

Análisis de las metodologías usadas en la detección de posiciones dominantes en el mercado de electricidad mayorista colombiano

Analysis of current practices for detecting market power in colombia's wholesale power market

*Camilo Gallego**, Harold Salazar, Ramón Gallego

Programa de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira.
A.A 97, Pereira, Colombia

(Recibido el 10 de septiembre de 2010. Aceptado el 8 de febrero de 2011)

Resumen

En este trabajo se analiza el estado actual de las diferentes metodologías para determinar posiciones dominantes en el mercado eléctrico mayorista Colombiano. Se indica la existencia de una aproximación en el cálculo del Índice de Lerner (IL), principal métrica para estimar poder de mercado, que conlleva en algunos casos a presentarse sobrestimaciones o subestimaciones de este índice. Se proponen varias alternativas con el fin de demostrar distintas maneras para estimar el poder de mercado y subsanar las dificultades encontradas. Los resultados numéricos indican que es preciso revisar cuidadosamente la metodología vigente en el país.

----- *Palabras clave:* Posiciones dominantes, mercado eléctrico colombiano, índice Herfindahl-Hirschmann (IHH), índice de Suministro Residual (ISR), Demanda Residual (DR), índice de Lerner (IL)

Abstract

The current practices for detecting market power in Colombia's wholesale power market are discussed in this paper. A miscalculation of the Lerner Index, the most common measure of market power, leads to an overestimation or underestimation of market power. Different alternatives to calculate the Lerner Index are proposed in order to have a more accurate estimate of market power. Numerical results indicate that it is necessary to carefully review the current approach in Colombia.

* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 6 + 313 71 22 ext. 122, fax: + 57 + 6 + 313 71 22 ext. 116, correo electrónico: kmilo.gallego2087@gmail.com (C. Gallego)

----- *Keywords:* Market power, Colombia's wholesale power market, Herfindahl-Hirschmann Index (IHH), Residual Supply Index (RSI), Residual Demand (RD), Lerner Index (LI)

Introducción

Un aspecto de especial importancia en los mercados de electricidad mayoristas es monitorear el posible ejercicio de posiciones dominantes. Desde el punto de vista regulatorio, posición dominante o concentración económica es la capacidad que tiene un generador de distorsionar considerablemente el precio de electricidad por encima de sus valores competitivos para beneficiarse unilateralmente. Bajo competencia perfecta, según la teoría microeconómica, generadores y comercializadores maximizan el bienestar social si los generadores ofertan su costo marginal. El precio formado bajo ofertas iguales al costo marginal se considera precio competitivo. Sin embargo, cuando un generador oferta por encima de su costo marginal o no especifica su verdadera capacidad de generación, desde el punto de vista microeconómico, estas acciones igualmente se definen como ejercicio de posición dominante [1-3].

La detección de las posiciones dominantes no es una tarea fácil debido a la complejidad de los mercados de electricidad. La capacidad de un generador, su ubicación geográfica, las restricciones de transmisión, los requerimientos de reserva, la reglamentación vigente, etc., son algunas variables que deben ser consideradas. Estas posiciones se estiman a través de los índices de concentración. Estos índices son los instrumentos más utilizados por las autoridades regulatorias para determinar el grado de concentración que existe en los mercados de electricidad.

Desde el 2006, el Comité de Seguimiento Independiente al Mercado de Electricidad Mayorista Colombiano (CSMEM), estudia el ejercicio de posiciones dominantes en el país [4]. Dicho trabajo utiliza dos métricas, el Índice de Suministro Residual (ISR) y el Índice de Lerner (IL). El primer índice determina aquellos

generadores que son indispensables (pivotes) para la operación del sistema a través de la capacidad de los generadores. Por otro lado, el segundo índice establece la posibilidad de una posición dominante a través de la elasticidad de la demanda residual. Sin embargo, la efectividad de estas métricas es aún motivo de estudio permanente en el análisis de posiciones dominantes en el país [5,6] y en centros de investigación a nivel internacional [7,8].

Metodología

En este trabajo se realiza una comparación cuantitativa de los diferentes índices reportados en la literatura especializada con el fin de determinar posibles ejercicios de posiciones dominantes en el mercado colombiano. Contrario a las estimaciones realizadas en estudios previos, se utilizan diferentes aproximaciones para evaluar el IL. Este nuevo enfoque, justificados analíticamente, proporciona resultados que discrepan con los publicados en [4]. Con este enfoque, y con los resultados numéricos derivados de este, se abre una nueva discusión sobre la efectividad en el cálculo del IL que actualmente se utiliza en el país.

Índices empleados en el estudio de posiciones dominantes

Los índices de concentración están clasificados básicamente en dos grupos: 1) Los índices basados en la participación y 2) Los índices basados en ofertas. El primer grupo, conformado por el Índice Hirschmann-Herfindahl (IHH) y el Índice de Suministro Residual (ISR), estiman las posiciones dominantes con base en la capacidad instalada de los generadores. El segundo grupo, conformado fundamentalmente por el Índice de Lerner (IL), estima la posición dominante basada en las ofertas enviadas por los generadores al operador del mercado.

Índice Herfindahl-Hirschman (IHH)

El IHH es considerado como una medida clásica para la medición de concentraciones económicas y calculado según la ecuación (1).

$$IHH = \sum_{i=1}^m S_i^2 = \sum_{i=1}^m \left(\left(\frac{Cap_i}{\sum_{k=1}^m Cap_k} \right) \times 100 \right)^2 \quad (1)$$

En (1), m representa el número de generadores participantes en el mercado y S_i representa la participación (*Share* en inglés) del generador i en el mercado en términos porcentuales. La participación es definida como la capacidad instalada del generador i , denotada como Cap_i , dividido por la suma de la capacidad instalada de todo el sistema. El valor de *IHH* indica, según evidencias empíricas, lo siguiente: 1) Valores de *IHH* menores que 1000, el mercado no muestra indicios de concentración, 2) valores entre 1000 y 1800 el mercado presenta indicios de una concentración moderada y 3) valores superiores a 1800 el mercado presenta indicios de una alta concentración, es decir, existe un potencial riesgo que un generador o generadores pueden ejercer una posición dominante.

La aplicación de este índice en los mercados electricidad no es conveniente pues no especifica claramente cual generador ejerce una posición dominante, por el contrario, es una medida global, la cual ignora la dinámica propia de los sistemas eléctricos. No obstante, es de uso común como un primer indicativo de la competitividad del mercado.

Índice de Suministro Residual (ISR)

El *ISR* es calculado para cada generador en mérito teniendo en cuenta la demanda del sistema, esto es, todos los generadores llamados a suplir la demanda. El *ISR* establece si la capacidad instalada del generador es lo suficientemente significativa (indispensable) para ejercer una posición dominante. El *ISR* para el generador i en el instante t , denotado como $ISR_i(t)$, está dado por la ecuación (2).

$$ISR_i(t) = \frac{\sum_{k=1}^m Cap_k - Cap_i}{D(t)} \quad (2)$$

En donde $D(t)$ es la demanda del sistema en el instante de tiempo t . Las otras variables siguen la definición introducida en el *IHH*. Observe que un generador se considera indispensable para atender la demanda si su valor es menor a uno. Bajo esta situación, el generador podría estar en capacidad de ejercer una posición dominante. Por otro lado, valores por encima de uno indican que el generador, desde el punto de vista de la capacidad, no podría ejercer una posición dominante. Nótese que este índice cambia con el tiempo, lo cual implica que un generador podría ejercer una posición dominante para ciertas condiciones de demanda.

Índice de Lerner (IL)

Los índices introducidos anteriormente ignoran el hecho que los generadores puede ejercer una posición dominante a través de sus ofertas, las cuales, son requeridas por el operador para determinar el precio del mercado y el despacho del sistema.

Defina $S_j(p)$ como la oferta enviada por el generador j al operador del sistema en función del precio p y $D_t(p)$ como la demanda del sistema en la hora t . Es preciso indicar que esta demanda es inelástica en el corto plazo y por lo tanto no varía con respecto al precio [9]. Las ofertas, en el mercado colombiano, igualmente son conocidas como curvas de disponibilidad. Estas ofertas expresan el mínimo precio (en \$/MWh) de venta al cual está dispuesto a ofrecer cierta capacidad de potencia (en MW). La demanda residual para el generador i en el instante t , denotada como $DR_{i,t}(p)$, es definida por la ecuación (3).

$$DR_{i,t}(p) = D_t(p) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n S_j(p) \quad (3)$$

En (3), n representa el número total de ofertas recibidas por el operador del mercado. Por lo tanto, en el instante t , la demanda residual representa la diferencia entre la demanda (primer término de (3)) y la oferta agregada del sistema excluyendo la oferta del generador i (segundo término de (3)). El principal propósito para la utilización de la curva de demanda residual es realizar análisis de posiciones dominantes.

Índice de Lerner a partir de la curva de demanda residual

La elasticidad de la curva de demanda residual, para el generador i , en el tiempo t , denotada como $\epsilon_{DR_{i,t}}$ y evaluada en el precio de cierre (p_c), es definida de la siguiente manera:

$$\epsilon_{DR_{i,t}} = \left. \frac{\partial DR_{i,t}(p)}{\partial p} \right|_{p=p_c} \times \frac{p_c}{DR_{i,t}(p)} \quad (4)$$

Un caso particular se presenta cuando la curva de demanda residual no es continua. Esta situación se origina cuando las ofertas de los generadores (o disponibilidad) están dadas por bloques de ofertas, como el caso colombiano en donde la oferta es de bloque sencillo. Como resultado, la curva de disponibilidad agregada es discreta y no diferenciable. Para este caso, la elasticidad se define según la ecuación (5).

$$\epsilon_{DR_{i,t}} = \left. \frac{\Delta DR_{i,t}(p)}{\Delta p} \right|_{p=p_c} \times \frac{p_c}{DR_{i,t}(p)} \quad (5)$$

De la ecuación (5), un valor de la elasticidad cercano a cero (curva inelástica) indica que cambios en el precio no producen cambios significativos en cantidad demandada (MW). En otras palabras, el generador i podría cambiar su oferta produciendo un cambio en el precio de cierre sin cambios significativos (respuesta) en la demanda. Por el contrario, un valor alto de la elasticidad significa que la demanda es sensible a cambios en el precio, o en la oferta del generador i . Es importante indicar que la elasticidad de

la demanda residual es negativa pues el primer término de (4) o (5) es negativo; sin embargo, en términos prácticos, es la magnitud la cantidad de interés. Por lo tanto, la elasticidad suele representarse como el valor absoluto de (4) o (5). Con las definiciones introducidas en (4) y (5) se define Índice de Lerner (IL) para el generador i en el instante t , denotado como $IL_{i,t}$ como:

$$IL_{i,t} = \frac{1}{|\epsilon_{DR_{i,t}}|} \quad (6)$$

De (6), una demanda residual *inelástica*, implica un valor del índice de Lerner alto, situación que puede aprovechar un generador para ejercer una posición dominante.

Cálculo actual del IL en Colombia

Debido a la forma discreta de la curva de DR es necesario realizar una serie de aproximaciones para determinar la elasticidad y con ella el IL. En la actualidad, el seguimiento de posiciones dominantes en Colombia es realizado por el CSMEM. Dicho comité determina el IL por medio de una regresión lineal de la curva de DR . La regresión se determina utilizando los últimos cinco precios correspondientes al precio de cierre en la curva de DR [4]. Esto es, según la figura 1, la regresión lineal es hecha desde $p1$ hasta $p5$. Esta regresión es indicada como métrica 1. Una vez determinada la regresión, la elasticidad aproximada de la demanda residual del generador i en el tiempo t es:

$$\epsilon_{DR_{i,t}} \approx \beta \frac{p_m}{DR_{i,t}(p_m)} \quad (7)$$

En donde β es la pendiente de la regresión lineal y p_m es el punto medio en dicha regresión. Un inconveniente de (7) es que la regresión no es calculada en la vecindad del precio de cierre como debería calcularse según la definición de (4). Los precios considerados por la regresión pueden no incluir el precio de cierre como lo indica la figura 1. Aunque en un principio esta aproximación

parece razonable ya que se concentra en una zona de interés por su volatilidad, el hecho de aproximar la pendiente de la DR como una constante puede subvalorar o sobrestimar la elasticidad como quedara evidenciado en los resultados numéricos.

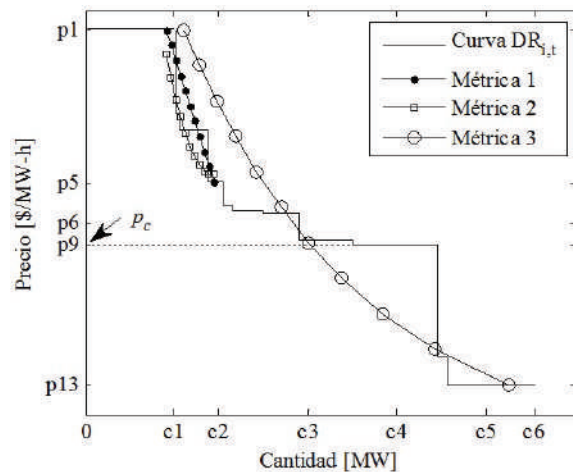


Figura 1 Aproximaciones a la curva de demanda residual

Propuesta alternas para la estimación del IL

Debido a las desventajas presentadas en los índices anteriores y a la forma discreta de DR,

se proponen metodologías con el fin de subsanar las dificultades encontradas en la determinación de concentraciones económicas en el mercado colombiano.

Aproximación no lineal - CSMEM

Una primera propuesta consiste en utilizar los mismos cinco precios que emplea el ajuste del CSMEM, pero realizar un ajuste no lineal. Tres tipos de ajustes comunes son considerados, estos son: 1) Ajuste exponencial, 2) ajuste logarítmico y 3) ajuste potencial, los cuales están indicados matemáticamente en la tabla 1 respectivamente.

Los parámetros α , β y ψ son determinados minimizando el error medio cuadrático. Puesto que las curvas de demanda residual para los distintos generadores son diferentes, este trabajo considera analizar cada curva de forma independiente y, en cada instante de t , determinar el mejor ajuste. Una vez esto, la elasticidad es evaluada de acuerdo con la ecuación (4) y el IL con la ecuación (6). Note que ya no es necesario recurrir a la ecuación (5) puesto que ya se tiene una función continua y diferenciable. Una aproximación de este tipo se indica como métrica 2 en la figura 1.

Tabla 1 Aproximaciones no lineales

<i>Aprox. exponencial</i>	<i>Aprox. logarítmica</i>	<i>Aprox. potencial</i>
$DR_{i,t}(p) = \alpha e^{-p \times \psi}$	$DR_{i,t}(p) = \alpha - \beta \ln(p)$	$DR_{i,t}(p) = \alpha p^{-\psi}$

Aproximación analítica de la elasticidad

Este segundo análisis utiliza todos los datos disponibles para aproximar la curva de la DR. Es importante analizar el efecto, en el cálculo del IL, de considerar todos los datos disponibles y no los cinco valores que emplea la CSMEM. Las aproximaciones seleccionadas corresponden a las indicadas en la tabla 1 y una vez determinado el ajuste, el cálculo de la elasticidad y del IL se realiza con las ecuaciones (4) y (6) respectivamente. Esta aproximación se indica como métrica 3 en la figura 1.

Elasticidad Arco

La elasticidad arco se determina a partir de la variación porcentual de una variable respecto a un valor medio. Considere por ejemplo el precio de cierre p_c . La variación porcentual del precio alrededor de p_c está dada por $(p_s - p_l) / [(p_s + p_l) / 2]$, en donde p_s y p_l son conocidos como precio superior y precio inferior respectivamente, y corresponden a precios equidistantes al precio de cierre, ver figura 2.

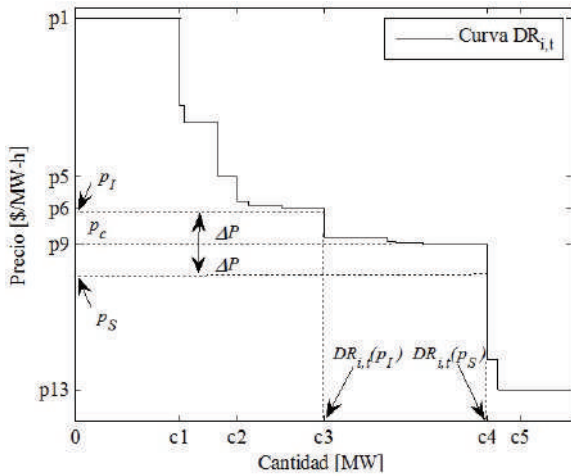


Figura 2 Cálculo de la elasticidad de arco

La elasticidad a través de la elasticidad de arco se define de la siguiente manera:

$$\varepsilon_{DR_{i,t}} \approx \frac{DR_{i,t}(p_S) - DR_{i,t}(p_I)}{p_S - p_I} \times \frac{p_S + p_I}{DR_{i,t}(p_S) + DR_{i,t}(p_I)} \quad (8)$$

En donde $DR_{i,t}(p_S)$ y $DR_{i,t}(p_I)$ corresponden a la demanda residual evaluada en los precios superior e inferior respectivamente [7]. Una dificultad para el cálculo de (8) es que no hay una expresión analítica que indique cual debe ser la distancia entre p_c y p_S ó p_I . Sin embargo, note en la figura 2 que diferentes distancias permite evaluar el comportamiento de la DR en la vecindad del precio de cierre, esto es, permite evaluar cambios alrededor de tal precio. Este análisis de sensibilidad permite establecer zonas en las cuales se presente una baja elasticidad y con ello una posibilidad de ejercer una posición dominante.

Este trabajo evalúa diferentes distancias para la ecuación (8), para ello, inicialmente se determina el siguiente valor:

$$\min\{(p_c), (p_I - p_c)\} \quad (9)$$

Este valor es necesario para establecer un rango en el cual se evalúe las distintas distancias. El mínimo valor se establece con el fin de determinar un rango *factible*, de lo contrario, un rango arbitrario podría producir valores p_S ó p_I tal

que no pueden ser evaluados en la curva de DR. Una vez se establezca el rango, este es dividido en nueve pasos con una distancia entre pasos denominada como ΔP^a . La elasticidad de arco es entonces determinada para valores de $p_c + \Delta P^a$, $p_c + 2\Delta P^a$ y así sucesivamente hasta $p_c + 9\Delta P^a$, este acercamiento permite explorar la curva de DR en la vecindad del precio de cierre. Por último, es importante indicar que la elasticidad arco es calculada teniendo en cuenta la curva de DR en su forma discreta, tal como actualmente ocurre en el mercado eléctrico colombiano.

Por último, es importante indicar que el enfoque de este trabajo no es realizar inferencia estadística a través de un modelo econométrico puesto que las ofertas de los generadores no se consideran observaciones (o muestras) de una población, por el contrario, se parte del hecho que las ofertas de los generadores no son de carácter estocástico pues esta información es requerida y conocida por el operador del mercado, esto es, las ofertas no son muestras de una distribución que modele el comportamiento de los generadores.

Resultados y discusión

El estudio de los distintos índices se realiza con base en las ofertas de los generadores enviadas al operador del sistema el día 5 de Febrero de 2009, las cuales se encuentran disponibles en [10]. Con el objeto de analizar el comportamiento de los índices para diferentes valores de demanda se seleccionaron tres valores: Demanda baja (4600MW, 04:00am), demanda media (7200MW, 12:00pm) y demanda alta (8300MW, 08:00pm).

Cálculo de los índices basados en la participación: IHH e ISR

El cálculo del índice IHH para los distintos valores de demanda es el siguiente: Demanda baja (IHH=1202.13), demanda Media (IHH=933.98), demanda alta (IHH=906.62). De acuerdo a los rangos establecidos para el índice IHH, el mercado para la hora de menor demanda presenta indicios de concentración moderada mientras que no existen indicios de concentración (baja

concentración) para la demanda media y alta. Es interesante observar como no es necesario tener un valor alto de la demanda para ejercer una posición dominante, esto es, los resultados anteriores indican que para bajos valores de demanda el mercado está concentrado lo cual facilitaría el ejercer poder en el mercado.

Considere ahora el índice *ISR*. Los resultados del cálculo de este índice se muestran en la figura 3 y al igual que los valores *IHH* se determinan para los tres valores de demanda.

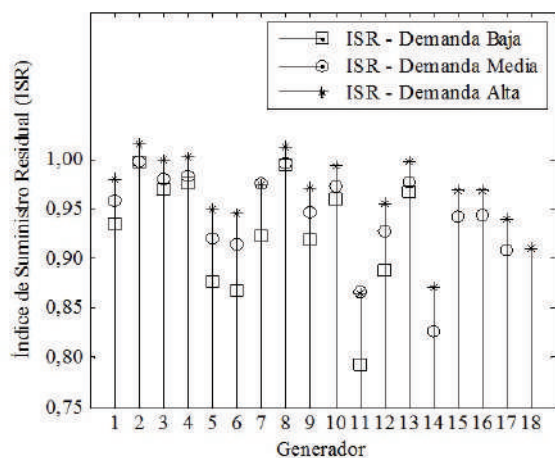


Figura 3 ISR para las condiciones de demanda establecidas

Para la condición de baja demanda (líneas verticales cuya parte superior es un cuadrado), el menor valor de *ISR* lo presenta G11 mientras que G2 y G8 (las convenciones se presentan en el apéndice) presentan los mayores valores para la condición de baja demanda. Es importante anotar que la mayoría de generadores presenta valores por debajo de uno (generadores pivotes). Por otro lado, para las condiciones de demanda media y alta, el número de generadores cuyos valores son menores que uno disminuye, situación que indica que la posibilidad de ejercer posiciones dominantes igual disminuye. Observe que resultados de las métricas basadas en la participación (capacidad de los generadores) muestran un comportamiento similar. No obstante, los resultados del *ISR* proporcionan mayor información puesto que determina el

índice para cada generador y tiene en cuenta las condiciones de la demanda.

Cálculo del índice de Lerner

Estimación del IL con aproximaciones analíticas

En esta sección se muestra los valores del IL para los distintos valores de demanda. Inicialmente se determina el IL empleando tres aproximaciones diferentes. La métrica 1, aproximación lineal sugerida por la CSMEM e indicada en las gráficas de resultados como líneas verticales con asterisco en su parte final. La métrica 2, aproximación no lineal de la curva de demanda residual empleando los valores sugeridos por el CSMEM e indicada como líneas verticales con círculo al final. Finalmente, La métrica 3, aproximación analítica de la elasticidad empleando todos los valores de la curva de demanda residual e indicada con líneas verticales con cuadrados.

La figura 4 muestra el resultado del IL empleando las tres métricas para una situación de baja demanda y considerando únicamente los generadores en mérito. En general se observa que la métrica 3 presenta los menores valores. La métrica 1 y 2 tiene valores similares excepto para G11, G12 y G13. Esto último indica que una aproximación no lineal no presenta una diferencia cualitativa sustancial respecto a la estimación lineal del CSMEM. Si se acepta que una aproximación lineal es la correcta, entonces un cálculo del IL empleando la métrica 3 subestima el análisis de poder de mercado.

Considere ahora el caso del valor de demanda media. La figura 5 muestra el valor del IL empleando nuevamente las tres métricas. Tal como lo describe el CSMEM en [4], al incrementar el valor de demanda, el poder de mercado que se puede ejercer es menor. Esto podría ser cierto si este juicio se hace con base en las métricas 1 y 2 cuyos resultados cuantitativos (excepto para G14) son similares. De hecho, comparando los valores de las métricas 1 y 2 en la figura 4 con los de la figura 5, se nota una disminución de esos

valores. Note que la métrica 3, para este valor de demanda, toma valores que sobrepasan a las métricas 1 y 2, situación opuesta a la de la figura 4. La razón de este comportamiento se explica ya que el IL se calcula en el precio de cierre y no en el último precio como lo indica el CSMEM. Note que esta discrepancia conceptual, produce resultados cuyos indicios son diferentes a las que actualmente se indican en los estudios en el país.

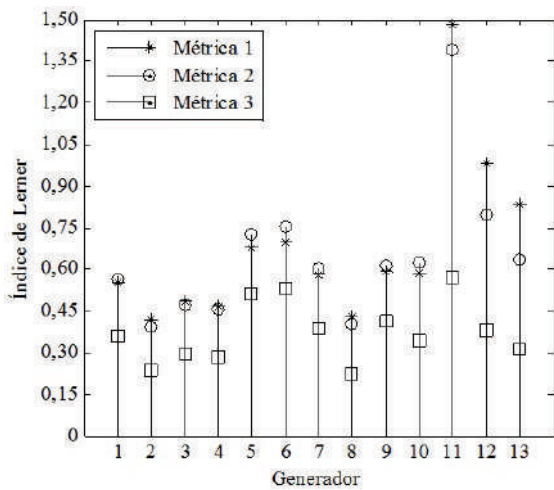


Figura 4 IL para una condición de baja demanda

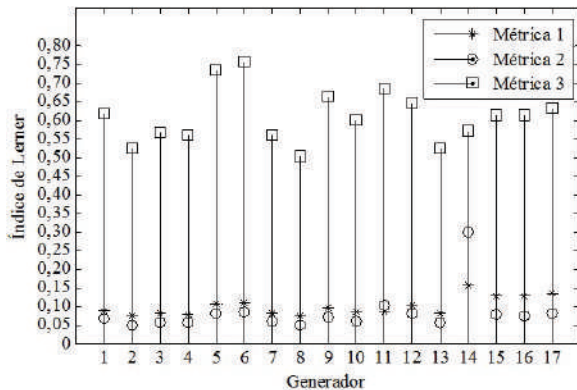


Figura 5 IL para una condición de demanda media

Considere finalmente el cálculo de las métricas para un valor de demanda pico. Los resultados se muestran en la figura 6. Inicialmente se observa que no existe una estrecha cercanía entre los valores de las métricas 1 y 2, situación que implica

que una aproximación lineal (métrica 1) presenta diferencias con respecto a una aproximación no lineal (métrica 2). En otras palabras, para esta condición de demanda los resultados entre una u otra aproximación podrían llevar a conclusiones incorrectas. Otra observación es respecto a la métrica 3, al igual que la figura 5, por lo general presenta mayores valores que las otras dos métricas. Nuevamente el hecho de aproximar toda la curva y estimar la elasticidad en el punto de cierre conduce a resultados que discrepan de forma considerable con la aproximación conceptual del CSMEM. Por último, comparando los resultados de las figuras 4, 5 y 6 se observa que para las tres condiciones de demanda analizadas, se aprecia como G5, G6, G11 y G14 presentan los valores más altos del IL (según la métrica 3), situación que implicaría una vigilancia más cercana ante la posibilidad de tener un poder de mercado.

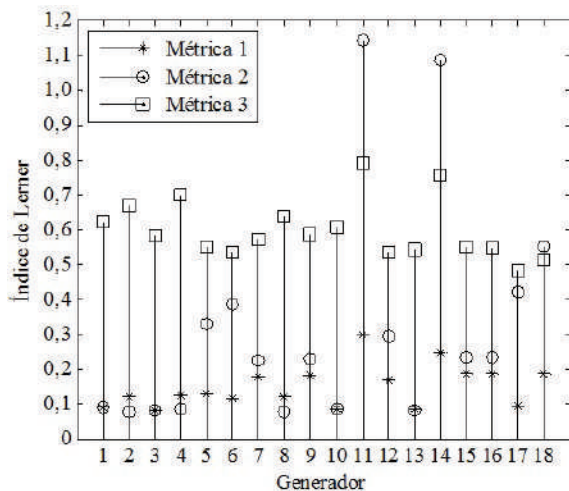


Figura 6 IL para una condición de alta demanda

Cálculo del IL con la elasticidad de arco

Tal como se explicó antes, es posible determinar el IL a través de la elasticidad de arco. Uno de los inconvenientes para determinar el IL aplicando la ecuación (9) es que es preciso determinar los valores del precio superior e inferior, esto es, p_s y p_l respectivamente. Este trabajo propone calcular la elasticidad de arco para diferentes valores de ΔP^a , el cual se define como la distancia entre el

precio de cierre y el valor del precio superior o inferior. Para todas las simulaciones, y con el objeto de tener un amplio espectro de evaluación, nueve valores, como se indicó en la sección “Elasticidad Arco”, son seleccionados para calcular la elasticidad de arco.

Considere el caso de baja demanda cuyos resultados se muestran en la figura 7. El *eje x* corresponde a los distintos generadores, el *eje y* corresponde a los diferentes pasos de ΔP^a , en donde el rótulo de 1 en el *eje y* representa el valor $p_c + \Delta P^a$, 2 representa $p_c + 2\Delta P^a$ y así sucesivamente, y finalmente el *eje z* corresponde al IL estimado con el ecuación (9). Los pasos ΔP^a son diferentes para cada generador pues la curva de DR es distinta para cada uno de ellos. Por ejemplo, para condiciones de demanda baja los pasos para todos los generadores fueron de \$211/MWh, para demanda media los pasos estuvieron entre \$276/MWh y \$5443/MWh y para alta demanda entre \$1331/MWh y \$14333/MWh. Esto demuestra que para la hora de alta demanda la volatilidad del mercado es más grande que el resto de escenarios.

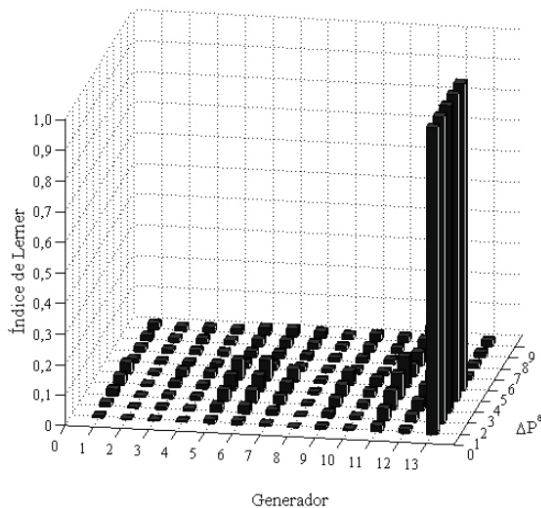


Figura 7 IL para hora de baja demanda mediante la elasticidad arco

En general, para la hora de baja demanda, el IL estimado con la elasticidad de arco indica baja probabilidad para ejercer una posición dominante por parte de la mayoría de los generadores.

Situación contrario ocurre con el G13 el cual presenta un valor alto del IL. Para este generador, un resultado interesante se presenta para los primeros cinco pasos de ΔP^a . Estos pasos indican que la elasticidad de la curva de DR es baja en la vecindad del precio de cierre. Para valores alejados, mayores que el sexto paso, la DR no presenta bajos valores de elasticidad como lo manifiesta el IL. Este comportamiento sugiere que el G13, marcador de precio para esta condición de demanda, podría incrementar su oferta sin una reacción de la demanda (parte de baja elasticidad) y con ello ejercer un poder de mercado. Este resultado igual manifiesta una de las ventajas de esta metodología pues permite evaluar la DR en los alrededores del precio de cierre.

Considere ahora el valor de la demanda media cuyos resultados se muestran en la figura 8. Tres generadores se destacan. Se observa como el IL del G11 y el G14 aumenta a medida que aumenta los pasos, esto implica, que la DR para cada uno de estos generadores es más inelástica a medida que se aleje del precio de cierre. Como consecuencia, estos generadores podrían modificar sus ofertas para explotar esta baja elasticidad. El tercer generador corresponde a G17 cuyo comportamiento es similar a G13 de la figura 7, esto es, este generador inicialmente se enfrenta a un parte de baja elasticidad la cual puede ser aprovechada para ejercer una posición dominante.

Considere finalmente la condición de alta demanda cuyos resultados se muestran en la figura 9. Note como un mayor número de generadores presenta un incremento de su IL comparado con los dos casos anteriores. Por ejemplo, el caso de G5, G6 y G7, cuyos valores en las figuras 8 y 9 son despreciables (cerca de cero), sus valores, en la figura 9, están por encima de 0.2. Aunque este valor no representa, según la interpretación del IL, mayor riesgo de poder de mercado, su participación bajo esta condición de demanda ya no es completamente despreciable. Para este escenario, G18, generador marcador de precio, presenta un comportamiento diferente a los marcadores de precio de las figuras 7 y 8, esto es, los valores del IL no son los mayores comparados con el resto de generadores.

Para este caso, los mayores valores los presentan G11 y G14, lo cual indica que estos generadores podrían ejercer una posición de mercado aun cuando no son generadores marcadores de precio. De hecho, como se evidencia en la figura 9, estos dos generadores están enfrentados a una parte inelástica de la DR que permitiría modificar sus ofertas.

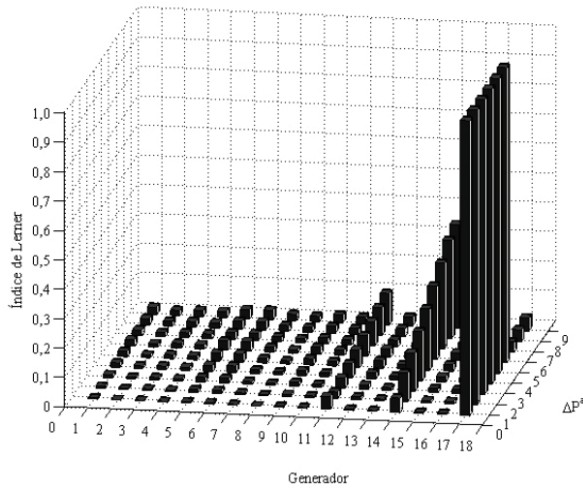


Figura 8 IL para hora de demanda media mediante la elasticidad arco

Los resultados de las figuras 4, 5 y 6 tienen algunas similitudes respecto al cálculo de la elasticidad

de arco, figuras 7, 8, 9. En concreto, para los generadores G7, G11 y G14, el cálculo del IL con aproximaciones analíticas, presentan igual resultado que el cálculo de la elasticidad de arco. Sin embargo, para los generadores G2, G4 y G8 se observan resultados contrarios. Esto indica que la evaluación de posiciones dominantes requiere el uso de varios índices para concluir si efectivamente un generador está ejerciendo un poder de mercado. Por último, la siguiente tabla resume las principales observaciones sobre las distintas métricas según resultados numéricos obtenidos.

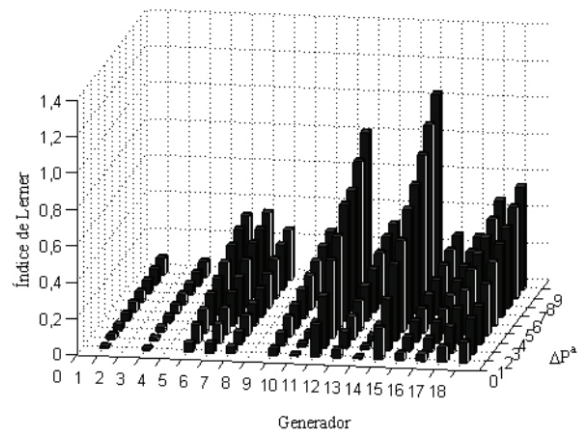


Figura 9 IL para hora de demanda pico mediante la elasticidad arco

Tabla 2 Observaciones finales

Métrica	Observaciones
Índice Herfindahl-Hirschmann (IHH)	Esta métrica no especifica de forma particular la posibilidad que tiene un generador de ejercer poder de mercado.
Índice de Suministro Residual (ISR)	Esta métrica, de mejor comportamiento que el índice IHH, tiene el inconveniente, según los resultados numéricos, de ignorar las ofertas de los generadores y solo considerar la capacidad de los mismos.
Metodología por el CSMEM	Los resultados numéricos indican que esta métrica puede en algunos casos subestimar y en otros sobreestimar posiciones dominantes. Se recomienda complementar el análisis con otras métricas.
Cálculo del Índice de Lerner (IL) de forma Analítica	En promedio, los resultados son de mayor confianza pues evalúan el IL a través de mejores aproximaciones, cuantificadas con el R^2 .
Índice de Lerner (IL) calculado a través de la elasticidad de arco	Según los resultados, una alternativa conveniente para evaluar una posición dominante cuando se desea explorar el comportamiento del IL, y con esto el de un generador, en la vecindad del precio de cierre.

Conclusiones y trabajo futuro

Los resultados de este trabajo evidencian que el índice actualmente empleado por el CSMEM puede subestimar o sobrestimar el poder de mercado. Aunque los análisis numéricos se realizan con base en la demanda y ofertas de un solo día, contrario a la CSMEM, que realiza un promedio sobre un horizonte de tiempo, es preciso revisar esa metodología para no caer en una sobreestimación o subestimación. Aunque la ofertas de un día no proporcionan suficiente información para determinar el posible ejercicio de una posición dominante, con la metodología desarrollada en este trabajo se puede establecer un análisis del comportamiento histórico de un generador. Sin embargo, antes de realizar un análisis histórico, es necesario conocer la efectividad de las métricas, esto es, sus ventajas y desventajas, tal como se realiza en esta investigación.

Por otro lado, este trabajo igualmente muestra que las medidas basadas en la participación como el IHH y el ISR no consiguen valorar adecuadamente el ejercicio de posiciones dominantes en mercados de electricidad mayoristas. Así mismo, en este trabajo se calcula la elasticidad de arco de una forma novedosa. El estudio en [7] señala el inconveniente para el cálculo de esta métrica. Como se demostró en este trabajo, es posible establecer un rango de factibilidad y con ello explorar las curvas de demanda residual en la vecindad del precio de cierre. Esta exploración permite determinar rangos de baja elasticidad y con ello la posibilidad de ejercer un poder de mercado. Por último, en futuros trabajos se espera incorporar los efectos de la red de transmisión con el fin de medir su grado de influencia dentro de los análisis de posiciones dominantes. Adicionalmente, los contratos bilaterales que distintos generadores puedan tener, también se deben considerar, pues es sabido que afecta la estimación del poder de mercado. Modelos de equilibrio en donde se tomen

en consideración las características del mercado Colombiano son igualmente necesarios para analizar el posible ejercicio de poder de mercado.

Referencias

1. H. R. Varian. *Microeconomic Analysis*. 3ª. ed. Ed. Norton. New York. 1992. pp. 25-40.
2. S. Stoft. *Power System Economics: Designing Markets for Electricity*. Ed. IEEE Press & Wiley Interscience. 2002. pp. 316-365.
3. M. Joung, R. Baldick, J. Kim. "Strategic Behavior in Electricity Capacity Markets". *International Conference on System Sciences*. Hawaii. 2009. pp. 1-6.
4. Comité de Seguimiento Independiente al Mercado de Energía Mayorista (CSMEM). Informes de seguimiento mensual. <http://www.superservicios.gov.co/MEM/>. Consultada el 29 de abril de 2009.
5. M. Santa María, Nils-Henrik Von Der Fehr, J. Millán, J. Benavides, O. Gracia, E. Shutt. "El Mercado de la Energía Eléctrica en Colombia: características, evolución e impacto sobre otros sectores". Fedesarrollo. <http://www.acolgen.org.co/>. Consultada el 3 de diciembre de 2009.
6. F. A. Wolak. "Report on Market Performance and Market Monitoring in the Colombian Electricity Supply Industry". <http://www.superservicios.gov.co/MEM/>. Consultada el 5 julio 30 de 2009.
7. F. A. Wolak. "Measuring Unilateral Market Power in Wholesale Electricity Markets: The California Market, 1998-2000". <http://www.stanford.edu/~wolak>. Consultada el 29 de abril de 2009.
8. P. Twomey, R. Green, K. Neuhoff, D. Newbery. "A Review of the Monitoring of Market Power". Massachusetts Institute of Technology Center for Energy and Environmental Policy Research. <http://ideas.repec.org/p/cam/camdae/0504.html>. Consultada el el 29 de abril de 2009.
9. D. Kirschen, G. Strbac. *Fundamentals of Power System Economic*. Ed. John Wiley & Sons. University of Manchester Institute of Science & Technology (UMIST). Inglaterra (UK). 2004. pp. 16-92.
10. Parque generador del sistema eléctrico colombiano. <http://www.xm.com.co/Pages/PreciodeOfertaInicial.aspx>. Consultada el 5 de febrero de 2009.

Apéndice

Gen.	Nombre	Gen.	Nombre	Gen.	Nombre	Gen.	Nombre	Gen.	Nombre
G1	Tasajera	G5	Guatapé	G9	Miel1	G13	Jaguas	G17	Tebsa
G2	Yopal2	G6	Pagua	G10	Playas	G14	Guavio	G18	Chivor
G3	Urrá	G7	Betania	G11	S. Carlos	G15	Alban		
G4	Calima1	G8	Prado	G12	Guatron	G16	Porce2		