentra la correlación esperada, lo cual sugiere que Rusia ha utilizado el precio del gas como una herramienta política.

Palabras clave:

Gas natural, Comercio exterior, Rusia, Turkmenistán.

Abstract

The role of political elements in determining Russian natural gas is studied for three of its neighbours. Two importers, Ukraine and Byelorussia, and an exporter, Turkmenistan, are considered. It is studied, for each country, the relation between gas prices and alignment with Russian foreign policy. A correlation in this sense is found, which provides evidence that gas prices have been used by Russia as a policy tool.

Keywords:

Natural gas, Foreign trade, Russia, Turkmenistan.

Clasificación JEL:

F14, F43, O24, Q48



Introducción

La Federación Rusa tiene un papel clave en el mundo del gas. No solo tiene la mayor cantidad de reservas de gas natural en el mundo (cerca de 30% según McKillop.2006¹) (Bahgat. 2001) si bien con una tendencia decreciente desde 1990 (Aslanyan et al. 2005), sino que es proveedor estratégico para la Unión Europea (Boussena et al. 2005). Ha sido ampliamente divulgado por los medios de comunicación el manejo discrecional que ha dado Rusia al gas en sus relaciones con otros países, en particular Ucrania. La atención ha estado fijada en dos factores, el abastecimiento a la Unión Europea (motivo de buena parte de los estudios), y la coyuntura política en el caso ucraniano. Ha sido menos estudiado el papel del gas en las relaciones de Rusia con los países de su órbita y hace falta distinguir un poco más entre los elementos políticos y económicos, si bien los dos están claramente relacionados.

Este artículo intenta profundizar en el papel del gas en la política exterior rusa, identificando si los intereses defendidos en la variación del precio del gas con los países de su órbita han sido predominantemente políticos o económicos (Boussena et al. 2005).

Se analizará el caso concreto de Bielorrusia, Ucrania y Turkmenistán desde 2000, puesto que cada uno de estos países representa para Rusia un interés particular ya sea con respecto a la venta, la compra o el transporte de gas por su territorio. Además, por ellos transitan los principales gasoductos que abastecen a Europa, que es el principal importador de gas natural proveniente de Rusia. En tercer lugar, los países estudiados hacen parte del escenario que la política exterior de la Federación Rusa considera como prioritario desde el 2000, a saber los países de Europa Central y Oriental y de la región de Asia Central que habían hecho parte del antiguo bloque soviético.

Metodología

La hipótesis de este estudio es que a partir de los nuevos lineamientos de política exterior de 28 de junio de 2000 se comenzaron a considerar los recursos, y por ende al gas, como un instrumento más de la política exterior de Rusia para la obtención de intereses fundamentalmente políticos; mecanismo que Rusia ha venido utilizando de forma diferenciada con Bielorrusia, Ucrania y Turkmenistán.

Para poder contestar a la hipótesis de que se parte, se analizarán dos variables: el precio de compra y venta del gas natural, y el nivel de alineamiento político de cada uno de estos países con Rusia.

Alineamiento, en este artículo es entendido como la convergencia que tienen los países sobre una misma tendencia ideológica o política.

Para efectos de analizar las diferentes dinámicas que se han venido presentando entre los países que compran o venden gas a Rusia, a continuación se estudiarán por separado los casos en que Rusia es el exportador de gas (Bielorrusia y Ucrania), de aquel en el que es el importador (Turkmenistán).

La hipótesis predice, para el caso de Bielorrusia y Ucrania, que el nivel de alineamiento de estos países con Rusia se comportaría de manera inversa al precio de compra del gas. Altos niveles de alineamiento coincidentes con precios altos (o bajos niveles de alineamiento con bajos precios) permitirían rechazar la hipótesis.

Para el caso de Turkmenistán, la hipótesis predice una relación directa entre las variables, es decir que si el alineamiento de este país con Rusia fuera alto el precio de compra de gas por parte de Rusia sería alto. Un alto nivel de alineamiento en conjunción con precios de compra de gas bajos (o bajo alineamiento y precios altos) permitiría rechazar la hipótesis.

Bielorrusia

Bielorrusia era considerado como el tradicional aliado de Rusia en la región durante el período soviético y la

1 Las cifras de reservas deben ser tomadas con cautela pues el sistema de clasificación ruso no es estrictamente comparable con el occidental (Poroskun et al. 2004).



década de 1990, pero en el presente siglo el acercamiento entre los dos países se ha visto estancado, y los procesos integracionistas adelantados en la década de 1990 no han vuelto a presentar ningún avance. Las razones de ello son diversas y van más allá de este estudio, pero a continuación se enunciarán las dos principales que han incidido para que las relaciones políticas y económicas con respecto a la venta de gas natural se hayan visto afectadas.

En primer lugar se encuentra el régimen autoritario que su presidente Alexander Lukashenko ha llevado a cabo desde su posesión en 1994. Este factor, y en especial la exacerbación de su régimen en los últimos años (Hancock, Kathleen. 2006) ha conducido a que tanto la política interna como la externa obedezcan a la voluntad del Jefe de Estado y su gobierno, pues al haber prácticamente censurado la oposición, nacionalizado los medios de comunicación y tenido prácticamente la mayoría en el parlamento (Goujon, Alexandra et al. 2005), actualmente es nulo el campo de acción que tienen los ciudadanos, las Organizaciones Internacionales y los países opositores al Presidente y su gobierno para hacer sentir su inconformidad.

En segundo lugar se encuentra que de las iniciativas integracionistas bilaterales que se presentaron durante la década de 1990 (Hancock, Kathleen. 2006), dentro de las que se encontraba principalmente la eliminación de aranceles, la libre circulación de bienes, servicios, trabajo, capitales, personas, la formación de un Consejo de Ministros, un Parlamento, una Corte Penal y una Constitución, Bielorrusia desde 1999, fecha en que se firmó la última iniciativa, aún no ha direccionado sus esfuerzos hacia la consecución de los últimos objetivos trazados, lo que ha implicado que las relaciones entre estos dos países hayan quedado estancadas, y que Vladimir Putin desde que asumió la presidencia se haya visto más propenso a adoptar medidas coercitivas que produzcan cierta presión sobre Bielorrusia y de esta forma definan el nivel de integración bilateral.

El hecho de mantener un régimen autoritario en el país se ha constituido en una de las barreras más grandes entre estos dos países, puesto que al no aceptar los postulados del libre mercado, y en especial la privatización de empresas, el caso concreto

de la venta del 50% de las acciones de la compañía estatal *Beltrangaz* a la empresa rusa *Gazprom* no ha tenido ningún éxito hasta la fecha, aspecto que ha molestado sobremanera a Putin, dado el interés que tiene Rusia en este país, pues "*Beltrangaz*, la compañía estatal encargada del sistema de gasoductos, transporta aproximadamente el 10% del gas que Rusia exporta hacia Europa centro-occidental" (Goujon et al, 64). Ante la negativa de Lukashenko de vender las acciones, la principal medida que adoptó el gobierno ruso para la época fue suspender el abastecimiento de gas natural a Bielorrusia durante un corto periodo de tiempo en febrero de 2004 hasta que se pactara una solución entre estos dos países con relación al establecimiento en la tarifa de gas natural; al concluir las negociaciones el precio pasó de \$20 por cada 1.000 mts cúbicos (Breault ; Jolicoeur y Levesque.96) a \$46.68 por cada 1.000 mts cúbicos, por un periodo de dos años (Goujon et al, 64).

Sumado a esto, en el 2004 se efectuó un referendo que amplió la posibilidad de ser reelegido presidente por tercera vez consecutiva, decisión que fue confirmada por la población en el 2006 ampliando su periodo a siete años. Todo indica que esta razón fue la que condujo aún más para que a finales del 2006 Putin decidiera aumentar de nuevo el precio de venta del gas, logrando un acuerdo entre los dos países de \$100 por 1.000 mts cúbicos a partir del 2007 y por cinco años (BBC, 2006).

Al ser cada vez más claros los problemas políticos entre estos dos países, Rusia se ha visto en la obligación de buscar nuevas alianzas con otros países para la construcción de gasoductos alternos al *Yamal – Europe*, que es el que actualmente se encuentra en funcionamiento y transporta el gas ruso hacia Alemania y los países Bálticos. El objetivo de estas alianzas ha sido permitir el transporte del gas natural ruso sin complicaciones ni interrupciones a estos destinos, y así mismo evitar la tarifa por el paso del gas por el territorio bielorruso, que en el 2006 también fue reajustada, pasando de \$0.75 a \$1.45 (Los Tiempos. 2007) por cada 1.000 mts cúbicos.

Es por lo anterior que en noviembre de 2005 las compañías *Gazprom (Rusia)*, *BASF (Alemania)* y *E.ON Ruhrgas AG (Alemania)* firmaron un contrato de



joint venture con una participación de 51%, 24.5% y 24.5%, respectivamente. El objetivo es la creación del *Northern European Gas Pipeline*, el cual está planeado para partir de la ciudad rusa de Vyborg, atravesando el Mar Báltico, llegando a la ciudad alemana de Greifswald y por último conducido hasta la ciudad de Bacton en Inglaterra (Nord Stream 2007). La fecha pactada por las partes para el inicio del tránsito del gas es el 2010 y, aparte de Alemania y Gran Bretaña como países directamente beneficiados de este recurso, también se busca crear la infraestructura necesaria para transportar el gas hacia Francia, Dinamarca, Holanda y Bélgica, lo que ayudaría a compensar la demanda energética de estos países.

El caso de Bielorrusia es un ejemplo tangible de cómo a pesar de haber sido el país de la región con el mayor nivel de integración con Rusia, desde la presidencia de Putin y ante la falta de resultados a corto plazo, el gobierno se ha visto en la obligación de llevar a cabo una diplomacia coercitiva que le demuestre a Lukashenko que la única forma para lograr la cooperación con Rusia es mediante la unión de esfuerzos.

La diplomacia coercitiva es entendida como una política de presión llevada a cabo por un Estado para alterar el comportamiento de otro Estado. La diplomacia coercitiva utiliza un rango de herramientas para utilizar esta presión, sin necesidad de llegar a la guerra (Goujon et al, 105)

Ciertamente una de las formas más claras como Rusia ha demostrado eso ha sido mediante la utilización del gas natural, y especialmente el incremento en su precio, como una herramienta de presión hacia Lukashenko y su gobierno para así definir su situación política y económica con Rusia, que básicamente consiste entre aliarse completamente con ella o simplemente ser tratado como otro país de la región.

Ucrania

Contrario al caso de Bielorrusia, desde 1991 las relaciones entre Rusia y Ucrania no se han consolidado con la misma intensidad como ocurrió en esa década con ese primer país. Las interacciones entre estos dos países se han caracterizado principalmente por un interés de Ucrania en la importación energética de Rusia, y correlativamente el interés geopolítico de

Rusia por el posicionamiento de Ucrania para el tránsito del gas natural hacia Europa. A continuación se enunciará cómo la intención de Ucrania de adherirse tanto a la Unión Europea como a la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) se constituyeron en los principales factores para que existiera un diferendo en las relaciones entre Rusia y Ucrania, implicando que Rusia haya observado al gas natural prácticamente como el único mecanismo para ejercer un cierto grado de presión sobre Ucrania.

Para la Unión Europea la importancia de Ucrania desde la década de 1990 ha sido muy grande y se ha constituido en la razón por la cual desde ese momento se comenzaron a dar avances para el estrechamiento en la relación bilateral. Uno de estos pasos fue la ratificación en 1998 del "Partnership and Cooperation Agreement (PCA)" por parte de Ucrania por un periodo de diez años. La meta de dicho Acuerdo ha sido la de ir creando en Ucrania el escenario idóneo para que con el paso del tiempo los requerimientos necesarios para la adhesión de este país a la Unión Europea se den en una forma progresiva.

En cuanto a la cooperación energética con la Unión Europea, se encuentra que en el 2006 Ucrania se convirtió en observador del Tratado de la Comunidad Energética, en el cual así mismo se postuló para ser aceptado como miembro pleno. La participación en este Tratado muestra la tendencia creciente de Ucrania a conformar vínculos energéticos con Europa, aspecto que es de gran interés mutuo dada la posición geopolítica de Ucrania y la dependencia energética que Europa tiene de Rusia y los países de la región.

En cuanto a las relaciones entre Ucrania y la OTAN, cabe destacar que a partir de 1991 este país ha encajado sus esfuerzos hacia el estrechamiento en las relaciones bilaterales, logrando el nivel más alto de integración en el 2002 con la consolidación del Plan de Acción OTAN-Ucrania, en el cual ese país se comprometió a la consecución de los requisitos políticos, económicos, militares y securitarios que dicha Organización establece para acceder a la membresía.

Es así que lo que ha demostrado la voluntad ucraniana de adherirse a la OTAN ha sido el fuerte deseo de

conformar alianzas políticas y militares con diferentes Organizaciones en donde no esté involucrada la participación rusa, y que tiendan a un mayor acercamiento con los países occidentales para así contrarrestar el poder ruso en la región.

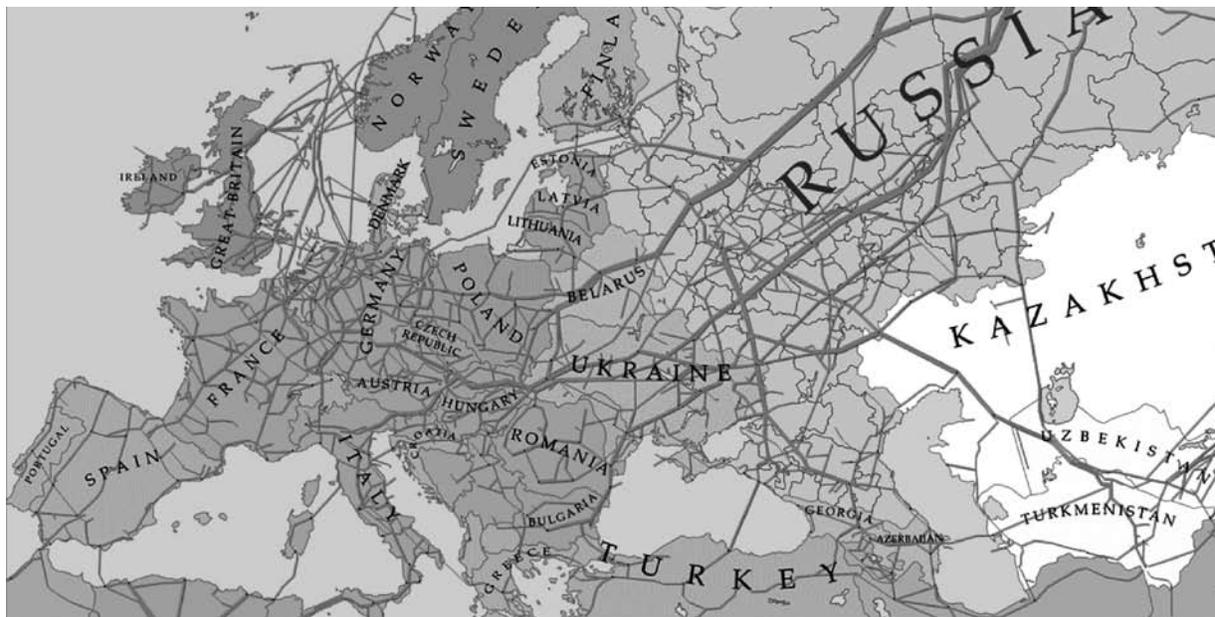
Sin embargo, una de las principales herramientas que ha impulsado la cooperación de Ucrania con Rusia ha sido la consolidación del mercado ruso como primer destino de las exportaciones de bienes ucranianos (22%) (CIA, 2007) y más específicamente la dependencia energética que Ucrania tiene de Rusia. Para 1998 las importaciones de gas natural provenientes de Rusia equivalían a un 49% (Balmaceda, 1998) del total del país, lo que mostraba que también fuera el primer socio comercial en materia energética con Rusia. Por ello es que este país ha considerado al comercio, y más específicamente al gas como el principal mecanismo mediante el cual puede ejercer cierta influencia para la obtención de su interés nacional en Ucrania, representado básicamente como un país de gran importancia geopolítica para el paso del gas natural.

La razón por la cual Rusia tiene un interés tan alto en Ucrania consiste en que por su territorio transita el 80% (ver gráfico 1) del gas natural ruso hacia los Es-

tados de Europa del Este y Europa occidental (El país, 2005), los cuales actualmente consumen el 16.6 % y el 27.9% de la producción de gas natural ruso, respectivamente (Gazprom). Ello ha implicado que este país tenga una gran relevancia para la consecución del interés nacional ruso y sea la principal razón por la que Rusia está tan interesada en mantener buenos lazos de cooperación.

Ante la falta de diversidad de gasoductos que tiene Rusia para exportar el gas natural hacia Europa (pues aparte del los gasoductos ucranianos únicamente cuenta con el *Yamal – Europe* y el *Blue Steam*), la alternativa por la que ha optado para transportar el gas hacia Europa ha sido teniendo un cierto grado de influencia sobre Ucrania mediante la exportación de gas natural, y específicamente mediante el precio que le establece a este recurso. Al igual que ocurrió con el caso de Bielorrusia con el cobro en el precio del gas, en Ucrania ciertamente ha venido sucediendo la misma situación en donde mediante el pago de una tarifa preferencial en momentos en que el presidente y su gobierno han mostrado una tendencia pro-rusa, el precio de este recurso se ha mantenido, y en cambio cuando se ha evidenciado una tendencia pro-occidental Rusia lo ha aumentado.

Gráfico 1. Gasoductos rusos



Fuente: Gazprom. <http://eng.gazpromquestions.ru/page8.shtml>



En razón a lo anterior, y como una fuerte determinación, “el Presidente ruso no está obligado a tolerar un compañerismo estratégico virtual, que le permita una vez más a Ucrania como en la época de Yeltsin, beneficiarse de la relación económica y energética con Moscú, mientras refuerza su alianza política y estratégica con el Oeste” (Breault; Jolicoeur y Levesque, 119). El ejemplo más notorio de esta situación se presentó en diciembre de 2005, cuando, en plena temporada invernal, Rusia tomó la determinación de interrumpir el abastecimiento de gas natural hacia Ucrania hasta que se cerraran las negociaciones bilaterales en cuanto al establecimiento de una nueva tarifa para la venta de gas natural. La tarifa que había venido pagando la empresa gasífera ucraniana, *Naftogaz* por la compra de este recurso era de \$50 por cada 1.000 mts cúbicos, y *Gazprom* le estaba pagando por el tránsito de gas \$1.09 por cada 1.000 mts cúbicos; pero para el 2006 *Gazprom* aumentó esta tarifa a \$130 por cada 1.000 mts cúbicos y así mismo *Naftogaz* incrementó a \$1.6 por cada 1.000 mts cúbicos de gas que se transportara por territorio ucraniano, monto que *Gazprom* comenzaría a cancelarle en efectivo y no mediante el suministro de gas natural como se había hecho hasta la fecha. Al representar esta nueva tarifa un incremento en un 160%, Ucrania se vio en la obligación de acudir a otras opciones para poder cubrir el aumento en el precio de este recurso.

Así fue como el 4 de enero de 2006, Ucrania accedió a que a partir de esa fecha y por cinco años la empresa ruso-ucraniana *RosUkrEnergó* fuera la encargada de comprar el gas natural de Rusia a \$130 por cada 1.000 mts cúbicos y venderlo a Ucrania a \$95 por la misma cantidad. La lógica de este acuerdo, según lo explican expertos de *Gazprom* es que “La diferencia entre los precios de venta del gas a *RosUkrEnergó* y, por ésta, a Ucrania se compensará mediante la entrega a esta empresa de carburantes comprados en Turkmenistán, Uzbequistán y Kazajstán” (El mundo, 2006).

Al igual que ha ocurrido en el caso de Bielorrusia con las pretensiones de *Gazprom* de comprar acciones en *Beltrangaz*, en el caso de Ucrania y con mayor razón ellas han estado presentes en “las empresas económicas de Rusia en los sectores particularmente estratégicos de la economía ucraniana en donde se ha acentuado en los últimos años, y es ahí mismo

donde las consecuencias pueden ser las más durables” (Breault; Jolicoeur y Levesque, 55). A causa de esto es que *Gazprom* ha estado interesado en comprar acciones en *Naftogaz*, y es también la razón por la cual Rusia ha entrado lentamente al mercado gasífero, como efectivamente lo fue a través de la compañía *RosUkrEnergó*, en la que adquirió un 50% de sus acciones, porcentaje que indudablemente desea aumentar para así tener una mayor influencia en el sector energético ucraniano.

Como se evidencia, con el paso del tiempo son más fuertes las medidas que Rusia está adoptando con respecto al aumento en los precios del gas natural para crear en Ucrania una presión económica que conduzca a que este país no pierda los vínculos económicos y políticos con Rusia.

Es así que se observa como Rusia, al ver que Ucrania en la presente década se ha encaminado más hacia una integración con la Unión Europea y la OTAN, ha considerado la venta del gas natural como la principal herramienta para que este país siga dependiendo comercialmente de ella, especialmente en materia energética. Ello ocurre porque es claro para Rusia que, en primer lugar, la consolidación de Ucrania como un fuerte aliado de la Unión Europea puede implicar que las relaciones energéticas, económicas y políticas se vean fuertemente afectadas; y en segundo lugar, que si Ucrania se convierte en miembro pleno de la OTAN, esto implicaría que el área de influencia de Rusia para el control de la seguridad regional que tanto persigue se vea seriamente afectado.

Turkmenistán

Contrario al caso de Bielorrusia y Ucrania, en donde estos han tenido diferencias con Rusia a causa del gas, en este aspecto Turkmenistán ha sido el único de los tres países que no ha presentado mayores discrepancias con Rusia desde la disolución de la U.R.S.S. A continuación se mostrará en primer lugar cómo el gas natural ha sido un elemento clave para que las relaciones bilaterales se hayan venido presentando en buenos términos dado el mutuo interés que persiguen en torno al gas natural, y en segundo lugar cómo a pesar de haber tenido un aislacionismo tanto con Rusia como con los demás países de la



región, a partir del 2006, año en que su presidente Saparmourad Niazov falleció, se han comenzado a dar ciertos pasos que muestran una tendencia hacia un mayor alineamiento con Rusia, especialmente en materia energética.

Turkmenistán posee el 1.6 % de las reservas de gas natural (BP Amoco 2007), es el segundo país después de Rusia con mayores yacimientos de gas de las regiones de Asia Central y Europa del Este (Pravda 2007), y su producción se ha incrementado en más de un 25% desde el año 2000 (Dorian. 2006). Ello ha implicado, entre otros factores, que Turkmenistán sea de gran importancia geoestratégica para el mundo tanto por su ubicación geográfica como por las reservas energéticas que allí se encuentran (Bahgat 2001, 2004; Lanteigne 2007).

A pesar que se hayan presentado intereses por parte de otros actores en el país, por motivos geopolíticos y comerciales Turkmenistán ha mostrado una tendencia hacia el establecimiento de buenas relaciones con Rusia. Ello se ha debido a que las exportaciones de gas natural que Turkmenistán realiza hacia países como Ucrania y Georgia las debe hacer a través de territorio ruso (Bahgat.2001), puesto que por el aislacionismo que su Presidente Saparmourad Niazov mantuvo a este país hasta su muerte en el 2006 (Lanteigne 2007), la integración energética entre Turkmenistán y el resto de los países ha sido muy reducida.

Dada la dependencia que Turkmenistán ha tenido de Rusia para transportar el gas natural hacia sus principales destinos, y el aislacionismo con la mayoría de los países de la región, *Gazprom* ha utilizado esta situación como una estrategia para comprar grandes cantidades de gas natural turkmeno (que incluso llegan a constituirse en las dos terceras partes del total de gas exportado) a bajos precios. El precio al cual ha venido comprando *Gazprom* este recurso a Turkmenistán es significativamente bajo en comparación al cual *Gazprom* le ha vendido a otros países, y allí es donde radica la importancia comercial y geopolítica de Turkmenistán para Rusia. Para el 2006 el precio de compra era de \$65 por cada 1.000 mts cúbicos, el cual comparativamente es bajo considerando el

precio al que para la fecha *Gazprom* lo vendía a Ucrania (\$130). A causa de la diferencia en el precio de compra del gas a Turkmenistán y de venta a los demás países fue que en el mismo año Turkmenistán anunció que incrementaría el precio de venta de este recurso a *Gazprom*. Después de haber concluido las negociaciones, se estipuló que a partir de septiembre de 2006 y por un periodo de 18 meses, el gas sería vendido en \$100 por cada 1.000 mts cúbicos, con la condición que el gas sería exportado por un periodo de 25 años hacia Rusia (Dorian.2006)

A pesar del deseo de diversificar sus exportaciones, a partir de febrero de 2007, fecha de elección de Gurbanguly Berdimuhamed, su nuevo Presidente, este país ha mostrado una propensión hacia la reactivación de lazos comerciales en materia energética con Rusia y con Kazajistán, dado que son los países donde Turkmenistán ha encontrado un mayor interés geopolítico con relación al gas natural. Es así como en mayo de 2007 tuvo lugar en la ciudad de Turkmenbashi, en Turkmenistán, una cumbre presidencial con los dignatarios de Rusia, Kazajistán y Turkmenistán, que tuvo como objetivo concretar los últimos aspectos para la conformación del gasoducto *Trans-Caspian* que unirá a estos tres países con el fin de diversificar las rutas para el transporte de gas, mejorar la infraestructura existente y exportar más cantidades de gas natural.

En suma, se observa que gracias a las amplias reservas de gas que tiene Turkmenistán, éste se ha constituido en un país de gran importancia geopolítica tanto para ciertos países como para compañías multinacionales. Sin embargo el aislacionismo en que ha estado el país y la dependencia que ha mantenido de Rusia para el transporte de gas se han constituido en los dos principales factores que han incidido para que *Gazprom* tenga prácticamente todo el control sobre las exportaciones, implicando que las ganancias obtenidas por la venta de este recurso sean relativamente bajas, y por ende que este país esté considerado como uno de los más pobres de la región puesto que su economía y sus exportaciones están basadas principalmente en los ingresos obtenidos por la venta de gas y petróleo (79% para el 2005) (Lanteigne 2007) y del algodón.



Resultados

Como resultado de esta investigación se obtuvo lo siguiente:

Que tal como se había planteado en la hipótesis, en el caso de los países consumidores de gas ruso, el precio de compra del gas natural está directamente correlacionado con el nivel de alineamiento que cada país tenga con Rusia, tal como ocurrió con Bielorrusia y Ucrania, países a los cuales les fija una tarifa diferencial que está dada por las relaciones bilaterales entre ambos Estados. Por ende, entre más estrecha sea la relación política de ese país con Rusia, menor será el precio de compra.

Que la hipótesis con respecto a los países que le venden gas a Rusia se cumple en el caso de Turkmenistán en tanto que el precio de compra de gas por parte de Rusia ha venido aumentando dado que, con el paso del tiempo, el nivel de alineamiento ha sido más alto entre ambos países.

Conclusión

De los resultados se infiere que Rusia ha venido utilizando al gas natural como una herramienta política para la consecución de su interés nacional en ciertos países, puesto que ha manejado precios diferenciales en la compra y venta de este recurso, los cuales guardan relación directa con el grado de alineamiento de cada uno de ellos.

Tal ha sido el caso de Bielorrusia, país de la región con el cual ha tenido una buena relación bilateral, y

la razón por la cual le ha vendido el gas a precios reducidos, caso contrario de Ucrania. Con este Estado ha tenido ciertas diferencias que han incidido para que Ucrania busque nuevos aliados y que por ende Rusia le cobre una tarifa más costosa en la venta de este recurso. Y por último Turkmenistán, país en el cual Rusia ha encontrado un socio estratégico para la venta de este recurso.

No obstante que Rusia haya considerado a estos países como su interés primordial, desde finales de la década de 1990 se ha observado una propensión por parte de éste hacia a la diversificación de relaciones comerciales en torno al gas natural con otros Estados Asiáticos como China, Japón, Corea y Taiwán, (Bahgat.2001) (Boussena et al. 2005), con los cuales ha venido firmando acuerdos para la construcción de infraestructura, el transporte y abastecimiento del gas. El ejemplo más notorio de esto fue la firma de un acuerdo entre China y Gazprom en el 2006, para la construcción de dos gasoductos que tienen como objetivo conducir para el 2011 entre 30-40 billones de mts cúbicos de gas por año (Ferdinand. 2007). Esto ha dejado ver el nuevo direccionamiento que ha emprendido Rusia para la apertura de mercados de este recurso dada la inestabilidad política que tienen actualmente con los países de la órbita.

El gas no constituye en la actualidad un commodity, transado en bolsas y mercados internacionales, por ello la fijación de su precio con motivos principalmente políticos es posible. Falta por ver que ocurrirá a medida que se construyan más gasoductos y se empiece a conformar un verdadero mercado internacional por el bien.



Bibliografía

- Aslanyan, G. Molodtsov, S. y otros. 2005. "Monitoring the sustainability of Russia's energy development", *Natural Resources Forum*, Vol. 29, pp. 334-342.
- Bahgat, G. 2001. "The geopolitics of natural gas in Asia", *OPEC Review*, September, pp. 273-290.
- 2004. "The Caspian Sea: potentials and prospects", *Governance: An International Journal of Policy, Administration and Institutions*, Vol. 17, No. 1, pp. 115-126.
- Balmaceda, M. 1998. "Gas, Oil and the Linkages between Domestic and Foreign Policies: The case of Ukraine". *Europe-Asia Studies*. Vol # 50, No. 2.
- BBC. "Russia -Belarus gas deal reached". <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/6221835.stm>
- Boussena, S. Locatelli, C. 2005. "Towards a more coherent oil policy in Russia". *Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC Review* June 2005, pp. 85-105.
- Breault, Y. Jolicoeur, P. Y otros. 2003. *La Russie et son ex- empire*. Paris: Presses de Sciences Po.
- BP Amoco. "Statiscal Energy Review 2007". http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2007/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2007.pdf
- Central Intelligence Agency (CIA). "Ukraine". *The World Fact Book*. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/up.html>
- Dorian, J. 2006 "Central Asia: A major emerging energy player in the 21st century", *Energy Policy*, Vol. 34, pp. 544-555.
- El mundo. "Rusia y Ucrania zanján la crisis del gas con un acuerdo sobre el precio". <http://www.elmundo.es/elmundo/2006/01/04/internacional/1136360712.html>
- El País. "El duro camino del gas de Rusia". Consultado en: http://www.elpais.es/articulo/elpprint/20051230elpepuint_1/Tes/Ucrania%20negocia%20con%20Rusia%20a%20dos%20d%EDas%20de%20que%20se%20cumpla%20el%20ultimo%20de%20la%20%91guerra%20del%20gas%92?print=1.
- Ferdinand, P. 2007. "Sunset, sunrise: China and Russia construct a new relationship", *The Royal Institute of International Affairs*, Vol 83, No.5. pp. 841-867.
- Gazprom. <http://eng.gazpromquestions.ru/index.php?id=4>
- Goujon, A. y otros. 2005. "Changing Belarus". *Chaillot Paper*. Instituto de Estudios de Seguridad de la Unión Europea. # 85, (Noviembre de 2005). <http://www.iss-eu.org/chaillot/chai85.pdf>
- Hancock, K. 2006. "The Semi-Sovereign State: Belarus and the Russian Neo-Empire". *Foreign Policy Analysis*. Vol .6, pp 117-136.
- Lanteigne, M. 2007. "China's energy security and Eurasian diplomacy: The case of Turkmenistan", *Politics*, Vol. 27, No. 3, pp. 147-155.
- Los Tiempos. http://www.lostiempos.com/noticias/02-0107/02_01_07_eco5.php
- McKillop, A. 2006 *Reservas Asociadas de Rusia*. <http://www.energybulletin.net/23462.html>
- Nord Stream. Proyecto del gasoducto Northern European. http://www.nordstream.com/eng/project/facts_and_figures/
- Poroskun, V I. Khitrov, A M. y otros. 2004. "Reserves/resource classification schemes used in Russia and Western countries: A review and comparison", *Journal of Petroleum Geology*. 27(1): 85-94.
- Pravda. "Putin calls for closer ties with Turkmenistan". http://english.pravda.ru./russia/91286-putin_turkmenistan-0



Economías computacionales basadas en agentes: Una aplicación a la oferta de Energía en el mercado eléctrico colombiano

Andrés Delgadillo

Master en Economía UNAL. Ingeniero Electricista UNAL.

Luis Eduardo Gallego Vega

Profesor Auxiliar UNAL Bogotá. Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Fecha de recepción: 18 de Febrero de 2008. • Fecha de aceptación: 16 de Marzo de 2008.

Resumen

En el presente artículo se desarrolla un modelo del mercado eléctrico colombiano fundamentado en la metodología de Economías Computacionales Basadas en Agentes. En el modelo se propone una metodología de aprendizaje en agentes económicos que actúan en un ambiente de interacción, la cual se encuentra basada en técnicas de computación flexible, específicamente en Redes Neuronales y Algoritmos Genéticos. La metodología de aprendizaje permite que los agentes generadores puedan inferir una función de correspondencia de su beneficio en términos de sus ofertas de precio y variables del sistema eléctrico, adicionalmente con la metodología los agentes son capaces de encontrar ofertas de precio que mejoran el beneficio obtenido.

Palabras Clave

Economías Computacionales Basadas en Agentes, Algoritmos Genéticos, Redes Neuronales Artificiales, Mercado Eléctrico Colombiano.

Abstractw

In this paper, a model of the Colombian electricity market is implemented using the Agent-based Com-

putational Economics (ACE) methodology. The paper propose a methodology to model the offer price behavior of generation companies upon the actual colombian market structure and the effects in market prices and agents' profits. This model is based on a learning algorithm that uses some soft computing techniques (Genetic Algorithms and Neural Networks) to face the discovery of a complex function among offer prices, power system variables and profits. In addition, this methodology allows the agents to improve their offer strategies by maximizing their own profits. Finally, the paper presents some results obtained from the model about the behavior of spot prices and agents profits.

Keywords

Agent-based Computational Economics, Genetic Algorithms, Artificial Neural Networks, Electricity Market.

Clasificación JEL:

C45, C63, Q41, R13.



Introducción

Las Economías Computacionales Basadas en Agentes (ACE) son modelos de simulación que tratan de representar la dinámica de los sistemas económicos por medio de sistemas multiagentes, donde cada agente exhibe una característica de “aprendizaje” cuando es sometido a una interacción repetitiva, es decir, los agentes aprenden de su experiencia pasada, mejorando su proceso de toma de decisiones y adaptándose a los cambios del ambiente (posiciones de sus competidores, entrada en el mercado de nuevos agentes, modificaciones de las políticas, etc). Este proceso adaptativo permite implementar una gran variedad de comportamientos estratégicos por parte de los agentes y a la vez estudiar la evolución y el comportamiento de un mercado bajo condiciones controladas, a manera de laboratorios de economía experimental.

En la construcción de estos modelos se empieza por describir un sistema económico por un conjunto de agentes (productores, consumidores, intermediarios, reguladores) y por especificar el estado inicial del mismo a través de la determinación de los atributos iniciales de los agentes. Los atributos de cualquier agente pueden incluir normas de comportamiento, modos de comunicación y aprendizaje, información sobre el mercado y sobre los agentes y una función meta u objetivo del agente. Adicionalmente, para poder llevar a cabo este estudio riguroso de modelación de los sistemas económicos es necesario encontrar y definir los métodos y herramientas adecuados de modelación (Tsfatsion, 2002).

En los últimos años, la metodología de economías computacionales ha sido utilizada para modelar los mercados eléctricos, dado que estos se pueden definir como sistemas adaptativos complejos conformados por múltiples generadores, consumidores y reguladores donde cada participante tiene su propia estrategia, su preferencia de riesgo y un modelo de decisión bajo ciertas estructuras y reglas de mercado (Shun-kun y Jia-hai, 2005).

Day y Bunn (2001) proponen un modelo de simulación basado en agentes que construyen curvas óptimas de demanda para analizar el poder de mercado

en el mercado de Inglaterra y Gales. Bower y Bunn (2000) presentan un modelo de simulación donde los agentes generadores son representados como agentes adaptativos autónomos que participan en un mercado diario repetitivo buscando estrategias que maximicen su beneficio basados en los resultados obtenidos en el período anterior. Oliveira (2001) presenta la construcción de un modelo económico basado en agentes del mercado eléctrico para explorar los posibles efectos de los nuevos mecanismos del mercado de Inglaterra y Gales introducidos a principios del año 2001. Nicolaisen *et al.* (2001) reportan un modelo basado en agentes del mercado de electricidad en los cuales los precios son fijados por un proceso de subasta donde tanto generadores como comercializadores presentan sus ofertas, cada comprador y vendedor determina su precio de oferta de manera adaptativa en el tiempo por medio de un algoritmo individual de aprendizaje por refuerzo. Bagnall y Smith (2005) desarrollan un modelo basado en agentes que utilizan sistemas clasificadores de aprendizaje para mejorar sus estrategias con el objetivo de demostrar que los agentes pueden aprender su comportamiento a través de datos observados del mundo real y como la estructura de mercado pueden alterar este comportamiento.

En el presente artículo, se desarrolla un modelo basado en agentes del Mercado eléctrico colombiano, proponiendo una metodología de aprendizaje en agentes económicos que se encuentran en un escenario de interacción. La metodología de aprendizaje se encuentra basada en técnicas de computación flexible (Algoritmos Genéticos (AG) y Redes Neuronales Artificiales (RNA)) para simular la complejidad de la relación entre precios de oferta de los generadores, variables del sistema de potencia y beneficios de los agentes. Adicionalmente, esta metodología permite a los agentes mejorar sus estrategias de precios de oferta buscando maximizar sus beneficios.

De esta manera, el modelo busca determinar el comportamiento de las compañías de generación y los efectos en el precio del mercado y en los beneficios de los agentes bajo el supuesto que los agentes pueden cambiar su comportamiento en el tiempo. Por lo tanto, el desarrollo del modelo es de



vital importancia para las compañías de generación y el ente regulador, debido a que provee una herramienta para determinar la dinámica de los precios de mercado y el comportamiento de largo plazo de los agentes cuando ellos se encuentran expuestos a un proceso de interacción repetida sin simplificar la complejidad inherente del mercado eléctrico.

El artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se hace una descripción de la metodología de economías computacionales basadas en agentes y el problema de aprendizaje. En las secciones 3 y 4 se presenta una descripción del mercado colombiano y del modelo basado en agentes, el algoritmo de aprendizaje se encuentra en la sección 5 y los resultados se muestran en la sección 6.

Las Economías Computacionales basadas en Agentes

Según Tesfatsion (2006), las Economías Computacionales Basadas en Agentes (ACE) son una metodología computacional intensiva para desarrollar y explorar nuevas clases de modelos económicos, es decir, son el estudio computacional de sistemas económicos representados como sistemas dinámicos de agentes que interactúan, los cuales no necesariamente poseen racionalidad perfecta e información completa.

Mientras los modelos económicos estándar se enfatizan en el equilibrio, requiriendo una cuidadosa consideración de las propiedades del equilibrio, los modelos ACE se enfatizan en el proceso económico, en las interacciones locales de los diferentes agentes económicos y en las dinámicas fuera del equilibrio que pueden o no dirigirse al equilibrio en el largo plazo, requiriendo especificaciones detalladas de las condiciones estructurales, institucionales y de comportamiento de los agentes, es decir, los modelos ACE más allá de focalizarse en los estados de equilibrio de un sistema, buscan mirar si algún equilibrio se forma en el tiempo, el objetivo es adquirir un mejor entendimiento del retrato de fase de un sistema, aún cuando los equilibrios del modelo puedan ser computacionalmente inmanejables o inexistentes.

El Problema de Aprendizaje

Un problema que se debe resolver en el desarrollo de modelos ACE es la definición de las estrategias de comportamiento de los agentes y el efecto que el cambio en las acciones de los mismos pueda tener sobre el logro de los objetivos; por lo tanto, es necesario dotar a los agentes de algunos mecanismos para éstos *aprendan* a seleccionar las estrategias que les den mejores resultados.

En la economía es común ligar el problema de aprendizaje a la imposición de las expectativas racionales, donde se supone que los agentes utilizan toda la información disponible del mejor modo posible, así que las expectativas subjetivas coinciden con el verdadero valor esperado de la variable condicionado a esta información y solo difieren por el término de ruido, el cual es dejado a un lado cuando es utilizado el agente representativo (Begg, 1982).

Este mecanismo de comportamiento no representa las situaciones de interacción entre agentes que actúan de forma estratégica, en donde la mayor fuente de incertidumbre para un agente es la incertidumbre relativa a las acciones que los demás agentes puedan tomar. Aún cuando las firmas tuvieran información completa y correcta de las condiciones estructurales del sistema, el comportamiento bajo incertidumbre se mantendría, debido a que los aspectos estructurales no determinan las expectativas de oferta de las otras firmas (Tsfatsion, 2006).

Bajo el marco de la metodología ACE, una estrategia es un mapeo de cada estado del ambiente hacia una función de probabilidad sobre el espacio de posibles acciones, donde el problema de aprendizaje es encontrar las estrategias óptimas, en el sentido de seleccionar las acciones que maximizan la utilidad del agente dado un estado del ambiente. En general, se puede decir que la utilidad U es función de las acciones a y los estados e , es decir, $U = f(a, e)$. El agente entonces trata de escoger la mejor acción a dependiendo del estado e del ambiente y esa selección es la que se va fortaleciendo a medida que el proceso de aprendizaje va tomando lugar.

Por otra parte, es importante distinguir que durante el proceso de aprendizaje, los agentes deben rea-



lizar una selección permanente entre dos objetivos igualmente competitivos:

- Explotación de la información: consistente en seleccionar los niveles de producción y precios que hagan que los beneficios esperados sean los más altos posibles con base en la información actual.
- Exploración de la información: consistente en seleccionar los niveles de producción y precios para poder aprender más acerca del ambiente económico, aún cuando estas acciones lleven a una disminución en las utilidades en el corto plazo, pero a un mejor conocimiento del sistema económico, lo que podría repercutir en el incremento de los beneficios esperados futuros.

La forma como las firmas resuelvan esta disyuntiva en cada uno de los periodos de tiempo determina el comportamiento de los agentes en el largo plazo.

El mercado eléctrico colombiano

Esta sección presenta una breve descripción de la operación del mercado eléctrico colombiano en donde es importante distinguir entre dos diferentes mecanismos: el operativo y el comercial. El primero persigue atender la demanda de energía teniendo en cuenta las restricciones eléctricas y operativas al menor costo de operación del sistema (Despacho Programado) y el segundo busca fijar el precio de mercado mediante un mecanismo que no incluye las restricciones eléctricas del sistema de potencia (Despacho Ideal).

Despacho Programado

Para determinar el Despacho Programado los generadores que realizan transacciones en bolsa deben informar diariamente al Operador del Mercado una única oferta de precio para las 24 horas del día siguiente y la declaración de disponibilidad correspondiente a la mejor estimación de la disponibilidad esperada (expresada en valores enteros en MW) a nivel horario de cada uno de sus recursos de generación.

El operador del Mercado recibe las ofertas de cada uno de los agentes y utiliza esta información para determinar la programación de la generación con el objetivo de cubrir la demanda proyectada del día siguiente. Esta programación busca minimizar el costo de operación del sistema en un horizonte de un día teniendo en cuenta tanto las restricciones eléctricas como la confiabilidad del sistema de potencia. Debido a contingencias que se pueden presentar durante el día de operación del sistema (salida de unidades de generación, entrada de unidades que se encontraban en mantenimiento, cambios en la topología de la red, cambios en la demanda), se pueden presentar redespachos con el objetivo de mantener la estabilidad y confiabilidad del sistema de potencia. El Despacho real es el resultado de los cambios en el programa de generación durante el día de operación.

Despacho Ideal

Este despacho se determina con posteridad a la operación del sistema, teniendo en cuenta las ofertas de los agentes, la demanda real de cada hora, los límites de operación de las unidades de generación pero sin tener en cuenta las restricciones del sistema de transmisión. Para suplir la demanda de cada hora, el primer paso es asignar las generaciones de las unidades con capacidad menor a 20MW, además de otras generaciones forzadas de la red. Posteriormente, los recursos de generación son ordenados por merito hasta cubrir totalmente la demanda. Debido a que se tienen en cuenta los límites operacionales de las plantas tales como rampas de arranque y parada, pueden aparecer generaciones forzadas adicionales llamadas generaciones inflexibles o inflexibilidades. El precio de bolsa se determina como el precio de oferta del recurso marginal no inflexible¹ del despacho ideal.

Debido a este mecanismo de mercado, la generación programada será diferente a la generación ideal de la planta, sin embargo, esta diferencia es compensada al precio de reconciliación de acuerdo a las reglas del mercado colombiano.

1 Una planta es inflexible cuando las características técnicas de la unidad hacen que genere en un hora a pesar de que su precio de oferta es superior al costo marginal del sistema



Modelo Propuesto del Mercado Colombiano

En esta sección se realiza una descripción del modelo desarrollado para simular el comportamiento de los agentes generadores y la operación del mercado eléctrico colombiano.

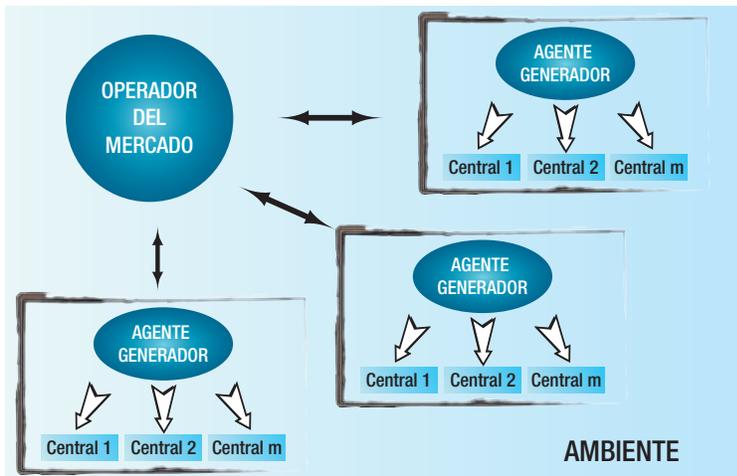


Figura 1. Modelo Basado en Agentes

Las principales características del modelo son:

- El mercado opera en unidades de tiempo discreto que representan días.
- Se utilizará el término agente para referirse a la representación de software de las compañías de generación.
- El término central o planta se refiere a las unidades de generación.
- El mercado consta de varios agentes, los cuales pueden tener más de una central de generación y estas pueden ser de diferentes tecnologías.
- Existe un Operador del Mercado que recibe las ofertas de los agentes y determina el Despacho Programado y el Despacho Ideal.
- El mercado posee un ambiente, que es una descripción del escenario en el que los agentes están actuando.

La dinámica del Mercado es implementada por una secuencia de “periodos” de simulación, donde cada periodo consiste en los siguientes pasos:

- En el periodo t se presenta un estado del ambiente. Las variables del ambiente son recibidas por los agentes y el Operador del Mercado.
- Dependiendo del estado del ambiente, cada uno de los agentes realiza una oferta de precio y declaración de disponibilidad para cada una de las plantas generadoras con el objetivo de maximizar su beneficio.
- El Operador del Mercado recibe las ofertas de los agentes y realiza el proceso de asignación de recursos.
- Luego el Operador del Mercado le retorna a cada uno de los agentes el Precio de Bolsa, la Generación Ideal, las Reconciliaciones, el Precio de las Reconciliaciones y los Ingresos obtenidos.
- Los agentes utilizan esta información para calcular sus Beneficios teniendo en cuenta los Costos de generación de cada una de sus plantas.
- Constantemente los agentes actualizan y mejoran la percepción que tienen acerca de la relación entre los estados del ambiente, las ofertas realizadas y los beneficios obtenidos.

El Ambiente

En principio el ambiente es una representación de los factores que más afectan las estrategias de comportamiento de los agentes generadores. Ahora bien, la naturaleza de algunas de estos factores es global para todos los agentes, como es el caso de la Demanda de energía y de los Precios de Referencia, mientras que otros factores son propios de cada agente como las variables referentes a los contratos, las reconciliaciones y las inflexibilidades. Aunque cada una de las variables utilizadas tiene un dominio continuo, para poder llevar a cabo el proceso de aprendizaje es necesario realizar una clasificación en categorías para cada una de ellas.



Las variables del ambiente consideradas en el modelo son:

- Demanda de energía (D).
- Factor de embalse ofertable ($Femb$), para los agentes con centrales hidráulicas es la relación entre el embalse ofertable propio y el embalse ofertable nacional, para los agentes que poseen solamente plantas térmicas es la relación entre el embalse ofertable nacional y la capacidad total instalada en los embalses del país.
- Factor de contratos ($Fcon$): Indica la proporción de energía con respecto a su capacidad que comprometió en contratos. Es importante recalcar que esta variable es el producto del proceso de contratación bilateral, el cual es un tipo de interacción diferente y complejo que el modelo no está intentando simular. Los autores son conscientes que los precios de bolsa pueden influenciar el proceso de contratación bilateral, en el sentido que un cambio en los precios del mercado puede cambiar la percepción de riesgo de los agentes; sin embargo, se desconoce como nuevas condiciones influenciarán el comportamiento de contratación de los agentes. Por consiguiente, esta variable se considerará como un número aleatorio basado en la información histórica de contratación tratando de representar las expectativas que posee cada agente.
- Precio relativo de los contratos ($Pcon$): Es un indicador diario que revela el precio neto al que el agente transó la energía comprometida en contratos.

$$Pcon = \frac{QCV \cdot PCV - QCC \cdot PCC}{QCV - QCC}$$

Donde:

QCV: Cantidad de Energía Vendida en contratos por el agente.

QCC: Cantidad de Energía Comprada en Contratos por el agente.

PCV: Precio de la Energía Vendida en Contratos por el agente.

PCC: Precio de la Energía Comprada en Contratos por el agente.

- Precios de Referencia: Son un indicador del costo de producción de la energía, para las centrales térmicas estos precios de referencia dependen de los costos del combustible y de costos variables, mientras que para el caso de las centrales hidráulicas estos precios de referencia dependen del nivel del embalse y de los precios de referencia de las centrales térmicas.
 - ◆ Precio de referencia para centrales hidráulicas (Prh).
 - ◆ Precio de referencia para centrales de gas (Prg).
 - ◆ Precio de referencia para centrales de carbón (Prc).
- Las reconciliaciones: Mientras en el Despacho Ideal las plantas necesarias para cubrir la demanda son seleccionadas por orden de mérito de las ofertas y se omite a la red de transporte de energía, en el Despacho Real aparecen generaciones forzadas por Restricciones eléctricas y operativas del Sistema de Transmisión. Así que se denominan Reconciliaciones a la diferencia existente entre la generación real y la generación ideal de una planta.
- Las inflexibilidades: Son generaciones fuera de mérito que se presentan al tener en cuenta las restricciones técnicas de las centrales cuando se realiza el Despacho Ideal.

De esta manera, un estado del ambiente se puede representar por medio de un vector E conformado por los valores de cada una de las variables del ambiente, así que $E = \{D, Femb, Fcon, Pcon, Prh, Prg, Prc\}$. En cada uno de los periodos de tiempo se realizó un proceso estocástico para seleccionar el estado del ambiente en el que los agentes actúan de acuerdo a las funciones de probabilidad históricas encontradas.



Agentes y Centrales

Se simularon 11 agentes asimétricos en el sentido que cada agente puede tener varias centrales de generación y estas pueden ser de diferente tecnología y tamaño, lo implica que los costos unitarios de generación van a ser diferentes para cada una de las centrales.

La tecnología de generación de cada una de las centrales determina los costos incurridos por el agente en el proceso productivo, influyendo directamente en el beneficio obtenido por el agente. Los costos de cada central se modelaron como una función de costos lineal cuya pendiente es el costo medio variable de generación de cada central, los cuales fueron tomados de la UPME (UPME, 2002). En la Tabla 1 se presenta el promedio de los costos medios de generación de las diferentes tecnologías².

Tabla 1. Costo Unitario de Generación en USD/MWh

Tecnología	Costo Unitario
Hidráulica	4.8
Carbón	33.2
Gas	40.1

El beneficio de los agentes son los ingresos obtenidos por las diferentes transacciones del agente, menos los costos incurridos durante el proceso productivo, de esta manera el beneficio diario³ obtenido por un agente es:

$$\pi = SI + CI + DI - TC$$

Donde,

SI: Ingreso por Bolsa

CI: Ingreso por Contratos

DI: Ingreso obtenido por las diferencias entre la generación real y la ideal

TC: Costo Total

2 Debido a que los costos indicativos de la UPME son establecidos por potencia y ubicación geográfica, se encontró para cada una de las plantas simuladas un estimativo de sus costos medios variables por medio de una interpolación lineal de los costos indicativos con respecto a la capacidad y ubicación de la planta.

3 En el cálculo del beneficio diario no se incluye el ingreso correspondiente al mecanismo del cargo por capacidad debido a que este es un mecanismo exógeno a la formación de precios en el mercado.

Operador del Mercado

El operador del mercado es la representación de software del organismo encargado de determinar el Despacho real y el Despacho Ideal. En cada periodo de ejecución el operador del mercado recibe las ofertas de los agentes y teniendo en cuenta las reconciliaciones e inflexibilidades determina el precio de bolsa, la generación real, la generación ideal, el precio de reconciliación y los ingresos para cada central, estos valores son devueltos a los agentes para que determinen sus beneficios.

Metodología de Aprendizaje

Debido a la alta volatilidad en el comportamiento real de los agentes en un mercado de electricidad y la dificultad de conocer el verdadero proceso generador de datos, se propone una metodología de modelamiento del precio de oferta basado en un proceso de aprendizaje que permite a los agentes inferir este comportamiento. En las siguientes secciones se detalla el algoritmo de aprendizaje implementado.

Tareas que afronta el Agente

En cada periodo de ejecución, dependiendo del estado del ambiente, el agente debe realizar una oferta de precio para cada una de sus unidades de generación con el objetivo de maximizar sus beneficios, así que el comportamiento del agente *i* se puede modelar como una función f_i que relaciona los beneficios π_i con las ofertas O_i y estados de ambiente⁴ *A*, es decir, $\pi_i = f_i(A, O_i)$.

Bajo esta representación, un agente tiene dos tareas fundamentales:

- Mejorar su percepción acerca de la correspondencia entre los beneficios, los estados del ambiente y sus ofertas, es decir poder tener la verdadera función $\pi_i = f_i(A, O_i)$.

4 Tal como se mencionó en la sección 4.1, los estados del ambiente presentan tanto variables globales como variables individuales de cada agente.

- En cada periodo de tiempo, seleccionar una oferta de precios con el objetivo de maximizar sus beneficios, es decir encontrar el O_i^* óptimo que maximice los beneficios.

Teniendo en cuenta el mecanismo de asignación de recursos del mercado eléctrico, donde el precio de bolsa es determinado por las ofertas de todos los agentes, el beneficio de un agente se verá influenciado por el comportamiento de los demás, así que $\pi_i = f_i(A, O_{i'}, O_{-i'})$. Ahora bien, aunque el agente conozca la verdadera función $\pi_i = f_i(A, O_{i'}, O_{-i'})$, el carácter simultáneo de las ofertas implica que el agente se encuentra en un escenario de incertidumbre donde no puede tener completa certeza de las selecciones de sus competidores.

En el modelo propuesto se supondrá que el Proceso Generador del Beneficio solo es función de los estados del ambiente A y las ofertas del agente $O_{i'}$, implicando un error de predicción cuando se compara con los beneficios reales. Sin embargo, este error de predicción es a su vez una medida de información sobre el comportamiento de sus competidores, el cual se busca disminuir en la medida que el proceso de aprendizaje es realizado, implicando que el agente se está adaptando a las acciones de sus competidores, hasta llegar a un punto donde el agente pueda escoger las mejores acciones para cualquier acción de sus oponentes.

Modelamiento de la Función de Correspondencia

Como se mencionó anteriormente, una de las tareas de aprendizaje del agente consiste en mejorar su percepción acerca de la correspondencia entre los beneficios, los estados del ambiente y sus ofertas, es decir poder tener la verdadera función $\pi_i = f_i(A, O_{i'})$. Sin embargo, la principal característica de esta función es la alta no linealidad debido a la naturaleza propia

de las variables que componen el ambiente en el que interactúa el agente.

Dentro del modelo propuesto, se utilizó una Red Neuronal Artificial (RNA), la cual ha demostrado ser una herramienta robusta en la simulación de cualquier tipo de comportamiento, especialmente en el caso no lineal y que además exhibe habilidades de aprendizaje y entrenamiento mediante algoritmos tan populares como los métodos de retropropagación del error (Haykin, 1999). Esta red neuronal es utilizada para modelar la no linealidad de la función entre los beneficios del agente, las ofertas del agente y estados del ambiente. La RNA implementada es del tipo Perceptrón Multicapa con $(7+m)$ neuronas de entrada, donde 7 son el número de variables del ambiente y m representa el número de centrales del agente, 2 capas ocultas con 10 neuronas cada una y una neurona de salida que representa la percepción del beneficio por parte del agente y las funciones de activación son sigmoideas simétricas⁵. El diagrama de la red se presenta en la Figura 2.

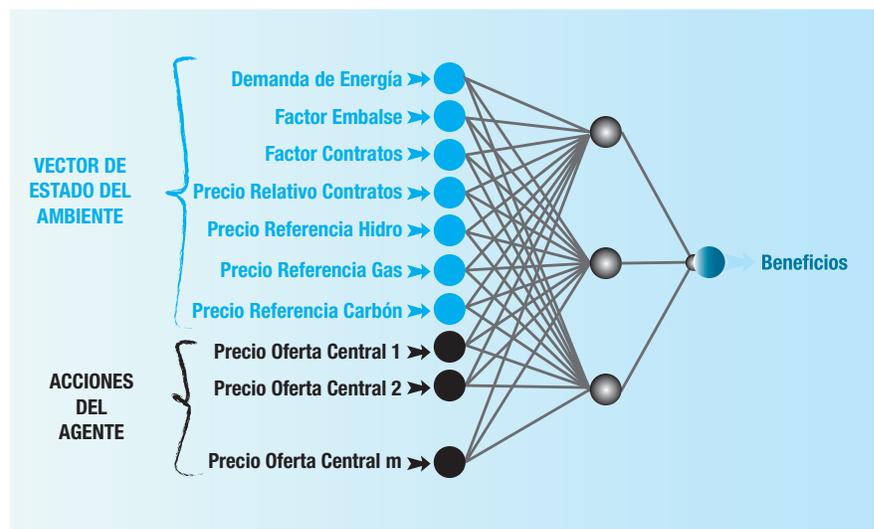


Figura 2. Estructura de la Red Neuronal propuesta

5 Las funciones sigmoide simétricas son del tipo $f(v) = \frac{2}{(1+e^{-v})} - 1$

Maximización del Beneficio

Luego de modelar la función de correspondencia, se debe implementar una metodología de optimización de dicha función. Dado que una RNA actúa en cierto grado como una caja negra en el sentido que es muy difícil describir el comportamiento de la red con una forma funcional sencilla, no se pueden utilizar mecanismos convencionales de optimización para la tarea del agente de maximizar sus beneficios, por lo que se debe utilizar una técnica heurística.

Una metodología de este tipo que ha arrojado buenos resultados en diferentes problemas de optimización son los Algoritmos Genéticos (AG) (Holland,1973) los cuales llevan a cabo una búsqueda guiada en el espacio de soluciones intentando encontrar la solución que minimiza alguna función objetivo. De manera general, los algoritmos genéticos generan una *población* de soluciones, y con base en el valor de la función objetivo para cada una de los *individuos* (soluciones) de dicha población, se seleccionan los mejores individuos (los que minimizan la función objetivo) y se combinan para generar otras nuevas posibles soluciones. Este proceso se repite cíclicamente hasta que se alcanza algún criterio de convergencia. Dentro del modelo propuesto se utilizó un Algoritmo genético para resolver el problema de maximización del beneficio.

En un periodo de ejecución se presenta el estado e del ambiente, convirtiendo la función del comportamiento del agente $\pi_i = f_i(A, O_i)$ en una función $\pi_i = g_i(O_i) = f_i(e, O_i)$ es decir, los beneficios π_i del agente van a ser una función g_i que va a depender únicamente de las ofertas O_i dado el estado e . De esta manera, la tarea del AG es encontrar las ofertas O_i que maximizan la función g_i

Cada población del AG está compuesta por 20 individuos, cada uno de los individuos posee m genes reales que representan las ofertas en precio de las m plantas de generación del agente. La función objeti-

vo del AG es la función g_i . Bajo esta representación, cada vez que el AG es invocado, la función objetivo va a ser diferente y va a depender del estado e del ambiente.

Proceso de Aprendizaje

La metodología para modelar el Proceso Generador del Beneficio y la tarea de maximización se lleva a cabo de la siguiente manera:

Cada agente posee una función $\pi_i = f_i(A, O_i)$ que relaciona los beneficios con los estados del ambiente y las ofertas del agente, la cual es representada por una Red Neuronal Artificial (RNA).

El proceso de maximización del beneficio se lleva a cabo por medio de un Algoritmo Genético (AG) que actúa sobre una función $g_i(O_i) = f_i(A, O_i)$

El proceso de aprendizaje se muestra en la Figura 3 y se explica a continuación:

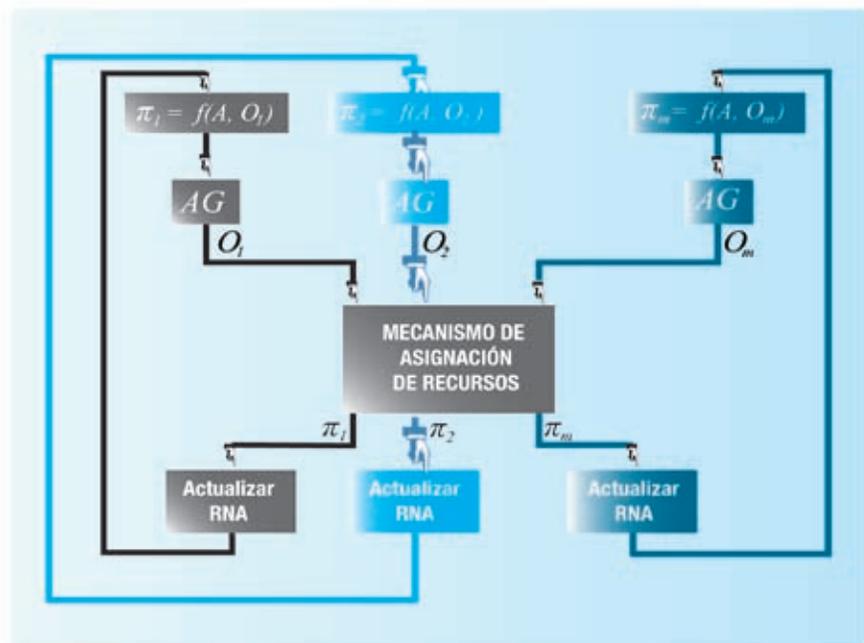


Figura 3. Proceso de Aprendizaje

- En el primer periodo de ejecución se entrena la RNA utilizando los datos históricos reales de los agentes y de esta forma capturar el comporta-



miento real de los generadores. (Explotación de la información)

- En cada periodo de ejecución del modelo se genera estocásticamente un estado e del ambiente, el cual es recibido por los agentes.
- Los agentes utilizan el AG para decidir sus ofertas óptimas O_i^* que maximizan sus beneficios. (Explotación y Exploración de la información).
- El Operador del Mercado determina el Despacho Programado y el Despacho Ideal, información que es retornada a los agentes.
- Los agentes calculan sus nuevos beneficios π_i obtenidos para el estado e y sus ofertas O_i^*
- Ahora los agentes poseen un nuevo vector de datos (π_i, e, O_i^*) que le da información acerca de la dinámica del sistema.
- Los agentes utilizan esta nueva información para aumentar los datos de entrenamiento de la RNA, y así "re-entrenar" su percepción acerca de la correspondencia entre los beneficios, los estados del ambiente y sus ofertas.

Resultados

El modelo desarrollado se utilizó para simular el mercado eléctrico colombiano, utilizando datos reales del mercado colombiano (Neón, 2004) para entrenar a la Red Neuronal Artificial de cada agente, y de esta manera modelar el comportamiento real de los agentes. Los resultados presentados a continuación están basados en simulaciones donde se generaron estocásticamente 25000 realizaciones de los estados del ambiente que corresponden a un número igual de periodos diarios, con el fin de observar el proceso de aprendizaje de los agentes.

Precio de Bolsa

El precio de bolsa es determinado por el Operador del Mercado mediante la realización del Despacho Ideal, y depende de las ofertas realizadas por los agentes. En el modelo, los agentes seleccionan las mejores acciones dependiendo del conocimiento que han adquirido durante el proceso de aprendizaje.

La dinámica del promedio diario del precio de bolsa para cada grupo de demanda se presenta en la Figura 4, en esta gráfica el eje horizontal representa el número de periodos que se presentó una demanda baja, media o alta normalizado en el intervalo de 0 a 100. Al principio los agentes tratan de *explorar* sobre su espacio de búsqueda haciendo que el precio de bolsa alcance valores altos, a medida que los agentes reciben mayor información acerca del funcionamiento del sistema van cambiando sus estrategias con el objetivo de *explotar* la nueva información, haciendo que el precio de bolsa se estabilice.

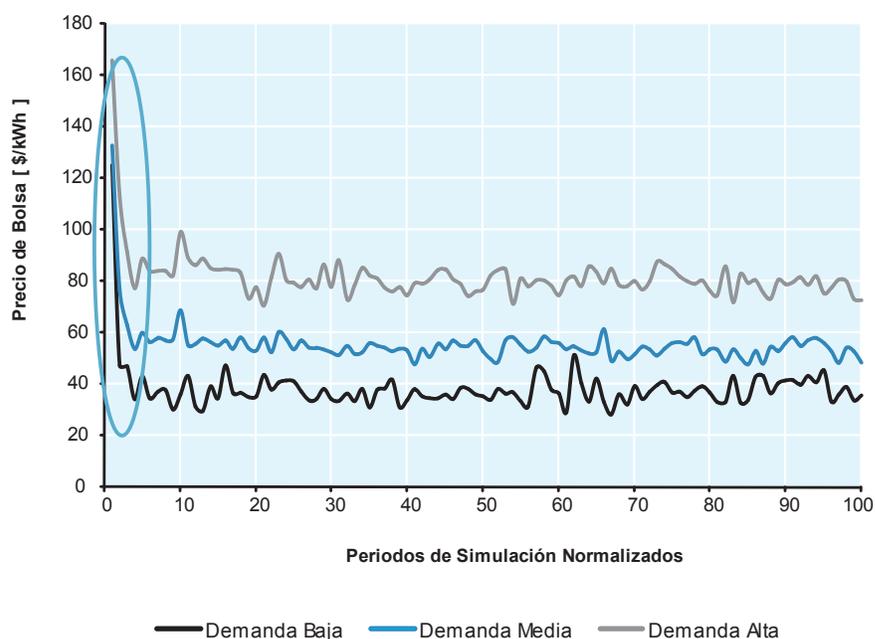


Figura 4. Dinámica del Precio de Bolsa

El modelo propuesto da información acerca del proceso de aprendizaje de cada uno de los 11 agentes simulados, pero para el propósito de este artículo, los



resultados específicos de un agente y los resultados globales del mercado entero se muestran en las secciones siguientes.

Situación de un Agente

Uno de los resultados más interesantes muestra que el beneficio diario de un agente específico experimenta un aumento significativo cuando se compara con los datos históricos, como se puede apreciar en la Figura 5.

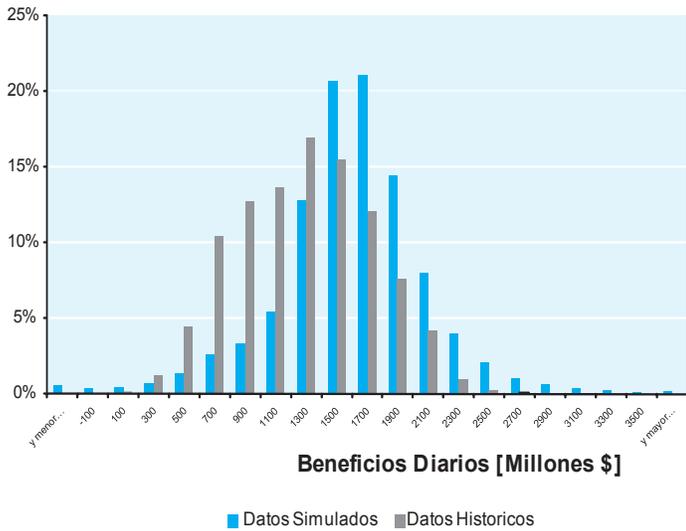


Figura 5. Comparación entre beneficios reales y simulados para un agente específico

Aunque la dinámica de comportamiento del beneficio va a ser diferente para cada estado, el comportamiento general va a tener un patrón similar. Al principio, el agente va a obtener peores resultados y a medida que el proceso de aprendizaje se va dando, los beneficios van aumentando y estabilizándose en un valor. Por ejemplo, en la Figura 6 se presenta la dinámica del beneficio para un estado del ambiente, mostrándose el valor promedio del beneficio obtenido para cada 8 veces que el estado fue generado (línea roja) y la tendencia de este comportamiento (línea negra). Para este estado, el agente comienza obteniendo beneficios menores a USD 450000 y los valores se van incrementando hasta llegar a un promedio de USD 682000.

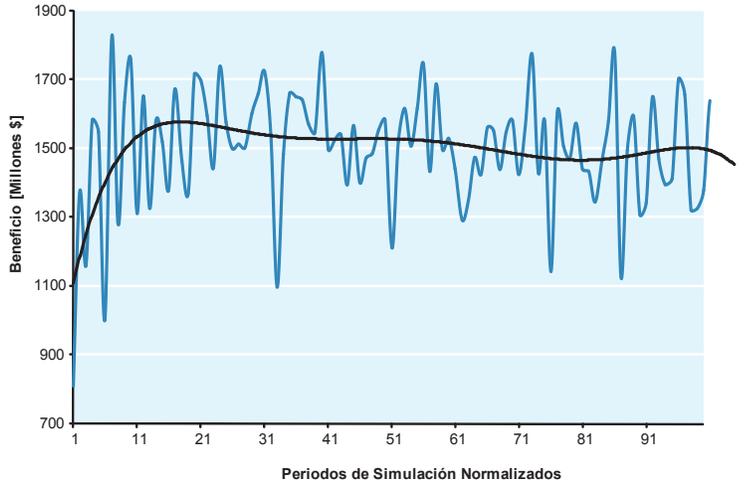


Figura 6. Dinámica del beneficio para el estado visitado más frecuentemente

Situación General de los Agentes

En la Figura 7 se presentan los resultados globales de todos los agentes luego de haber ejecutado el modelo de simulación con la característica de que los agentes poseen la habilidad de mejorar sus estrategias.

Para 3 agentes (AG 1, AG 5, AG 11), el beneficio promedio disminuyó, lo que sugiere que en el mercado eléctrico real estos agentes tienen una mejor estrategia de comportamiento que la encontrada por el modelo de simulación. Cabe anotar que estos tres agentes poseen la mayor participación de plantas térmicas a Gas, mostrando que para agentes que posean centrales con esta tecnología, las condiciones estructurales del mercado colombiano pueden ocasionar que su bienestar empeore cuando son sometidos a un ambiente de interacción donde todos los agentes traten de maximizar su beneficio. Adicionalmente, agentes con centrales hidráulicas y térmicas a Carbón mejoran su situación bajo las condiciones de comportamiento expuestas en el modelo.

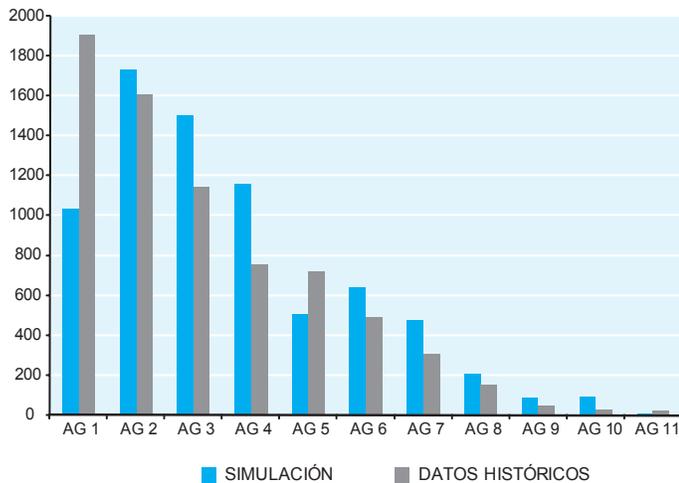


Figura 7. Resultados Globales

Conclusiones

Debido a que en el sistema eléctrico real, el beneficio de los generadores presenta alta volatilidad y no se conoce el verdadero Proceso Generador de Datos, fue necesario desarrollar una metodología de aprendizaje para que los agentes pudieran inferir dicho proceso. Esta metodología multi-agente se encuentra basada en técnicas de computación flexible y se utilizó para que los agentes generadores del sistema eléctrico pudieran poseer una función del Beneficio Económico en términos de sus Ofertas y de las Variables del sistema eléctrico. Igualmente, la metodología permite que los agentes generadores puedan mejorar sus estrategias de comportamiento con el objetivo de mejorar sus beneficios, es decir, los generadores cambian los precios de oferta de sus centrales ocasionando una mejora de los beneficios obtenidos.

En el proceso iterativo del modelo, donde los agentes interactúan en cada periodo de tiempo y junto con el mecanismo que simula su comportamiento, se lleva a cabo el proceso de aprendizaje donde los agentes además de mejorar su percepción del sistema, mejoran sus estrategias de comportamiento. Las acciones tomadas por un agente se encuentran fundamentadas en una Red Neuronal Artificial y un Algoritmo Genético. La Red Neuronal Artificial modela la función de correspondencia del beneficio en términos de los estados del ambiente y las ofertas de los agentes y el

Algoritmo Genético resuelve el problema de optimización del beneficio.

Bajo las condiciones estructurales del sistema eléctrico colombiano y junto con el mecanismo de comportamiento de los agentes, cuando estos son sometidos a una interacción repetida aparecen regularidades globales. En el modelo uno de los resultados más visibles es que al principio los agentes comienzan un proceso de exploración del espacio de búsqueda ocasionando que el Precio de Bolsa sea alto y a medida que aprenden sobre el sistema y sobre el comportamiento de sus competidores tratan de explotar la información que disponen ocasionando una estabilización del Precio de Bolsa.

Para el sistema colombiano, los resultados de la implementación del modelo de interacción donde todos los agentes tienen como objetivo fundamental la maximización de los beneficios, muestran que el beneficio de los agentes que poseen centrales hidráulicas y centrales térmicas a carbón se ve incrementado al realizar una variación en las ofertas de precio de sus centrales. Por otro lado, agentes que poseen centrales térmicas a gas pueden ver sus beneficios disminuidos, este resultado se explica por que los precios de referencia que son producto de los precios de los combustibles para las centrales térmicas a gas son los más altos, indicando que el costo de producción para estas centrales es mayor que para plantas con otra tecnología.

Finalmente, la metodología y los resultados presentados en este artículo permiten descubrir tendencias generales en la dinámica de los precios de oferta y del precio de bolsa bajo unas condiciones estructurales de mercado específicas. Este hecho es un aporte importante a la vez que una herramienta de experimentación de otras condiciones de mercado, pues brinda una plataforma de simulación basado en los objetivos asimétricos de cada uno de los agentes que aprenden en un entorno cambiante a través de la interacción repetida. Esta herramienta representa un aporte tanto al ente regulador del mercado en sus tareas de identificación de fallas de diseño de mercado como al agente generador dentro de su proceso de optimización de estrategias de oferta.



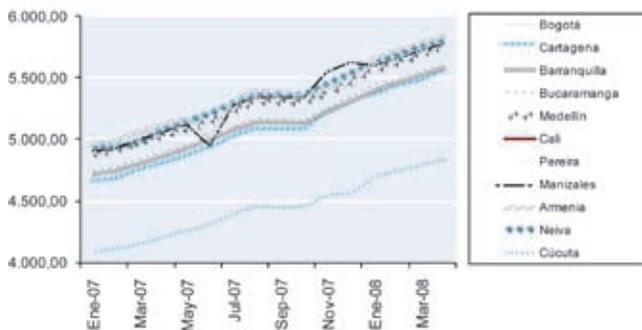
Referencias Bibliográficas

- [Bagnall, A. and Smith, G.](#) (2005). A multi-agent model of the uk market in electricity generation, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 9(5): 522–536.
- [Bower, J. and Bunn, D.](#) (2000). A model-based comparison of pool and bilateral market mechanisms for electricity trading, *Energy Journal* 21(3):–.
- [Day, J. and Bunn, D.](#) (2001). Divestiture of generation assets in the electricity pool of England and Wales: A computational approach to analyzing market power, *Journal of Regulatory Economics* 19(2): 123–141.
- [Haykin S.](#) (1999) *Neural Networks A comprehensive foundation*. Prentice Hall. Second Edition.
- [Holland John H.](#) (1973): Genetic Algorithms and the Optimal Allocation of Trials. *SIAM J. Comput.* 2(2): 88-105
- [Nicolaisen, J., Petrov, V. and Tesfatsion, L.](#) (2001). Market power and efficiency in a computational electricity market with discriminatory double-auction pricing, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 5: 504–523.
- [Oliveira, F. and Bunn, D.](#) (2001). Agent-based simulation: An application to the new electricity trading arrangements of England and Wales, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 5: 493–503.
- [Shun-kun, Y. and Jia-hai, Y.](#) (2005). Agent-based computational economics: Methodology and its application in electricity market research, *IEEE PES General Meeting*.
- [Tsfatsion, L.](#) (2002). Agent-based computational economics: Growing economies from the bottom up, *Artificial Life* 8(1): 55–82.
- [Tsfatsion, L.](#) (2006). *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2 of *Handbooks in Economics*, North-Holland, chapter 16. *Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory*, pp. 831–880.
- [UPME](#) (2005). *Costos indicativos de generación eléctrica en Colombia*, Technical report, Unidad de Planeación Minero Energética.
- [XM](#) (2004) *Sistema de información Mercado de Energía Mayorista NEON*.

Indicadores energéticos

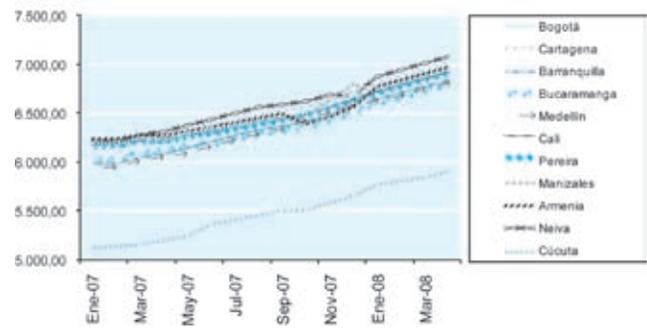


Precio ACPM (Pesos corrientes)



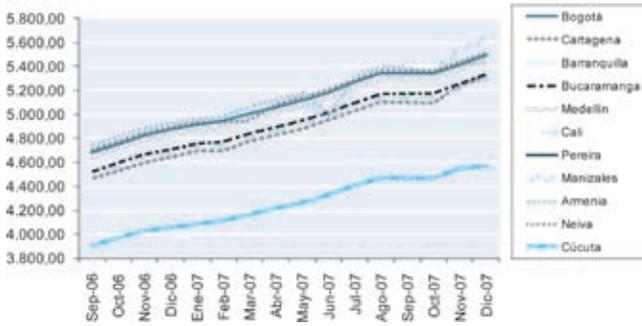
Fuente: UPME

Precio Gasolina Corriente (Pesos corrientes)



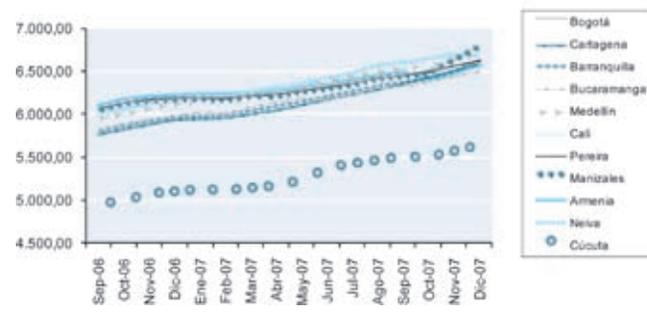
Fuente: UPME

Precio Acpm (Pesos)



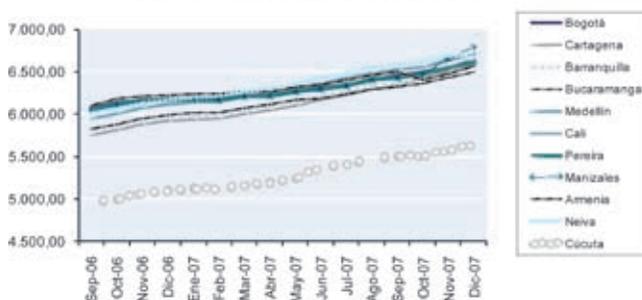
Fuente: UPME

Precio Gasolina Motor Corriente



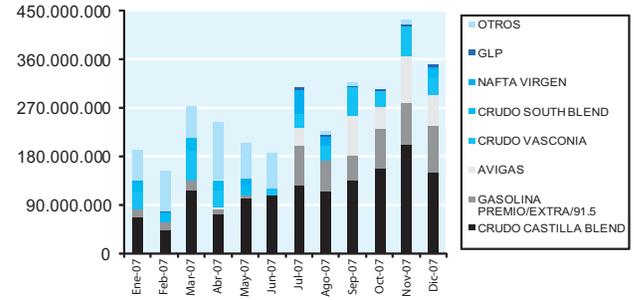
Fuente: UPME

Precio Gasolina Motor Corriente



Fuente: UPME

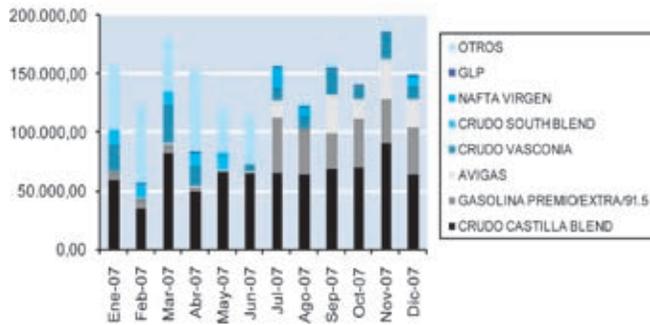
Exportaciones de Ecopetrol (USD)



Fuente: UPME

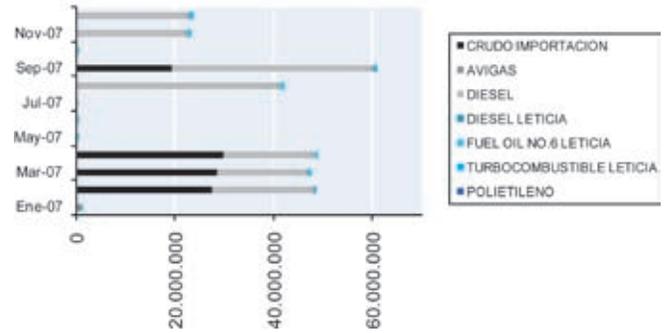


Exportaciones de Ecopetrol (BPDC)



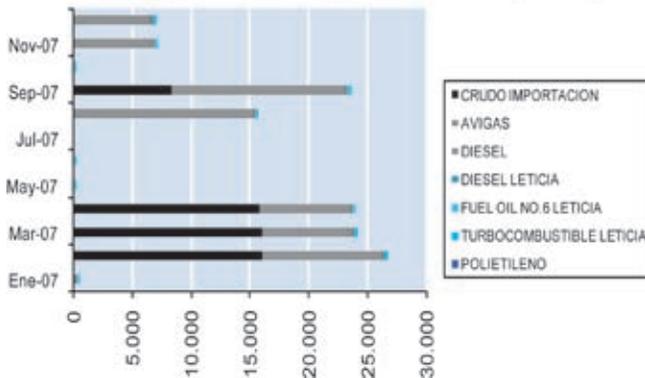
Fuente: ECOPETROL

Importaciones Ecopetrol Petróleo (USD)



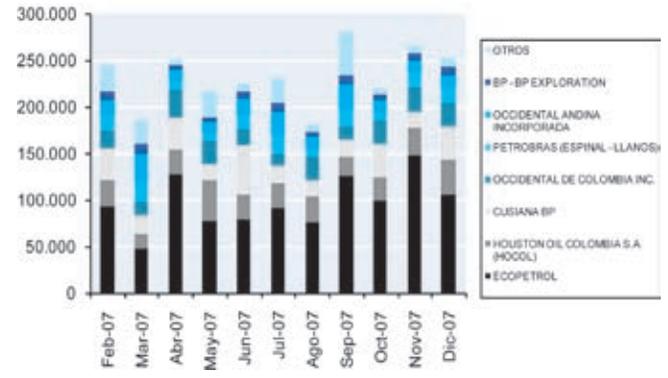
Fuente: ECOPETROL

Importaciones Ecopetrol Petróleo (BPDC)



Fuente: ECOPETROL

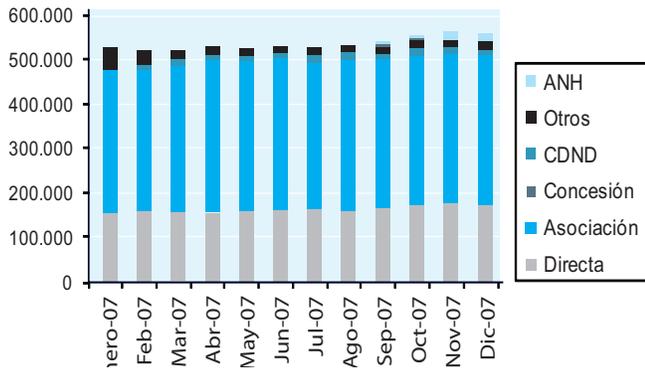
Volumen exportación de crudo por compañía (BPDC)



Fuente: ECOPETROL

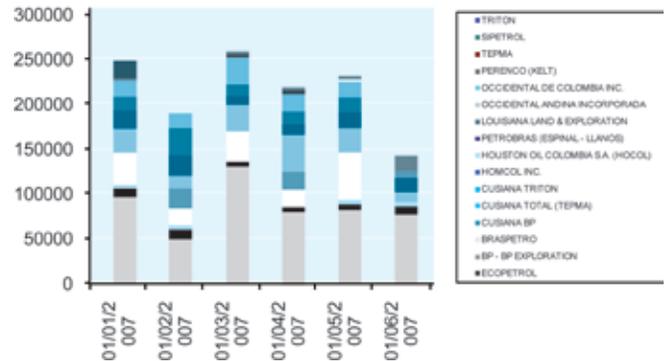


Producción Total de Crudo (BPDC)



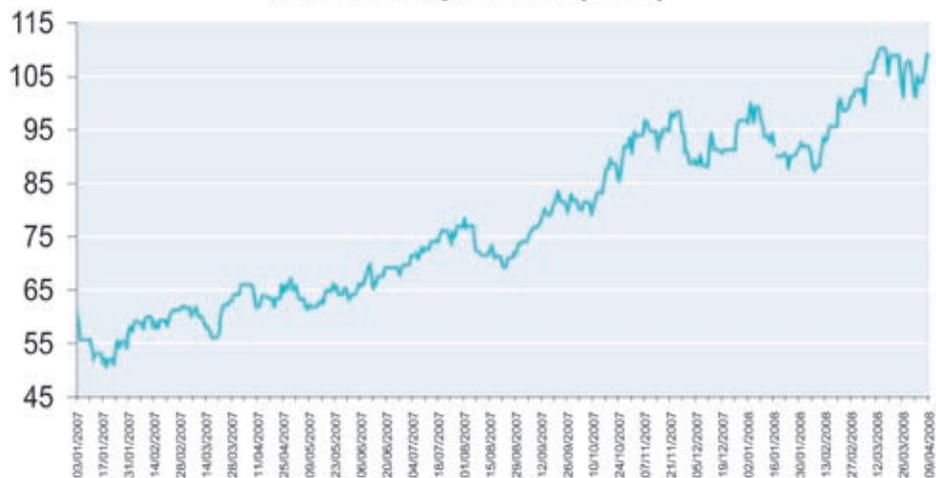
Fuente: ECOPETROL

Volúmen Exportación de Crudo por Compañía (Mensual) BPDC

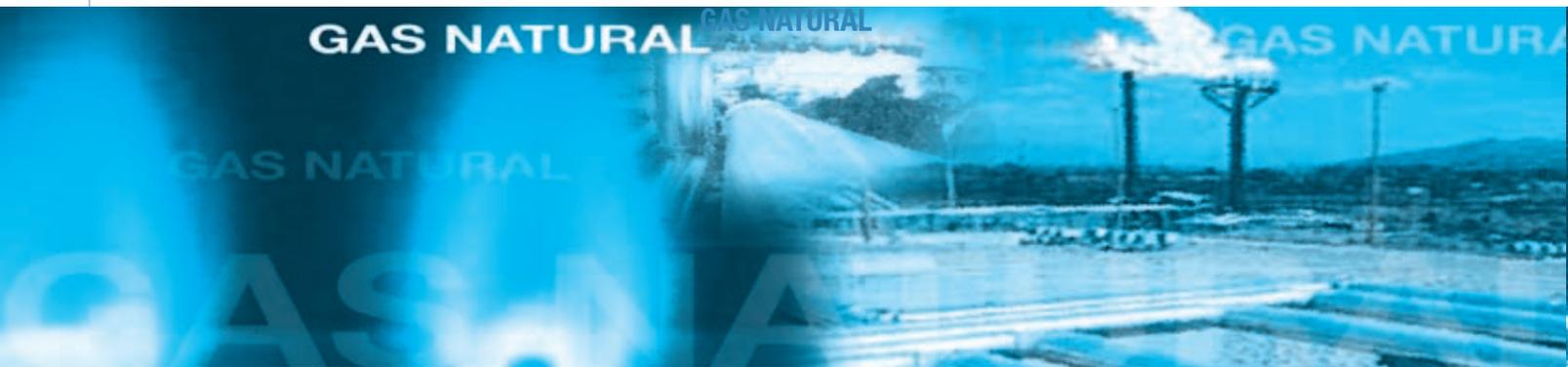


Fuente: ECOPETROL

Precio del petróleo (USD)



Fuente: BP AMOCO



USUARIOS NO RESIDENCIALES DE GAS NATURAL POR ACTIVIDAD



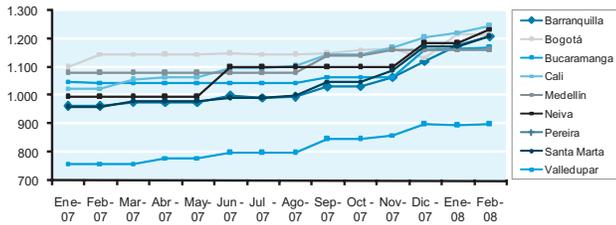
Fuente: SUI

USUARIOS RESIDENCIALES DE GAS NATURAL POR ESTRATO



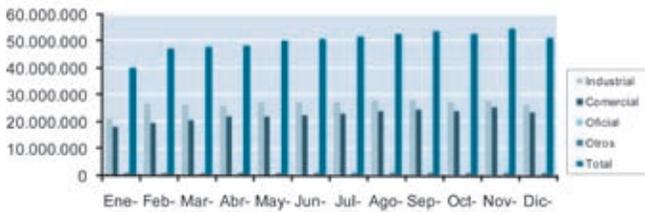
Fuente: SUI

PRECIO GNV \$/Galón



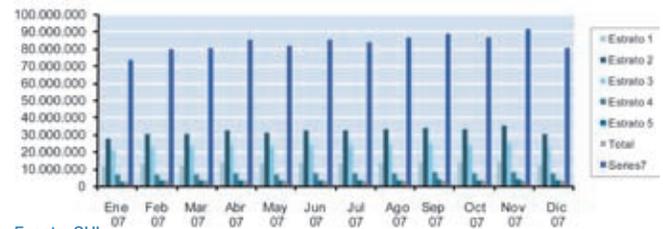
Fuente: UPME

CONSUMO NO RESIDENCIAL DE GAS NATURAL POR ACTIVIDAD MPCD



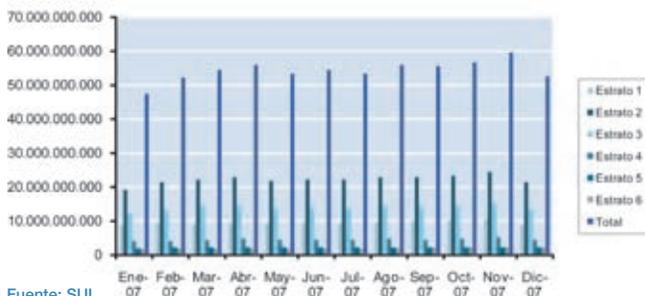
Fuente: SUI

CONSUMO DE GAS NATURAL RESIDENCIALES POR ESTRATO MPCD



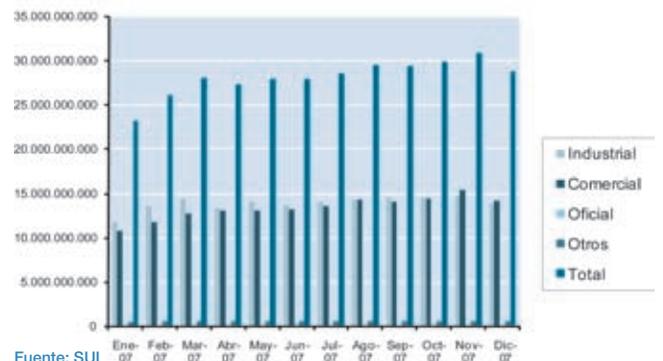
Fuente: SUI

FACTURADO GAS NATURAL POR ESTRATO EN MILLONES DE \$



Fuente: SUI

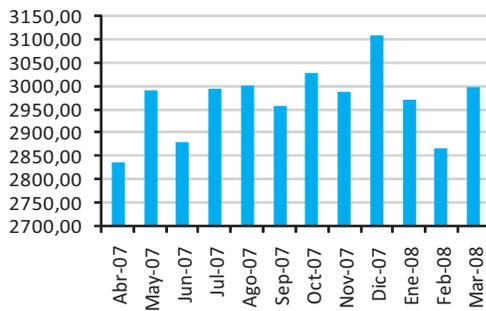
FACTURADO NO RESIDENCIAL GAS NATURAL POR ACTIVIDAD MILLONES DE \$



Fuente: SUI



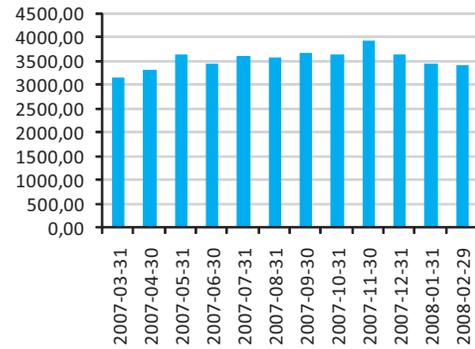
DEMANDA COMERCIAL REGULADA GWh



Fuente: XM

■ DEMANDA COMERCIAL REGULADA GWh

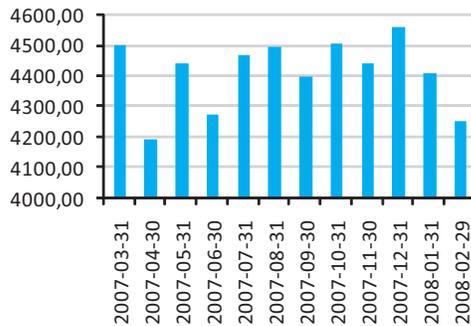
GENERACIÓN HIDRAULICA MENSUAL MWh



Fuente: XM

■ Generación Hidraulica mensual MWh

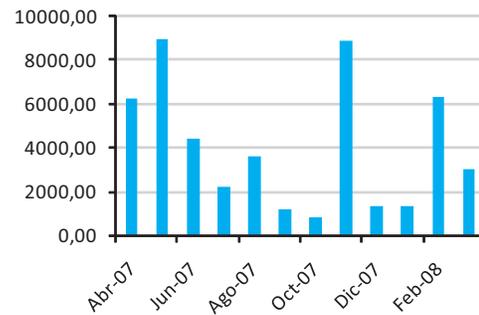
DEMANDA REAL DE ENERGÍA MENSUAL GWh



Fuente: XM

■ Demanda Real de Energía mensual GWh

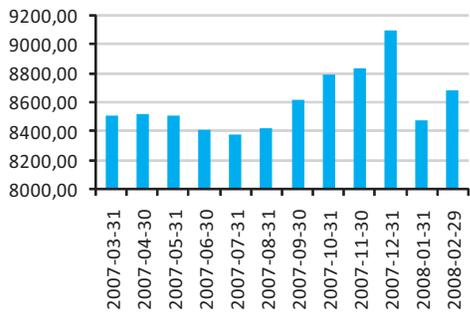
IMPORTACION REAL DE COLOMBIA MWh



Fuente: XM

■ IMPORTACION REAL DE COLOMBIA MWh

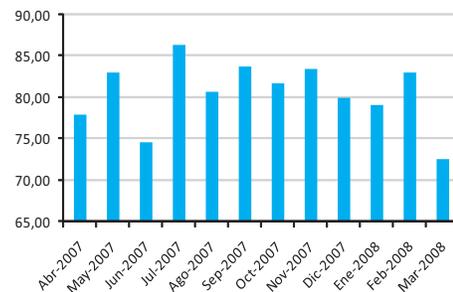
DEMANDA MAXIMA DE POTENCIA MENSUAL MW



Fuente: XM

■ Demanda Maxima de Potencia mensual MW

PÉRDIDAS GWh



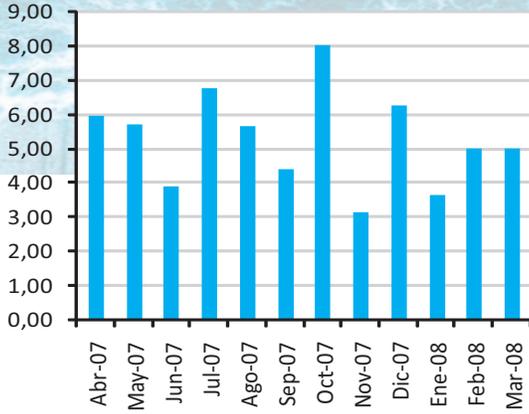
Fuente: XM

■ Pérdidas GWh



ELECTRICIDAD

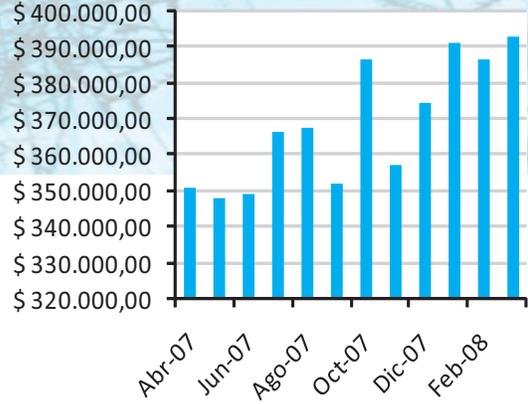
DESVIACIONES GWh



Fuente: XM

■ DESVIACIONES GWh

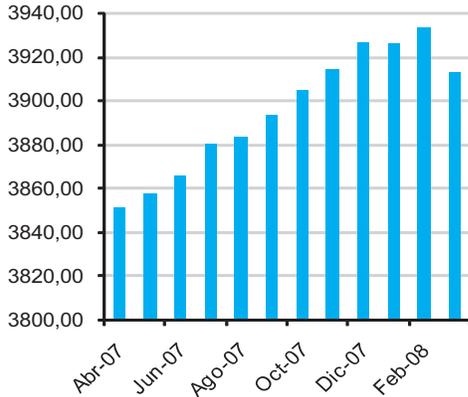
TRANSACCIONES EN CONTRATOS MILLONES



Fuente: XM

■ TRANSACCIONES EN CONTRATOS Millones

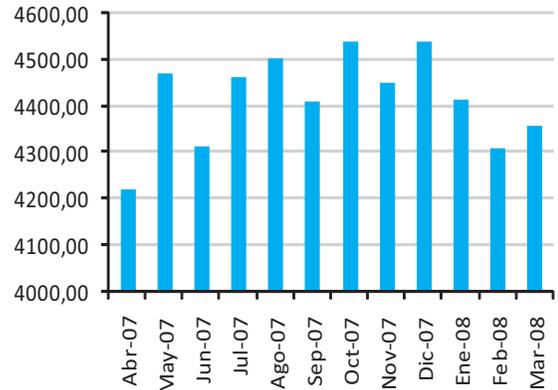
EXPORTACIONES - GWh



Fuente: XM

■ Exportaciones** - GWh

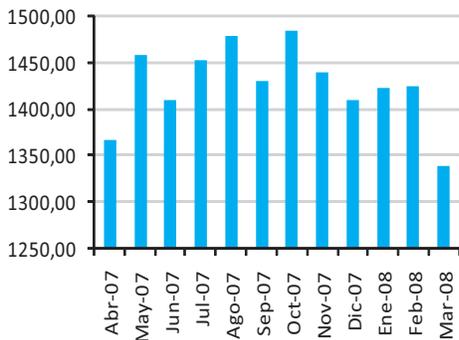
DEMANDA TOTAL DOMESTICA GWh



Fuente: XM

■ DEMANDA TOTAL DOMESTICA GWh

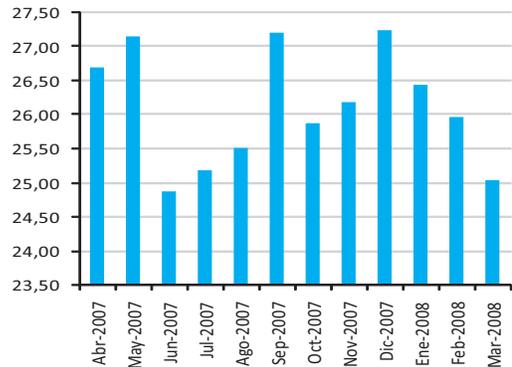
DEMANDA COMERCIAL NO REGULADA GWh



Fuente: XM

■ DEMANDA COMERCIAL NO REGULADA GWh

COSTO EQUIVALENTE DE LA ENERGÍA \$/kWh



Fuente: XM

■ CEE \$/kWh



Pauta para autores

1. La Revista Boletín del Observatorio Colombiano de Energía, del Centro de Investigaciones para el Desarrollo, de la Universidad Nacional de Colombia, considerará para su publicación artículos de la siguiente tipología: de investigación científica y tecnológica, de reflexión, de revisión y cortos. También, reportes de caso, revisiones de temas, documentos de reflexión no derivados de investigación, análisis de coyuntura de autores nacionales o extranjeros en español, inglés y portugués y reseñas bibliográficas, cuyo objetivo sea aportar al avance del conocimiento de los subsectores energéticos. El Consejo Editorial se reserva el derecho de realizar las modificaciones pertinentes.
2. Sólo se tendrán en cuenta para su publicación aquellos documentos que no hayan sido propuestos en otras revistas y cuya información sea 100% veraz.
3. El autor debe solicitar un formato de recepción de artículos, por correo electrónico o personalmente, el cual debe ser diligenciado y enviado junto con el artículo a obsce_bog@unal.edu.co. Éste formato se encuentra en <http://www.fce.unal.edu.co/oce/index.php>.
4. Los trabajos serán sometidos a arbitraje doblemente ciego y evaluados por dos árbitros designados por el comité editorial de acuerdo con los siguientes criterios: originalidad, calidad científica, rigor conceptual y metodológico, claridad y coherencia en la argumentación y en la exposición. Los conceptos de la evaluación se le entregarán o enviarán al autor.
5. La recepción de documentos se realiza durante todo el año y el tiempo de evaluación de éstos será de 30 días hábiles a partir de su recepción.

NORMAS EDITORIALES

1. Los trabajos se deben presentar en formato de Word (texto) o Excel para pc (cuadros y gráficas). Pueden tener hasta 4000 palabras para documentos tipo 4.), 7.) y 8.) y hasta 7000 palabras para documentos tipo 1.), 2.), 3.), 5.) y 6.). Incluyendo notas, referencias bibliográficas y tablas.¹
2. El autor debe incluir los datos de su dirección postal, número de teléfono y correo electrónico. En la publicación únicamente aparecerá el correo electrónico.
3. El resumen en español y en una segunda lengua (portugués o inglés)² debe tener una extensión de máximo 100 palabras. Especificar máximo cuatro palabras clave en español. Las palabras clave deberán ir después del resumen.
4. El título del artículo debe ser explicativo y recoger la esencia del trabajo.
5. Las tablas deben tener un encabezamiento específicamente descriptivo, estar citadas en el texto, y las abreviaturas y símbolos explicados al pie de la tabla.
6. Se requiere que los cuadros, gráficos o mapas sean muy legibles, con las convenciones muy definidas. Cuando sean gráficas originadas en Excel, debe incluirse el archivo fuente de los datos.
7. Las referencias bibliográficas deben conservar el estilo autor–fecha, insertadas en el texto [López 1998], no como nota de pie de página. Cuando la referencia se hace textualmente, el número de la página de donde se tomó debe ir inmediatamente después de la fecha, separado por coma [López

1 Ver definición de tipologías al final del documento.

2 En caso de inhabilidad para escribir en un segundo idioma, el OCE se encargaría de esta tarea



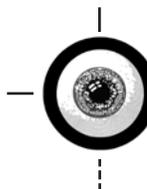
- 1998, 52], si incluye varias páginas [López 1998, 52-53,] y en caso de varios autores [López et al. 1998].
8. Las referencias bibliográficas deben ir al final del texto. La bibliografía debe limitarse a las fuentes citadas en el artículo, y estar ordenadas alfabéticamente por apellido. En caso de registrarse varias publicaciones de un mismo autor, ordenarlas cronológicamente en el orden en que fueron publicadas. Cuando un mismo autor tiene más de una publicación en un mismo año, se mantiene el orden cronológico, y se utilizan letras para diferenciar las referencias de ese mismo año [2001a].
 9. Cuando se usen fuentes de Internet, se debe mencionar el autor, si lo tiene, y la dirección de la página WEB consultada.
 10. Los encabezamientos de cada sección se escribirán en negritas, a la izquierda y en mayúscula sostenida.
 11. Los símbolos matemáticos deben ser muy claros y legibles. Los subíndices y superíndices deben estar correctamente ubicados.

Nota de Copy Right: Los artículos se pueden reproducir citando las fuentes correspondientes.

DEFINICIÓN TIPOLOGÍAS

- 1) *Artículo de investigación científica y tecnológica.* Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro partes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
- 2) *Artículo de reflexión.* Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

- 3) *Artículo de revisión.* Documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.
- 4) *Artículo corto.* Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.
- 5) *Reporte de caso.* Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.
- 6) *Revisión de tema.* Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.
- 7) *Documento de reflexión no derivado de investigación*
- 8) *Reseña bibliográfica.*



Boletín del
OBSERVATORIO
Colombiano de Energía



CID Centro de
Investigaciones
para el Desarrollo



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

Diseño editorial
Impresol ediciones | Mauricio Moreno

Impresión y Acabados
Impresol ediciones Ltda. (57) (1) 250 8244
Bogotá, Colombia.