EL TRIMESTRE ECONÓMICO, vol. LXXII (2), núm. 286, abril-junio de 2005, pp. 391-408

UN MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL PARA LA FIJACIÓN DE PRECIOS DEL GAS NATURAL EN MÉXICO*

Dagobert L. Brito y *Juan Rosellón***

RESUMEN

La Comisión Reguladora de Energía de México ha implantado una regla de enlace hacia atrás para unir el precio del gas natural mexicano al precio del gas natural de Tejas. Este ensayo demuestra que en una economía abierta, en la que los agentes escogen entre el gas y otros combustibles, y en la que la función de densidad que describe la distribución de los agentes a lo largo del gasoducto puede tener intervalos vacíos y puntos de acumulación, la regla de enlace hacia atrás es óptima en el sentido de Pareto.

ABSTRACT

The Comisión Reguladora de Energía of Mexico has implemented a netback rule for linking the Mexican natural gas price to the Texas natural gas price. This paper shows that in an open economy where agents can chose between gas and alternative fuels, and where the density function describing the distribution of agents along the pipeline can have intervals that are empty and mass points, the netback rule is Pareto optimal.

INTRODUCCIÓN

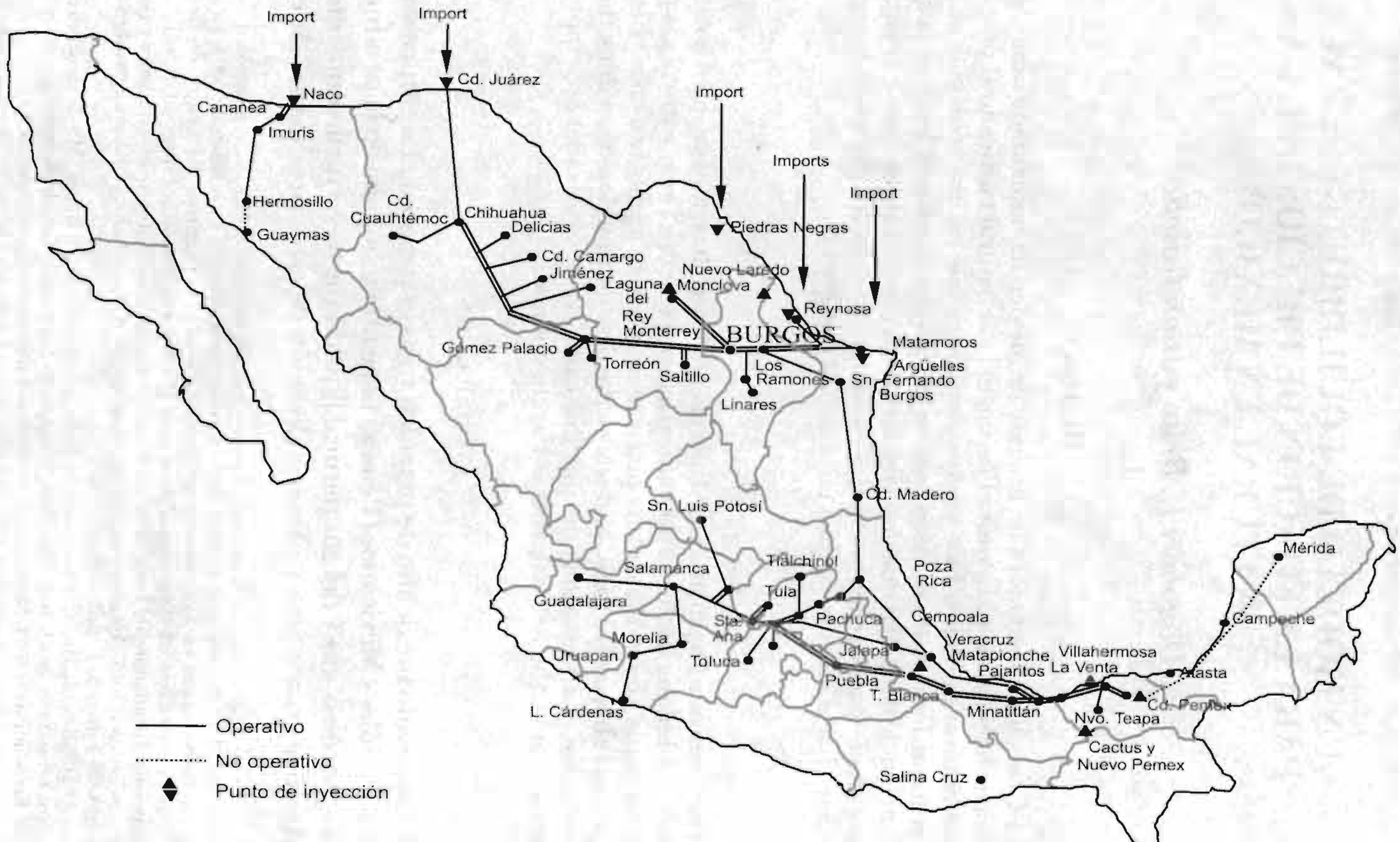
El mercado mexicano de petróleo y gas es peculiar. La empresa estatal Petróleos Mexicanos (Pemex) tiene un monopolio en la producción de petróleo, gas y del gas natural líquido y está verticalmente integrada en el transporte y comercialización de estos productos.[1] Además,

* *Palabras clave*: gas natural, bienestar, fijación de precios, México, regulación. *Clasificación JEL*: L51. Artículo recibido el 20 de mayo y aprobado el 21 de octubre de 2004. La investigación presentada en este ensayo fue financiada por un donativo del Centro de Economía Política Internacional al Instituto Baker para Política Pública de la Universidad Rice, y por la Comisión Reguladora de Energía en un donativo otorgado al Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE). Agradecemos las sugerencias de William Lancy Littlejohn [traducción del inglés de Eduardo L. Suárez].

** Dagobert L. Brito, Departamento de Economía e Instituto Baker [MS-22] (correo electrónico: brito@rice.edu). Juan Rosellón, División de Economía, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), México (correo electrónico:juan.rosellon@cide.edu).

[1] Una reforma parcial de 1995 permitió nuevos proyectos privados de transporte y distri-

Mapa 1



Fuente: Pemex.

el gas es un producto elaborado junto con el petróleo, un hecho que torna imposible la asignación de los costos de producción sólo al gas natural.[2] Por otra parte, la propiedad pública de los recursos energéticos de México es políticamente decisiva. Las empresas extranjeras eran al principio propietarias de toda la industria petrolera; su nacionalización se consideró como un símbolo de la soberanía mexicana. En la actualidad, la privatización de Pemex sería impensable en términos políticos.

Así pues, las dificultades técnicas e institucionales constituyen problemas importantes para la regulación del precio del gas natural mexicano. La Comisión Reguladora de Energía (CRE) resolvió el problema utilizando un precio de referencia del gas natural del sudeste de Tejas. El precio del gas natural en Ciudad Pemex, en el sudeste de México (donde el 80% del total del gas natural se produce como un subproducto de la extracción del petróleo), está enlazado al precio del centro comercial del Houston Ship Channel mediante una fórmula de enlace hacia atrás. El precio del gas en Ciudad Pemex es igual al precio de Houston más los costos de transporte desde Houston hasta el punto de arbitraje (actualmente en Los Ramones, al noreste de México)[3] menos los costos de transporte desde el punto de arbitraje hasta Ciudad Pemex (véase el mapa 1).[4]

Esta fórmula reguladora del precio es una aplicación del método de Little-Mirrlees, que propone el empleo de precios mundiales para la fijación de los precios de los bienes del comercio internacional.[5] Por tanto, el precio del gas en Houston es una medida del costo de oportunidad para México del consumo del gas en lugar de exportarlo a los Estados Unidos.[6] La regla de enlace hacia atrás implica también que el precio del gas mexicano permanece insensible a las variaciones de la demanda de gas en México, y que los consumidores están enfrentando una curva de oferta plana. La cantidad del gas importado o exportado opera como un factor de equilibrio.

bución, pero mantuvo el monopolio de Pemex en la producción. Esta reforma sólo ha logrado atraer inversión privada a los sistemas de distribución (véase Rosellón y Halpern, 2001).

2 Véase Adelman (1963) y Brito *et al* (2000).

3 El punto de arbitraje es el lugar donde se unen los flujos de gas del norte y del sur, y donde coinciden los precios del gas del norte y del sur.

4 Véase Comisión Reguladora de Energía (1996), sección 4.

5 Véase Little y Mirrlees (1968), p. 92.

6 Véase Brito y Rosellón (2002) y (2005).

La regla de enlace hacia atrás fue publicada por la CRE en 1996.[7] Esta regla fue criticada en diciembre de 2000. El precio del gas en Houston aumentó 2 dólares por MMBTU en enero de 2000, llegando a casi 10 dólares por MMBTU en enero de 2001. Muchas empresas mexicanas no se habían protegido y en consecuencia se encontraron en graves aprietos. Algunas plantas se vieron obligadas a cerrar. En la CRE hubo grandes presiones para abandonar el punto de referencia de Houston en la fijación del precio del gas. Pemex rescató a las empresas en dificultades ofreciendo contratos de tres años de tómalo o págalo (*take or pay*) a 4 dólares por MMBTU. La regla de enlace hacia atrás basada en el precio de Houston subsiste.

Los ataques lanzados contra la política de la regla de enlace hacia atrás eran en parte un esfuerzo para demostrar que el análisis económico en defensa de la regla de apoyo estaba errado. Se han criticado dos de los supuestos de Brito y Rosellón (2002).[8] Primero, el supuesto de que la función de densidad que describía la distribución de los agentes a lo largo del gasoducto era estrictamente positiva, y en segundo lugar el supuesto de que no hay sustitutos para el gas en el modelo. Estos supuestos simplificadores se formularon por conveniencia de la modelación. En este ensayo analizamos el carácter óptimo de la regla de enlace hacia atrás en un modelo que no formula estos supuestos. El costo es un aumento significativo de la complejidad de las matemáticas. Demostramos que, con un conjunto muy general de supuestos, la regla de enlace hacia atrás es eficiente en el sentido de Pareto.

I. EL SISTEMA MEXICANO DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL

El sistema de gasoductos mexicanos mide 9 043 kilómetros y llega a la mayoría de los principales centros industriales del sur, el centro y el noreste del país (véase el mapa 1). Del total del gas natural transportado en el sistema durante 2000, el 69% era gas asociado, 24%

[7] Pemex había empleado una regla muy similar con base en otro mercado de Tejas (Tetco y Velero). Véase Rosellón y Halpern (2001).

[8] Véase Arteaga y Flores (2002) y (2003). Resulta interesante observar que, si los mercados estuvieran segmentados, el argumento formulado en Arteaga y Flores (2003) implicaría que el precio del gas en el sur de México podría ser mayor que el precio que resultaría de la regla de enlace hacia atrás.

gas no asociado, y 7% gas importado. En 2000 se agregaron 1 795 kilómetros de nuevos gasoductos privados al sistema de transporte, y la capacidad ha aumentado a 7.4 bcfd. Además, la conexión de gasoductos del área de Reynosa-Burgos al mercado de Tejas se encuentra en expansión.[9]

El sistema de gasoductos del mapa 1 puede considerarse como un solo gasoducto que conecta la producción del sur con la del norte. Ciudad Pemex está ubicada en el extremo sur del sistema, mientras que Reynosa-Burgos está ubicada en el extremo norte. Burgos produce 17.3% del total de la producción de gas natural y es una conexión con el sistema de gasoductos de Tejas. Dos ramales complementan el sistema de gasoductos: uno conecta a Ciudad Juárez (un lugar donde se importa gas) y Los Ramones (la unión de los gasoductos del sudeste, el noroeste y el noreste); el otro conecta a las ciudades del centro del país (incluida la ciudad de México) con la red principal en Cempoala.

El análisis de esta red de gasoductos puede simplificarse aprovechando las propiedades técnicas e institucionales del sistema. Como se demuestra en Brito y Rosellón (2002), el problema de la fijación de precios puede analizarse como un solo gasoducto que conecta a Burgos con Ciudad Pemex. Las conexiones de Los Ramones y Cempoala son puntos de acumulación en la distribución de la demanda.

Brito y Rosellón (2002) prueban que la regla de enlace hacia atrás proviene de la solución del problema de un regulador que maximiza el bienestar sujeto a restricciones de recursos en la red de gasoductos. Los precios óptimos del gas natural son los precios sombra en la optimación asociada con la producción de gas natural en México. En particular, la regla de enlace hacia atrás es el precio sombra de la restricción de escasez en Ciudad Pemex. Esta regla deriva de la condición de que Pemex debe ser indiferente entre la venta o la compra de gas en Houston, y la venta de gas en cualquier punto de México. Cuando no se satisface esta condición, puede ser viable la elaboración de una asignación de gas, que mejore el bienestar. Bastaría desplazar la asignación del gas de las actividades cuyo beneficio marginal es menor que el precio del gas a las actividades cuyo beneficio marginal es mayor que el precio del gas.

[9] La capacidad de exportación-importación en el sector de Reynosa en 2002-2003 fue de 534 Mmcfd.

Estudiamos ahora la regla de enlace hacia atrás en un modelo más general. Suponemos que los individuos se ubican a lo largo de un gasoducto. Pueden gastar su ingreso en bienes, otro combustible o gas. El precio del gas está dado por una lista de precios no lineal que es una función de la ubicación y la cantidad del gas comprado. Demostramos que en estas condiciones la regla de enlace hacia atrás es el precio óptimo general del gas. Una lista de precios óptimos no lineales general del gas es un instrumento muy poderoso por cuanto permite la tributación específica de la ubicación. Sin embargo, la regla de enlace hacia atrás es óptima también sin cobros específicos de la ubicación si no hay efectos de ingreso. Además, esta regla es siempre eficiente en el sentido de Pareto. La regla es el procedimiento óptimo para la fijación del precio del gas, a menos que haya metas redistributivas que deban satisfacerse empleando este instrumento y que se descarten los cobros específicos de la ubicación.

II. El modelo

Supongamos que los individuos se ubican en el intervalo $[0, \bar{n}]$ con una función de densidad general $f(s) \geq 0$ que representa un gasoducto de longitud $\bar{n}$. Esta función de densidad permite la posibilidad de intervalos sin demanda al igual que puntos de acumulación. Ocurre un caso especial cuando la demanda se encuentra en un conjunto de puntos discretos a lo largo del gasoducto. El individuo común ubicado en un punto s tiene una función de utilidad de la forma

$$v = u(x, y, z) \tag{1}$$

en la que x es un bien privado (o un conjunto de bienes privados), y es el consumo de gas natural y z es el consumo de un combustible sustituto del gas natural.[10] Se supone que cada individuo aporta una unidad de trabajo a un salario $w(s)$.

Los individuos maximizan la utilidad sujetos a la restricción

[10] En México el gas licuado de petróleo es el principal sustituto del gas natural al nivel residencial, mientras que el combustóleo y el diésel son sustitutos en el consumo industrial y la generación de energía. Como en el caso del gas natural, estos bienes sucedáneos son también en su mayor parte subproductos de la extracción de petróleo. Por tanto, la oferta de estos productos está condicionada por el papel de Pemex como una fuente de ingresos para el gobierno de México (véase Rosellón y Halpern, 2001).

$$w(s) = x + t(y, s) + q(s)z \tag{2}$$

en la que $t(y, s)$ es la lista de precios del gas y $q(s)$ es el precio del combustible sustituto determinado por el mercado. El precio de x es uno. El lagrangeano para la maximización del individuo es:

$$L = u(x, y, z) + \lambda[w(s) - x - t(y, s) - q(s)z] \tag{3}$$

Entonces, si suponemos que no hay soluciones de esquina, las condiciones de primer orden son:[11]

$$\frac{\partial u(x, y, z)}{\partial x} - \lambda = 0 \tag{4}$$

$$\frac{\partial u(x, y, z)}{\partial y} - \lambda \frac{\partial t(y, s)}{\partial y} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial u(x, y, z)}{\partial z} - \lambda q(s) = 0 \tag{6}$$

El planeador puede redistribuir el ingreso por la ubicación como una función del consumo de gas, de modo que

$$\frac{\partial t(y, s)}{\partial s}$$

es un posible instrumento de control. Definimos

$$\alpha(y, s) = \frac{\partial t(y, s)}{\partial s}$$

Los individuos difieren en su ubicación y su ingreso, de modo que empleando el teorema de la envolvente se deduce que la utilidad de los individuos a lo largo del gasoducto está dada por la solución de la ecuación diferencial

$$\frac{dv}{ds} = \lambda\left[\frac{dw(s)}{ds} - \alpha(y, s) - z(s)\frac{dq(s)}{ds}\right] \tag{7}$$

Empleando la condición de primer orden para x, esto puede escribirse como

[11] Este supuesto no cambia ninguno de los resultados.

$$\frac{dv}{ds} = \frac{\partial u(x,\ y,\ z)}{\partial x}\left[\frac{dw(s)}{ds} - \alpha(y, s) - z(s)\frac{dq(s)}{ds}\right] \tag{8}$$

Sea $v(s)$ la solución de la ecuación diferencial; entonces podemos emplear la relación $v = u(x,\ y,\ z)$ para escribir

$$x = x(v,\ y,\ z) \tag{9}$$

La variable $v(s)$ es de estado y las variables $y(s)$ y $z(s)$ son de control. Definamos la cantidad agregada x por X, la de y por Y, y la de z por Z. El bien X_1 se consume y el bien X_2 se exporta. En el caso del gas, Y_0 se produce internamente, Y_1 se importa al precio $\overline{p}$, Y_2 se emplea para producir X, Y_3 es el gas importado consumido por los individuos y Y_4 es el gas nacional consumido por los individuos. En el caso del combustible sustituto, Z_1, se importa a un precio $\overline{q}$; Z_2 se emplea para producir X, y Z_3 se consume por los individuos.

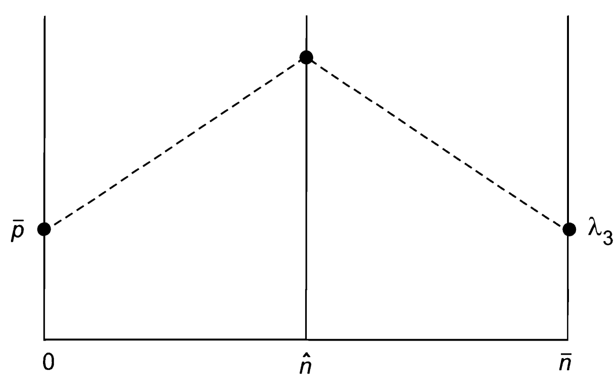
Suponemos que el bien X se produce con una tecnología que emplea energía

$$X = F(Y_2,\ Z_2) \tag{10}$$

en la que $F(Y_2, Z_2)$ es una función estrictamente cóncava de buen comportamiento y Y_2 y Z_2 es la energía empleada en la producción del bien. Se supone que la producción del bien x ocurre en $n = 0$, y que el bien x puede transportarse sin costo (véase la gráfica 1).

Se supone que la producción de gas ocurre en $n = \overline{n}$, y que el gas se importa en $n = 0$. Se supone también que el gas se transporta a un costo de c. Definimos $\hat{n}$ como el punto de arbitraje. El costo de mover

GRÁFICA 1



el gas importado hasta el punto de arbitraje es $\hat{n}c$ y el costo de mover el gas nacional hasta el punto de arbitraje es $(\bar{n} - \hat{n})c$.

Definimos

$$V \int_{0}^{\hat{n}} [\beta(s)v(s) - scy(s)] f(s) ds + \int_{\hat{n}}^{\bar{n}} [\beta(s)v(s) - (\bar{n} - s)cy(s)] f(s) ds \quad (11)$$

en que $\beta(s)$ es la ponderación del bienestar de los individuos ubicados en el punto s. Consideremos ahora a un planeador que intenta maximizar el bienestar

$$W = V + G \quad (12)$$

en el que G son los gastos públicos. La maximización está sujeta a las restricciones de que

$$X_1 = \int_{0}^{\bar{n}} x(s) f(n) ds \quad (13)$$

$$Y_3 = \int_{0}^{\hat{n}} y(s) f(n) ds \quad (14)$$

$$Y_4 = \int_{\hat{n}}^{\bar{n}} y(s) f(n) ds \quad (15)$$

$$Z_3 = \int_{0}^{\bar{n}} z(s) f(n) ds \quad (16)$$

Las ecuaciones (13)-(16) representan la demanda agregada de bienes y energéticos. Si suponemos que la redistribución neta es cero, entonces

$$0 = \int_{0}^{\bar{n}} \alpha(s) f(n) ds \quad (17)$$

Las restricciones agregadas son:

$$X_1 + X_2 + G = F(Y_2, Z_2) \quad (18)$$

$$Y_0 + Y_1 = Y_2 + Y_3 + Y_4 \quad (19)$$

$$Z_1 = Z_2 + Z_3 \quad (20)$$

$$X_2 - pY_1 - \bar{q}Z_1 = 0 \quad (21)$$

Las restricciones dadas por las ecuaciones (13)-(17) pueden convertirse en ecuaciones diferenciales

$$\frac{dX_1}{dn} = x(n)f(n) \tag{22}$$

$$\frac{dY_3}{dn} = y(n)f(n) \tag{23}$$

para $n < \hat{n}$

$$\frac{dY_4}{dn} = y(n)f(n) \tag{24}$$

para $n > \hat{n}$[12]

$$\frac{dZ_3}{dn} = z(n)f(n) \tag{25}$$

$$\frac{dA}{dn} = \alpha(n)f(n) \tag{26}$$

en la que A es la redistribución agregada. Las restricciones agregadas dadas por (18)-(21) definen las condiciones de transversalidad para las ecuaciones diferenciales. El problema del planeador puede escribirse como la maximización de

$$\begin{aligned} W = V + G + \delta_1[F(Y_2, Z_2) - X_1 - pY_1 - \bar{q}Z_1 - G] + \\ + \delta_2[Y_0 + Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4] + \delta_3[Z_1 - Z_2 - Z_3] \end{aligned} \tag{27}$$

Las variables δ_i, $i = 1, 3$ son los multiplicadores de Lagrange asociados a las restricciones agregadas. Recuérdese que V es el bienestar agregado de los agentes. Este es un problema de control óptimo y la maximización respecto a las variables agregadas nos da las condiciones de transversalidad. A fin de simplificar la notación, no emplearemos los argumentos de las variables. El hamiltoniano es

$$H = \beta v + [\lambda_1 x + (\lambda_2 - cn)y + \lambda_4 z + \lambda_5 \alpha]f(n) + \theta\frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{dw}{dn} - \alpha - z\frac{dq}{dn}\right) \tag{28}$$

para $n < \hat{n}$ y

[12] Si $f(\hat{n})$ es un punto de acumulación de la función de distribución, la demanda de gas nacional será tal que $Y_0 \leq Y_4$.

$$H = \beta v + \{\lambda_1 x + [\lambda_3 - c(\overline{n} - n)]y + \lambda_4 z + \lambda_5 \alpha\} f(n) + \theta \frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{dw}{dn} - \alpha - z\frac{dq}{dn}\right) \quad (29)$$

para $n > \hat{n}$, en el que λ_i, $i = 1, 5$, son los precios sombra asociados a (22)-(26), respectivamente, y θ es el precio sombra asociado a (8). Las variables de control son y, z y α. Las condiciones de primer orden respecto a y son

$$\left[\lambda_1 \frac{\partial x}{\partial y} + (\lambda_2 - nc)\right] f(n) + \theta \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{dw}{dn} - \alpha - z\frac{dq}{dn}\right)\right] = 0 \quad (30)$$

para $n < \hat{n}$ y

$$\left[\lambda_1 \frac{\partial x}{\partial y} + (\lambda_3 - (\overline{n} - n)c)\right] f(n) + \theta \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{dw}{dn} - \alpha - z\frac{dq}{dn}\right)\right] = 0 \quad (31)$$

para $n > \hat{n}$.

La condición de primer orden para z es

$$\left[\lambda_1 \frac{\partial x}{\partial z} + \lambda_4\right] f(n) + \theta \frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{dw}{ds} - \alpha - z\frac{dq}{ds}\right)\right] = 0 \quad (32)$$

La condición de primer orden para α es

$$\lambda_5 f(n) - \theta(s) = 0 \quad (33)$$

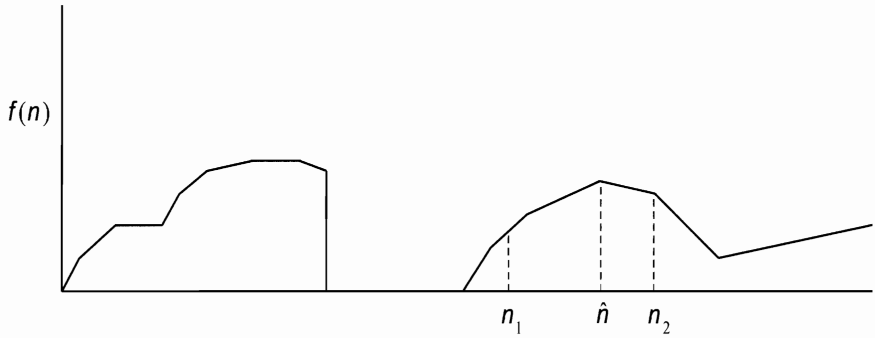
Suponemos de manera inicial que el punto $\hat{n}$ es un intervalo (n_1, n_2) tal que $f(n)$ es estrictamente positiva, continua y que no hay puntos de acumulación para n en (n_1, n_2) (véase la gráfica 2). Se infiere entonces, de la continuidad del hamiltoniano, que

$$\beta v + [\lambda_1 x + (\lambda_2 - c\hat{n})y + \lambda_4 z + \lambda_5 \alpha] f(\hat{n}) + \theta \frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{dw}{dn} - \alpha - z\frac{dq}{dn}\right) =$$
$$= \beta v + [\lambda_1 x + (\lambda_3 - c(\overline{n} - \hat{n}))y + \lambda_4 z + \lambda_5 \alpha] f(\hat{n}) + \theta \frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{dw}{dn} - \alpha - z\frac{dq}{dn}\right) \quad (34)$$

de modo que

$$(\lambda_2 - c\hat{n}) = (\lambda_3 - c(\overline{n} - \hat{n})) \quad (35)$$

GRÁFICA 2



La ecuación (35) enlaza el precio sombra del gas importado con el precio sombra del gas nacional dado por el supuesto de que no hay puntos de acumulación. Supongamos ahora que $\hat{n}$ es un punto de acumulación. Entonces, el gas importado y el gas nacional se consumen en $\hat{n}$ y de las condiciones de primer orden respecto a y (dadas por (30) y (31)) se infiere que

$$(\lambda_2 - c\hat{n}) = (\lambda_3 - c(\overline{n} - \hat{n}))$$

que es idéntica a la ecuación (35) y así genera la regla de enlace hacia atrás. Intuitivamente, el resultado se infiere de la ley de un solo precio. Si el gas importado y el gas nacional se están vendiendo en el punto representado por $\hat{n}$, deberán tener el mismo precio.

Dado que X_1, Y_3, Y_4 y Z_3 no se encuentran en el hamiltoniano,

$$\frac{d\lambda_i}{dn} = 0,\ i = 1,4$$

Las condiciones de primer orden para las variables agregadas de (27) son

$$\delta_1 \frac{\partial F}{\partial Y_2} - \delta_2 \leq 0;\ Y_2\left[\delta_1 \frac{\partial F}{\partial Y_2} - \delta_2\right] = 0 \tag{36}$$

$$\delta_1 \frac{\partial F}{\partial Z_2} - \delta_3 \leq 0;\ Z_2\left[\delta_1 \frac{\partial F}{\partial Z_2} - \delta_3\right] = 0 \tag{37}$$

$$\delta_1 = 1 \tag{38}$$

$$\delta_1 p = \delta_2 \tag{39}$$

$$\delta_1 \bar{q} = \delta_3 \tag{40}$$

Estas condiciones de primer orden son las condiciones de transversalidad para G, X_1, Y_3 y Z_3:[13]

$$\lambda_1 = -1 \tag{41}$$

$$\lambda_2 = -\delta_2 = -p \tag{42}$$

$$\lambda_4 = -\delta_3 = -\bar{q} \tag{43}$$

Dado que $v(0)$ y $v(\bar{n})$ son puntos finales libres, $\theta(0) = \theta(\bar{n}) = 0$. El valor de λ_3 se deriva de (35) y resulta en

$$\lambda_3 = -p - 2c\hat{n} + c\bar{n} \tag{44}$$

***Proposición* 1.** La lista de precios óptimos no lineales para el gas natural es la regla de enlace hacia atrás.

Prueba. $v(0)$ y $v(\bar{n})$ son puntos finales libres, de modo que $\theta(0) = \theta(\bar{n}) = 0$, así que $\lambda_5 = 0$ en 0 y en $\bar{n}$. Dado que λ_5 es constante, $\lambda_5 = 0$ para todo n y por tanto $\theta(n) = 0$ para todo n. La condición de primer orden dada por (30) puede escribirse como

$$-\frac{\partial x}{\partial y} - (p + nc) = 0 \tag{45}$$

de modo que la tasa marginal de sustitución es el igual al precio de enlace hacia atrás, que es el resultado deseado.

***Proposición* 2.** Si no hay efectos de ingreso, la lista de precios óptimos no lineales del gas natural es la regla de enlace hacia atrás y no hay redistribución.

Prueba. Una condición suficiente para obtener el resultado es que en la condición de primer orden dada por (30), el término

$$\theta \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{\partial w}{dn} - \alpha - z\frac{dp}{dn}\right)\right] = 0$$

de modo que se da la condición

[13] Véase en el apéndice la derivación formal de las condiciones de transversalidad.

$$-\frac{\partial x}{\partial y}-(p+nc)=0$$

Denotando las derivadas por subíndices, tenemos

$$\frac{\partial}{\partial y}u_x = u_{xy} + u_{xx}\frac{\partial x}{\partial y} = u_{xy} - u_{xx}\frac{u_y}{u_x} = u_x\frac{u_{xy}u_x - u_{xx} - u_y}{u_x^2} \tag{46}$$

Este es el término del efecto de ingreso tomado de la ecuación de Slutzky.

Proposición 3. La regla de enlace hacia atrás para la fijación de los precios del gas natural es óptima en el sentido de Pareto.

Prueba. Una condición suficiente para obtener el resultado es que las ponderaciones del bienestar $\beta(n)$ sean tales que el término $\theta(n)=0$ para todo n en $[0,\bar{n}]$. Dado que $v(0)$ es un punto final libre, $\theta(0)=0$, de modo que una condición suficiente para que el término $\theta(n)=0$ para todo n en $[0,\bar{n}]$ es que

$$\frac{d\theta}{dn}=-\left[\beta(n)-\frac{dx}{dv}\right]f(n)-\theta\frac{\partial}{\partial v}\left[\frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{dw}{dn}-\alpha-z\frac{dq}{dn}\right)\right]=0 \tag{47}$$

así que

$$\left[\beta(n)-\frac{\partial x(s)}{\partial v(s)}\right]=0 \tag{48}$$

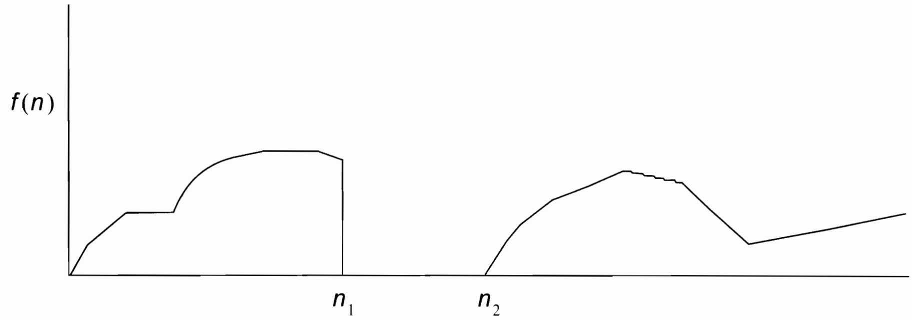
es una condición suficiente para $\theta(0)=0$ para todo n y las ponderaciones del bienestar son tales que ninguna redistribución es óptima. Esto implica que cualquier redistribución no puede ser una mejora en el sentido de Pareto y por tanto la solución es óptima en este mismo sentido.

Las proposiciones 1-3 provienen del supuesto de que el punto de arbitraje, $\hat{n}$, se encuentra en un intervalo (n_1, n_2) de tal modo que $f(n)$ es positiva y continua en (n_1, n_2). Relajemos estos supuestos a fin de analizar las afirmaciones contenidas en Arteaga y Flores (2003) (véase la gráfica 3).

Supongamos ahora que existe un intervalo abierto (n_1, n_2) tal que

$$Y_0=\int_{n_2}^{\bar{n}} y(s)f(s)ds \tag{49}$$

GRÁFICA 3



y $f(n) = 0$ en (n_1, n_2). Los dos mercados están separados ahora y el valor de λ_3 se determina por (49). Esto parece sugerir que la regla de enlace hacia atrás no se aplica.

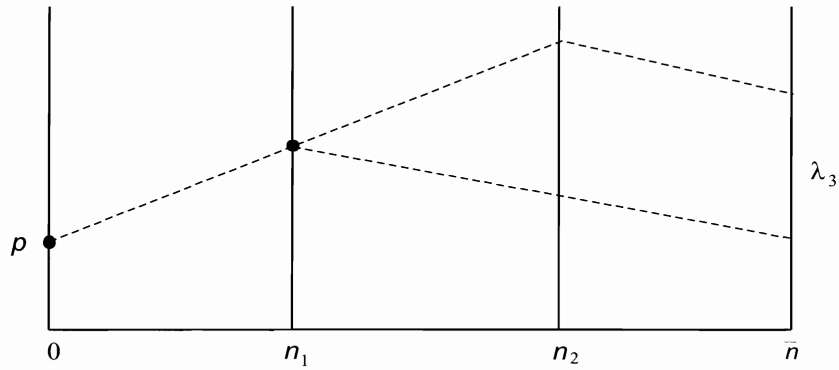
Sin embargo, supongamos que la solución para λ_3 es tal que $\lambda_3 > p + 2cn_2 - c\hat{n}$, entonces, la solución no es óptima, ya que puede mejorarse aumentando la cantidad del gas importado. Supongamos ahora que la solución para λ_3 es tal que $\lambda_3 < p + 2cn_1 - cn$, entonces, la solución no es óptima, ya que puede mejorarse disminuyendo la cantidad del gas importado. Por tanto, una condición necesaria para obtener el óptimo es

$$\overline{p} + n_1c + (-\hat{n} + n_1)c = \overline{p} + 2cn_1 - c\hat{n} \le \overline{p} + n_2c + (-\hat{n} + n_2)c = \\ = \overline{p} + 2cn_2 - c\hat{n} \qquad (50)$$

En este caso, la regla de enlace hacia atrás con n_1 o n_2 como los puntos de arbitraje crea un límite superior e inferior para el precio del gas en el mercado segmentado, y el precio puede variar en $2c(n_2 - n_1)$. Esto no es muy importante. Para ilustrar, supongamos que el precio del gas es de 2 dólares por MMBTU, la brecha era de 200 millas (que es aproximadamente la distancia que media entre Los Ramones y Cempoala) y el costo de transporte del gas es de medio dólar por MMBTU por mil millas. Si la elasticidad de la demanda de gas fuese 0.1, entonces

$$0.1 = \frac{\dfrac{\Delta Y}{Y}}{\dfrac{2.00 \times .50 \times 200}{2.00 \times 1\,000}}$$

GRÁFICA 4



o sea

$$\frac{\Delta Y}{Y} = 0.1$$

Un cambio de 1% en la demanda es suficiente para eliminar la brecha en nuestro ejemplo. Los mercados segmentados pueden ocurrir durante un breve periodo. Sin embargo, dadas las fluctuaciones de la demanda de gas y de la producción, este no es un fenómeno importante. Además, el precio de enlace hacia atrás es un límite inferior del precio en un mercado segmentado. Así pues, mientras que un mercado segmentado crea la posibilidad de que Pemex pueda extraer rentas en el mercado sureño, no puede emplearse para defender el otorgamiento a un subsidio para el gas. Si los críticos de la regla de enlace hacia atrás están motivados por un deseo de un precio menor que el precio de enlace hacia atrás, argüir que los mercados están segmentados conduce a una victoria pírrica, ya que justificaría un precio mayor para el gas.

CONCLUSIONES

Este artículo estudia el carácter óptimo de la regla de enlace hacia atrás basada en el precio del Houston Ship Channel a fin de fijar el precio del gas natural en México, que ha implantado la Comisión Reguladora de Energía en una economía abierta, en la que los agentes escogen entre el gas y otros combustibles, y en la que la función de densidad que describe la distribución de los agentes a lo largo del gasoducto puede tener intervalos vacíos y puntos de acumulación.

Se demuestra que si el mercado del gas no está segmentado, la regla de enlace hacia atrás es óptima en el sentido de Pareto. El mercado mexicano de gas no ha sido segmentado a medida que el gas de Ciudad Pemex llega a Los Ramones. Sin embargo, si el mercado se segmentara, esa regla definiría un límite superior e inferior para el precio en el mercado segmentado. La posible segmentación que ocurriría en el mercado de gas mexicano estaría entre Los Ramones y Cempoala. Si ocurriera tal brecha, un cambio de 1% en la demanda o la oferta la eliminaría, de modo que este no es un problema muy importante.

APÉNDICE

Derivación de las condiciones de transversalidad

El problema del planeador puede escribirse como la maximización de

$$W = V + G + \delta_1[F(Y_2 + Z_2) - X_1 - pY_1 - \bar{q}Z_1 - G] +$$
$$+ \delta_2[Y_0 - Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4] + \delta_3[Z_1 - Z_2 - Z_3] \tag{27}$$

Las variables δ_i, $i = 1, 3$ son los multiplicadores lagrangeanos asociados a las restricciones agregadas.

δ_1 ------ X bienes

δ_2 ------ Y_3 gas importado

δ_3 ------ Z otro combustible

Recuérdese que V es el bienestar agregado de los agentes. Hay un problema de control óptimo, y la maximización respecto a las variables agregadas genera las condiciones de transversalidad. A fin de simplificar la notación no utilizamos los argumentos de las variables. Estas condiciones de primer orden que son las condiciones de transversalidad para X_1, Y_3 y Z_3 son:

Nota. Para obtener las condiciones de transversalidad para X_1, diferenciamos (27) respecto a G a fin de obtener el resultado de que $\delta_1 = 1$; entonces, $\lambda_1 = \partial W/\partial X_1 = -\delta_1 = -1$.

$$\lambda_1 = -1 \tag{41}$$

Nota. Para obtener las condiciones de transversalidad para Y_3, diferenciamos (27) respecto a Y_1 a fin de obtener el resultado de que $\delta_2 = p$; entonces, $\lambda_2 = \partial W/\partial Y_3 = -\delta_2 = -p$.

$$\lambda_2 = -\delta_2 = -p \tag{42}$$

Nota. Para obtener las condiciones de transversalidad para Z_3, diferenciamos (27) respecto a Z_1 a fin de obtener el resultado de que $\delta_3 = \overline{q}$; entonces, $\lambda_4 = \partial W / \partial Y_3 = -\delta_3 = -\overline{q}$.

$$\lambda_4 = -\delta_3 = -\overline{q} \tag{43}$$

Dado que $v(0)$ y $v(\overline{n})$ son puntos finales libres, $\theta(0) = \theta(\overline{n}) = 0$. El valor de λ_3 proviene de (35), que es el precio del gas en el punto de arbitraje,

$$(\lambda_2 - c\hat{n}) = (\lambda_3 - c(\overline{n} - \hat{n})) \tag{35}$$

y obtenemos

$$\lambda_3 = -p - 2c\hat{n} + c\overline{n} \tag{44}$$

Referencias bibliográficas

Adelman, M. A. (1963), "The Supply and Price of Natural Gas", Oxford, B. Blackwell.

Arteaga, J. C., y D. Flores (2002), "Una nota sobre la regulación del precio del gas en México", EL TRIMESTRE ECONÓMICO, vol. LXIX (1), núm. 273, México.

——, y —— (2003), "¿Debe ser Texas la referencia para fijar el precio del gas en México?", EAWP2 (10), disponible en http://eawp.economistascoruna.org/archives/vol2n10/

Brito, D. L., y J. Rosellón (1998), "Pricing Natural Gas in Mexico", Ensayo de Trabajo del CIDE E-120.

——, y —— (2002), "Pricing Natural Gas in Mexico: An Application of the Little-Mirrlees Rule", *The Energy Journal*, vol. 23, núm. 3.

——, y —— (2003), "Regulation of Gas Marketing Activities", *Estudios Económicos*, vol. 18, núm. 1, enero-junio.

—— y —— (2005), "Price Regulation in a Vertically Integrated Natural Gas Industry: The Case of Mexico", en revisión en *The Review of Network Economics.*

——, y W. L. Littlejohn y J. Rosellón (2000), "Pricing Liquid Petroleum Gas in Mexico", *Southern Economic Journal*, 66 (3), pp. 742-753 [publicado en español en EL TRIMESTRE ECONÓMICO, vol. LXVI (4), núm. 264, octubre-diciembre de 1999].

Comisión Reguladora de Energía (1996), "Directiva sobre la determinación de precios y tarifas para las actividades reguladas en materia de gas natural", México (http://www.cre.gob.mx).

Little, I. M. D., y J. A. Mirrlees (1968), *Manual of Industrial Project Analysis in Developing Countries*, París, OCDE, Development Center.

Rosellón, J., y J. Halpern (2001), "Regulatory Reform in Mexico's Natural Gas Industry: Liberalization in Context of Dominant Upstream Incumbent", Artículo de Investigación de Políticas 2537, Banco Mundial.