

Las colecciones de Documentos de Trabajo del CIDE representan un medio para difundir los avances de la labor de investigación, y para permitir que los autores reciban comentarios antes de su publicación definitiva. Se agradecerá que los comentarios se hagan llegar directamente al (los) autor(es).
❖ D.R. © 1999, Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C., carretera México-Toluca 3655 (km. 16.5), Lomas de Santa Fe, 01210 México, D. F., tel. 727-9800, fax: 292-1304 y 570-4277. ❖ Producción a cargo del (los) autor(es), por lo que tanto el contenido como el estilo y la redacción son responsabilidad exclusiva suya.

Este documento es producto del convenio de colaboración académica entre el CIDE y la Comisión Reguladora de Energía (CRE). Las opiniones del autor en este trabajo no reflejan necesariamente la posición de la CRE.



NÚMERO 142

José Carlos Ramírez y Juan Rosellón
LA REGULACIÓN DE LAS TARIFAS DE DISTRIBUCIÓN
DEL GAS NATURAL EN MÉXICO: UN MODELO
ESTOCÁSTICO

Resumen

En este artículo examinamos el establecimiento de precios óptimos para una empresa que enfrenta una demanda no prevista y que, además, está sujeta a un régimen de regulación por ingreso promedio. Para ello, se utiliza una versión estilizada del plan mediante el cual la Comisión Reguladora de Energía (CRE) regula la actividad de las empresas transportistas y distribuidoras de gas natural en México. Bajo este plan, el ingreso promedio de la empresa está restringido a no exceder un nivel fijo predeterminado. Cuando el ingreso promedio de cada período se calcula como la razón del ingreso total entre el producto de tal período (como en el plan de la CRE), encontramos que pueden originarse incentivos para el establecimiento estratégico de precios no lineales. Sin embargo, a pesar de sus inconvenientes, demostramos que este régimen puede ser eficiente en ambientes estocásticos de la demanda al permitir un crecimiento intertemporal en el excedente del consumidor, tal como se demuestra en un ejercicio de simulación basado en los proyectos de distribución de gas natural de México.

Abstract

We examine profit-maximizing pricing under a stylized version of the price-cap plan used by the Mexican Regulatory Commission (CRE) to regulate transportation and distribution in the natural gas industry. When average revenue in each period is calculated as the ratio of total revenue to output in that period (as in the CRE's plan), incentives for strategic non-linear pricing may be created. However, in spite of its drawbacks, we also show that this regulatory regime can be efficient under stochastic-demand environments because it allows an intertemporal growth in consumer surplus. This is proved by a simulation exercise with data from the natural-gas distribution projects in Mexico.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para la realización de este trabajo, así como a Valentina Barzalobre Aragón, José Luis Escobedo Sagaz y Lucía Suárez Castro.

Introducción

La industria de los sectores de infraestructura de diversos países han recientemente experimentado profundos procesos de *reforma estructural* y *reforma reguladora* en varios países.¹ Estos procesos han requerido una regulación por “precios máximos” en sectores en los que subsiste poder de mercado natural o legal aún después de las reformas. De las posibles metodologías por precios máximos, el “ingreso promedio” máximo se ha utilizado preferentemente para regular los precios de empresas en las que los costos dependen del producto total y cuyos productos son comensurables.² Por ejemplo, el ingreso promedio se ha empleado para regular precios en las industrias de gas natural de Gran Bretaña y México.

La regulación por ingreso promedio fija un tope a los ingresos por unidad y no establece ponderadores que limiten la variación de precios relativos. Esto le confiere mayor flexibilidad en el rebalanceo de tarifas que otros regímenes reguladores, como los englobados en el concepto de *canasta de tarifas*, cuyo criterio se basa en el establecimiento de ponderadores para los precios de distintos productos o servicios.³

La literatura demuestra que, en ausencia de perturbaciones de costos y demanda, la restricción sobre el ingreso promedio da incentivos a la empresa para

¹ Como ejemplo se pueden citar a las industrias eléctricas de Argentina, Chile, Gran Bretaña, Nueva Zelanda, Australia, EU, y España, así como a las de gas natural en México, EU, Gran Bretaña, Argentina y Colombia.

² Los bienes producidos por una empresa multiproducto se dicen comensurables si se producen por una metodología caracterizada por:

$$C(Q_1, \dots, Q_n) = C(\sum_i Q_i)$$

donde C es la función de costos y Q_i es el i -ésimo producto, $i=1,2,\dots,n$.

En el caso de los bienes no comensurables, se presentan problemas prácticos en el cálculo del ingreso promedio debido a que el ingreso total debe dividirse por un sólo tipo de unidades de producto. Por ejemplo, el uso de kWh en la transmisión de electricidad enmascara diferencias en los niveles de voltaje, la confiabilidad del servicio, la hora del día o la localización. Por lo tanto, es difícil saber que tan distintos son los ponderadores resultantes bajo regulación por ingreso promedio respecto de los ponderadores óptimos.

³ Bajo el régimen de Canasta de Tarifas se establece un máximo sobre un índice

$$I(p) = \sum_{i=1}^n w_i p_i, \text{ en donde } p_i \text{ son los precios y } w_i \text{ los ponderadores. Los ponderadores más}$$

importantes estudiados en la literatura son: cantidades del periodo previo (índice encadenado de *Laspeyres*), cantidades del periodo corriente (ponderadores de *Pausche*), ponderadores intertemporalmente fijos (ponderadores fijos de *Laspeyres*), y cantidades proyectadas (ponderadores de *Laffont-Tirole*). Se ha demostrado que, bajo condiciones estables de costos y demanda, el índice encadenado de *Laspeyres* posee las propiedades más deseables ya que converge a ponderadores óptimos (de *Ramsey*). Ver Vogelsang 1999, sección 4.3.4.

que fije precios ineficientes, restrinja el área de abasto y manipule estratégicamente las tarifas no lineales, lo cual provoca disminuciones en el excedente del consumidor.⁴ Mas aún, establece que la regulación por canasta de tarifas es superior a la de ingreso promedio en ambientes estáticos, dinámicos pero estables en costos y demanda, o bajo maximización miope de beneficios.⁵ No obstante, hasta ahora no se ha estudiado la restricción de ingreso promedio en escenarios dinámicos y cambiantes de la demanda. En este artículo realizamos esta tarea y demostramos que, bajo condiciones estocásticas de demanda, la regulación por ingreso promedio puede generar crecimientos intertemporales en el excedente del consumidor.

Con esto en mente, desarrollamos una versión estilizada del plan de precios máximos instrumentado por la CRE para regular las tarifas de transporte y distribución de gas natural de proyectos *greenfield*, en los que los niveles de riesgo e incertidumbre sobre los costos y la demanda tienden a ser mayores en las primeras etapas que en las restantes.⁶ De acuerdo con el plan, el ingreso promedio de las empresas transportistas y distribuidoras no debe exceder a un tope determinado. El ingreso promedio se calcula cada año con el producto Q_t del período corriente, lo cual origina un problema práctico de implementación, ya que si bien los precios se fijan al inicio del período el volumen real no puede ser conocido sino hasta el final del mismo. Esto obliga a que la empresa regulada, que estima el volumen al principio del año, ajuste los errores de estimación al final del año⁷.

De forma similar al análisis desarrollado por Sappington y Sibley (1992)⁸ demostramos que el régimen de ingreso promedio sí puede dar incentivos a las empresas reguladas para que establezcan precios no lineales de manera estratégica. A través de establecer cargos por uso a niveles bajos en un período, la empresa puede trasladar el incremento del cargo fijo del período corriente a un período posterior. Sin embargo, contrariamente a los resultados registrados por la literatura, también probamos que la regulación por ingreso promedio puede inducir un

⁴ Ver Bradley y Price (1989, 1991), Law (Dec. 1995) y Sappington y Sibley (1992).

⁵ *Ibid.*

⁶ La CRE utiliza el ingreso promedio para regular las tarifas de transporte y distribución de gas natural durante el primer rezago regulador de cinco años. Después de este período, la CRE puede utilizar un régimen de canasta de tarifas (ver artículo 6.12, CRE 1996).

⁷ Bajo el plan de la CRE, el manejo del riesgo por parte de las empresas puede ser más importante que las posibles reducciones en el excedente del consumidor cuando se busca atraer inversión a proyectos nuevos (Ver sección 2.4, Rosellón (1998)). De hecho, la CRE utiliza este tipo de regulación durante los primeros años del desarrollo de un proyecto *greenfield*, debido a que, como ya vimos, el ingreso promedio otorga mayor flexibilidad en el rebalanceo de tarifas. En los proyectos de distribución, la CRE otorga un permiso exclusivo al licitante que ofrezca el menor ingreso promedio. Esta competencia por el mercado busca también minimizar las posibles pérdidas en el excedente del consumidor (Ver Rosellón 1995, IEA 1996 y Rosellón 1998).

⁸ Sappington y Sibley llegan a conclusiones similares usando el plan de la *Federal Communications Commission* (FCC) diseñado para regular a la *American Telephone and Telegraph* (AT&T).

crecimiento intertemporal del excedente del consumidor. Este resultado se obtiene mediante un análisis numérico aplicado a un modelo de programación dinámica estocástica. En este modelo, la demanda es tratada como una variable aleatoria debido a que la empresa estima el volumen al inicio del período y ajusta al final del mismo los errores de estimación. Los datos utilizados en la simulación provienen de los proyectos de las empresas distribuidoras de gas natural en México.

Nuestro análisis procede de la siguiente manera. En la sección I efectuamos una revisión analítica de la literatura relevante en materia de regulación por canasta de tarifas e ingreso promedio. En la sección II, presentamos un modelo en el que se estudian los efectos estratégico y estocástico que puede ocasionar el plan regulador de la CRE. En la sección III, se realiza un ejercicio de simulación para los proyectos de las empresas ganadoras de las licitaciones de distribución de gas natural que la CRE ha efectuado hasta la fecha.⁹ En este ejercicio, se analizan las consecuencias de la metodología de ingreso promedio sobre la maximización de beneficios y el excedente del consumidor. Las conclusiones y sugerencias de futuras líneas de investigación se presentan en la última sección del documento.

⁹ Enero de 1999. Es importante mencionar que este artículo no aborda temas relacionados con los efectos del ingreso promedio en los procesos de licitación de distribución de gas natural. Bajo el ingreso promedio, los licitantes tienden inicialmente a sobreestimar el crecimiento de la demanda industrial para lograr el mínimo ingreso promedio que les permita ganar la subasta y, posiblemente, más tarde promover una renegociación de precios (ver Rosellón 1998, pp. 300-301).

I. Revisión de la Literatura

A continuación se presenta una revisión de las propiedades de la regulación por canasta de tarifas e ingreso promedio considerando escenarios estáticos y dinámicos, estables y cambiantes en las funciones de costo y demanda, así como de maximización miope o no de los beneficios. En general, se pueden destacar tres resultados básicos relacionados con la eficiencia de los índices encadenados de *Laspeyres* y de ingreso promedio máximo.

Primer Resultado

El primer resultado establece que las tarifas en dos partes de un monopolio multiproducto, reguladas mediante el índice encadenado de *Laspeyres*, convergen a precios de *Ramsey* bajo funciones estables de costos o de demanda, o maximización miope de beneficios. Los trabajos más representativos que suscriben este resultado son los de Vogelsang (1999), Vogelsang (1989), Bertolotti and Poletti (1997), Loeb and Magat (1979), y Sibley (1989).

Vogelsang (1999) presenta un modelo en el que los problemas de congestión de corto plazo y de recuperación de costos de capital asociados a la capacidad de largo plazo se resuelven, respectivamente manipulando los cargos por uso y fijo de una tarifa en dos partes. El índice encadenado de *Laspeyres* da incentivos a la inversión a través del rebalanceo entre los cargos fijo y por uso. La manera óptima de lograr el rebalanceo de estos cargos es función de la razón entre los ponderadores y el número de consumidores. La velocidad de ajuste hacia los precios de *Ramsey* depende de los ponderadores, pues entre más cerca estén los ponderadores iniciales de las cantidades óptimas de *Ramsey* más rápido será el ajuste.

En su estudio, Vogelsang explica como el monopolista recupera sus costos fijos de largo plazo mediante una transferencia del excedente del consumidor al cargo fijo de la tarifa. En realidad, es a través de esta última propiedad que los mecanismos de precios máximos de Vogelsang (1989), Bertolotti y Poletti (1997), y Loeb y Magat (1979) pueden mantener un equilibrio entre la racionalidad individual de la empresa y la optimización del bienestar. Esta última es lograda mediante la convergencia intertemporal de las tarifas a los precios de *Ramsey*. Asimismo, Vogelsang (1989) demuestra la equivalencia de las condiciones de primer orden de la maximización de los beneficios y del bienestar sujetas a la restricción de *Laspeyres*, lo cual confirma la preferencia manifiesta del regulador por este mecanismo cuando la demanda y los costos son estables.

Adicionalmente, Bertolotti y Poletti (1997) muestran que las tarifas discriminatorias en dos partes, acotadas por el índice de *Laspeyres*, son *Pareto* superiores a tarifas uniformes. Al igual que en Vogelsang (1999), las desviaciones

del cargo por uso de la tarifa discriminatoria con respecto al cargo por uso de la tarifa uniforme son compensadas (en el sentido de *Slutsky*) por las variaciones en la parte fija de la tarifa discriminatoria. Por su parte, Sibley (1989) prueba que el primer resultado puede generalizarse al caso en el que la información con respecto a la función de demanda sea información privada de la empresa. Bajo el mecanismo de Sibley, el regulador permite a la empresa ofrecer una tarifa opcional en dos partes junto con la tarifa del período anterior. La tarifa opcional otorga a los consumidores un nivel de utilidad al menos igual al de la tarifa rezagada. La empresa maximiza así el bienestar con respecto a la tarifa opcional sujeto a que los consumidores obtengan un nivel mínimo de excedente. El cargo por uso óptimo es igual al costo marginal y el cargo fijo absorbe el incremento en el excedente del consumidor. El mecanismo de Sibley es compatible por incentivos ya que, mediante la revelación de su información privada, la empresa puede mantener el incremento intertemporal del excedente social.

Segundo Resultado

Un segundo resultado importante de la teoría de los precios máximos tiene que ver con la restricción por ingreso promedio. Bradley y Price (1988), Bradley y Price (1991), Law (Dec. 1995), y Sappington and Sibley (1992) prueban que, suponiendo una maximización miope de los beneficios o funciones estables de costos y demanda, los precios resultantes de maximizar beneficios sujeto a una restricción de ingreso promedio no convergen a los precios *Ramsey*.

Con el auxilio de un modelo estático, Bradley and Price (1988, 1999) obtienen tres conclusiones básicas para los precios cobrados por un monopolio multiproducto que abastece a distintos tipos de consumidores y que está sujeto a una restricción en su ingreso promedio:

- i. Cuando los costos de abastecer a cada tipo de consumidor son distintos, pero las elasticidades precio de la demanda son iguales:
 - Los precios P_{ip} cobrados por el monopolista bajo la restricción de ingreso promedio son mayores al costo marginal, a los precios de *Ramsey* y a los precios no restringidos.
 - El rango σ_{ip} del mercado cubierto por el monopolista bajo la restricción de ingreso promedio es menor que los rangos σ_{mon} y σ_{ram} cubiertos por el monopolista sin restricciones o bajo el programa de *Ramsey*, respectivamente.
- ii. Con costos iguales y diferentes elasticidades para cada tipo de consumidor:
 - Los precios P_{ip} “exageran” los precios obtenidos bajo la regla de *Ramsey*: en mercados con baja (alta) elasticidad P_{ip} es mayor (menor) que el precio de *Ramsey*.

- El bienestar resultante de los precios de *Ramsey* es mayor al obtenido bajo los precios P_{ip} .
- iii. Con costos y elasticidades diferentes para cada tipo de consumidor:
- El efecto de precios altos cobrados en mercados con altos costos bajo la restricción ingreso promedio puede ser contrarrestado en mercados muy elásticos. No obstante, los casos prácticos que combinan altos costos y elasticidad son irrelevantes.¹⁰

Estos resultados no dejan lugar a dudas de las ineficiencias ocasionadas por la restricción de ingreso promedio en ambientes estáticos. Bradley y Price prueban que, al converger a la estructura de precios de *Ramsey*, el mecanismo de canasta de tarifas es superior al de ingreso promedio, aunque este último representa una forma de regulación menos restrictiva para la empresa que el primero. Law (1995) extiende el análisis de las ineficiencias del ingreso promedio en condiciones estáticas al mostrar que el excedente del consumidor puede disminuir cuando se hace más restrictivo el límite máximo del ingreso promedio.¹¹

Por otro lado, Sappington y Sibley (1992) estudian los efectos estratégicos intertemporales de las tarifas en dos partes bajo la restricción de ingreso promedio. En su estudio, definen el ingreso promedio de cada período como el cociente del ingreso total entre el producto del período anterior. Sappington y Sibley prueban que un cargo por uso más bajo en el período t permite establecer un cargo de entrada más alto en ese mismo período pero, también, incrementa la cantidad demandada en el siguiente. Este último efecto ocasiona que la restricción tope en $t+1$ se relaje y permita establecer un cargo de entrada mayor en $t+1$, lo cual incentiva a que la empresa establezca sus tarifas no lineales de forma estratégica. Este efecto estratégico puede, a su vez, reducir el excedente del consumidor. En particular, los cambios en el excedente del consumidor bajo la restricción ingreso promedio son función del valor que se asigne al parámetro que mide el descuento intertemporal. Por ejemplo, en el caso de cuatro períodos, y funciones simples de demanda y costo, Sappington y Sibley muestran que el excedente del consumidor se incrementa si y solo si la tasa de descuento de los beneficios es aproximadamente igual a 0.44.¹² Finalmente, los autores proponen alternativas para el cálculo del ingreso promedio (tal como el uso de un nivel fijo de producto para cada período) que eliminan los incentivos para establecer precios de manera estratégica.

¹⁰ Por ejemplo, los períodos pico en los mercados eléctricos combinan altos costos con elasticidades precio de la demanda relativamente bajas.

¹¹ En la sección III presentamos ejemplos numéricos para los sistemas de distribución de gas natural en México en los que demostramos que este resultado de Law no es robusto bajo condiciones dinámicas y de demanda estocástica. Law mismo acepta, en las conclusiones, que su resultado depende crucialmente del supuesto de estabilidad en la demanda (ver Law, Dec. 1995, 403).

¹² Ver Sappington y Sibley (1992), pág. 7. Sobre este punto volveremos en el apartado II.1.

Tercer Resultado

En contextos dinámicos y con funciones de costo y demanda cambiantes o bajo maximización descontada de generaciones, una empresa maximizadora de beneficios sujeta a la restricción encadenada de *Laspeyres* puede establecer precios divergentes de la estructura de *Ramsey*. Este tercer resultado es sustentado por los trabajos de Neu (1993), Fraser (1995), Law (Jun. 1995), Brennan (1989) y Vogelsang (1999). Vogelsang (1999) explica que las condiciones cambiantes en demanda y costos dificultan la regulación tipo *Laspeyres*, ya que la velocidad de adaptación de los mecanismos por precio máximo a una estructura de *Ramsey* depende de la velocidad de cambio en los ponderadores.¹³ Neu (1993) analiza el comportamiento de los precios bajo el índice de *Laspeyres* y con condiciones cambiantes en la demanda. Él demuestra que tales precios no convergen a *Ramsey* y originan pérdidas en el bienestar cuando se asumen tasas de crecimiento distintas para los diferentes tipos de servicios. En particular, el autor prueba que este resultado se da cuando existe un servicio con una tasa de crecimiento extrema y una pequeña participación en las ventas totales¹⁴. Asimismo, Neu muestra que, en presencia de variaciones en la demanda, los precios fijados con *Laspeyres* pueden divergir más de la estructura de *Ramsey* que los precios establecidos por “costo del servicio”. Este resultado desalienta el cambio de un régimen de costo del servicio a otro por incentivos en caso de que se tengan diferentes tasas de crecimiento de la demanda para los distintos tipos de consumidores.

Los efectos de los cambios en costos sobre los precios bajo la restricción de *Laspeyres* son estudiados por Fraser (1995). Este autor muestra que cuando dichos cambios son no uniformes, la convergencia a la estructura de precios de *Ramsey* puede verse afectada.¹⁵ Por otra parte, Law (Jun. 1995) prueba que los precios maximizadores de ganancias futuras descontadas (no miopía) difieren de la estructura de *Ramsey*, suponiendo la restricción encadenada de *Laspeyres*, mientras que Brennan (1989) argumenta que los cambios no marginales en precios pueden afectar la convergencia a la estructura de *Ramsey* de los precios bajo ese mismo índice.

Implicaciones de Política.

Estos tres resultados sugieren líneas de política claras. En primer lugar, no parece haber duda alguna de la conveniencia de utilizar el índice encadenado de *Laspeyres*,

¹³ Ver Vogelsang (1999), secciones 4.3 y 4.4.

¹⁴ Este comportamiento es típico del consumo residencial en el sector mexicano del gas natural

¹⁵ Sin embargo, Fraser encuentra convergencia a *Ramsey* bajo cambios de costos uniformes o cuando cesan los choques exógenos de costos. Fraser también prueba la no convergencia a *Ramsey* bajo la restricción de *Laspeyres* cuando las elasticidades precio de la demanda no uniformes.

en lugar del régimen de ingreso promedio, para regular a un monopolio multiproducto bajo condiciones de estabilidad en demanda y costos. La restricción encadenada de *Laspeyres* permite que se satisfagan simultáneamente dos objetivos básicos de la regulación: la maximización del bienestar social y la racionalidad individual de la empresa. El índice de *Laspeyres* redistribuye el excedente social hacia el monopolio para que éste pueda recuperar sus costos fijos de largo plazo y, al mismo tiempo, garantiza la maximización intertemporal del excedente del consumidor al converger a la estructura de *Ramsey*.

Sin embargo, la literatura también nos dice que las bondades del índice de *Laspeyres* no se dan en las fases iniciales de proyectos nuevos en las que existen altos niveles de riesgo e incertidumbre, así como funciones de costo y de demanda cambiantes. Los proyectos de distribución de gas natural en México se caracterizan en sus etapas iniciales por altas tasas de crecimiento --y baja participación en las ventas totales-- del servicio residencial, y por condiciones volátiles en costos y demanda. Por lo tanto, los resultados de Neu y Fraser sugieren que tarifas de las compañías distribuidoras mexicanas sujetas al índice de *Laspeyres* no convergerían a *Ramsey* durante los primeros períodos.

Bradley y Price (1991) sostienen, por su parte, que la regulación por ingreso promedio representa una restricción más laxa para la empresa que la regulación por canasta de tarifas.¹⁶ De ahí que si el regulador busca atraer inversión es preferible el uso de la restricción ingreso promedio que la de *Laspeyres*, sobre todo en ambientes de alto riesgo e incertidumbre en las que no existe ninguna razón de bienestar que apoye el uso de *Laspeyres*.

La única duda restante con respecto a la bondad de la decisión de utilizar el ingreso promedio durante los primeros cinco años de los proyectos *greenfield* es con respecto a los efectos de esta decisión sobre la maximización del excedente del consumidor. En las siguientes secciones de nuestro estudio analizamos esta cuestión. Probamos que el regulador no debe en realidad preocuparse por las potenciales reducciones en el bienestar social implicadas por el régimen de ingreso promedio siempre que éste se aplique en condiciones de alto riesgo y se acompañe de un proceso de competencia por el mercado. Bajo tales condiciones, la regulación por ingreso promedio puede traer aparejado un crecimiento intertemporal del excedente del consumidor.

II Modelo Estocástico de Fijación de Tarifas en Dos Partes

El modelo presentado a continuación busca determinar la política óptima de precios que maximice los beneficios de un monopolista (productor de un sólo bien), cuya tarifa en dos partes es regulada a través de un régimen de *ingreso promedio*. En

¹⁶ Bradley y Price (1991), pp. 100-107.

virtud de que el monopolista enfrenta una demanda no prevista o aleatoria, su ingreso promedio es calculado con base en el valor esperado de las ventas al inicio de cada período según la fórmula¹⁷:

$$E(AR_t) = \frac{P_t E(Q_t) + E_t}{E(Q_t)} \quad (1)$$

donde:

$E(AR_t)$ es el valor esperado del ingreso promedio en el período t

$E(Q_t)$ es el valor esperado de la demanda al inicio del período t

P_t es el cargo por uso de la tarifa

E_t es la carga fijo (o de entrada) de la tarifa

Para cada uno de los T períodos que cubre el régimen de regulación, el ingreso promedio del monopolista es supuesto igual o menor a un índice P_o (precio máximo o *price cap*) previamente estipulado¹⁸, de acuerdo con la siguiente restricción:

$$P_t + \frac{E_t}{E(Q_t)} \leq P_o \quad (2)$$

ó

$$E_t \leq E(Q_t) [P_o - P_t] \quad (3)$$

Las mecánicas de este régimen supone que al final del período t , una vez conocido el valor real de Q_t , $E(AR_t)$ sea comparado con el verdadero valor de AR_t . Si $E(AR_t)$ es diferente a AR_t , entonces una K_t tendrá que ser añadida o

¹⁷ Esto quiere decir que, al considerar cualquier intervalo de tiempo, la tarifa en dos partes, $P_t + Q_t$, que prevalecerá en dicho intervalo será fijada al inicio del período, con base en el valor esperado del volumen y para maximizar el valor esperado de las ganancias sujeto a la restricción por ingreso promedio.

¹⁸ Usualmente P_o es fijado al inicio del régimen de regulación mediante una metodología adecuada y, posteriormente, corregida por factores de inflación, eficiencia y otros a lo largo del período.

deducida a P_0 a fin de que $E(AR_{t+1})$ sea igual o menor a $P_0 + K_t$ en el período $t + 1$. La K_t resultante podrá ser negativa o positiva dependiendo si $E(AR_t) < AR_t$ o $E(AR_t) > AR_t$, respectivamente. Los ajustes a P_0 no incorporan cambios por inflación o productividad (factor X) y se asume que no hay efecto renta en la demanda del producto, por lo que $Q_t = Q(P_t)$ con $Q'(P_t) < 0$ y $Q(P_t) > 0$.¹⁹

II.1 Características Específicas del Modelo

Este planteamiento es, en varios sentidos, parecido al desarrollado por Sappington y Sibley (1992) salvo por un aspecto básico: la presencia de $E(Q_t)$ y K_t en la estimación de AR_t . En su artículo, los autores sostienen que un plan de regulación en el que el ingreso promedio es calculado usando las demandas o ventas del período previo ($Q_{t-1}(P_{t-1})$), genera incentivos para que la empresa regulada establezca estratégicamente, a través del tiempo, sus precios no lineales. Para comprobarlo, resuelven un problema de optimización como el planteado en (4), en el que los datos de las variables de control (P_t, E_t) y de estado (Q_t) son conocidas.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{P_t, E_t} \sum_{t=1}^T B^{t-1} \{ P_t Q(P_t) - C(Q(P_t)) + E_t \} \\ \text{s.a.} \quad E_t \leq Q_{t-1} [P_0 - P_t] \quad \forall t = 1, \dots, T \end{aligned} \quad (4)$$

donde $B \in [0,1]$ es el factor de descuento de la empresa y $C(Q)$ es el costo de producir un nivel de producto.

Sus resultados, obtenidos tras especificar las funciones de demanda y de costos, revelan que las tarifas óptimas y los excedentes del consumidor y del productor están en función de P_0 , c y B . La modificación de los valores de estas variables (por ejemplo de B), más allá de cierto umbral, determina la magnitud del efecto estratégico intertemporal mediante el cual los productores optan por reducir sus cargos P_t a cambio de incrementar sus cuotas futuras en E_t .²⁰

¹⁹ Hacemos estos supuestos para aislar los efectos de todos aquellos factores que no sean P_t sobre Q_t . En particular las últimas condiciones sobre Q_t significan que cuando la demanda es positiva, ésta declina estrictamente con un incremento en P_t , i. e., $Q'(P_t) < 0 \quad \forall p \text{ tal que } Q(P_t) > 0$.

²⁰ La recomendación de Sappington y Sibley de utilizar un nivel fijo de producto ($Q_0(P_0)$) o un régimen de mandatory option (en el que el consumidor puede comprar el producto al precio

El problema aquí propuesto es diferente porque, para empezar, los datos de Q_t no son conocidos *a priori*. El pronóstico de la agencia reguladora sobre el comportamiento esperado de la demanda, $E(Q_t)$, puede ser o no acertado y, por lo mismo, la eventual K_t que se añade o deduce al índice P_0 en cada periodo no siempre tiene un valor preestablecido. De hecho, la irregularidad con que K_t absorbe los choques imprevistos de la demanda hace de ella una variable aleatoria que, para su modelación, puede requerir la inclusión de un proceso estocástico.

Como consecuencia, la presencia de K_t introduce complicaciones en la determinación de las tarifas y de las demandas óptimas que no están contempladas en un problema de optimización determinística, como el desarrollado por Sappington y Sibley. Las complicaciones provienen de tratar con funcionales más complejos así como de utilizar métodos de solución que no siempre presentan *formas cerradas* en las ecuaciones que relacionan P_t y E_t con las variaciones en los excedentes.

El tratamiento de un modelo de esta naturaleza permite, sin embargo, situar los resultados obtenidos por procedimientos determinísticos en un marco más general. Esto se puede apreciar mejor al analizar los efectos derivados de un cambio en P_t , durante el cálculo de la tarifa en dos partes al inicio del periodo t . En el hipotético (e improbable) caso en que $E(Q_t) = Q_t$, se obtienen resultados más o menos parecidos a los de Sappington y Sibley, ya que aquí también es posible distinguir un efecto contemporáneo (o que ocurre en el mismo periodo) y un efecto intertemporal o estratégico. En el primer efecto, un decremento en P_t , por ejemplo, hace más grande la diferencia entre el precio tope (o price cap) y el precio del periodo $[P_0 - P_t]$, lo cual permite a la empresa fijar una E_t mayor en el periodo t . En el segundo efecto, un incremento en E_t , digamos de $\Delta E_t < \Delta[P_0 - P_t]$, que resulta también de reducir P_t , hará que $AR < P_0$ y que $K_t > 0$, con lo que la restricción del ingreso promedio en el periodo $t+1$ deviene $E_{t+1} \leq E\{Q_{t+1}(P_0 + K_t - P_{t+1})\}$. En otras palabras, de acuerdo con el segundo efecto y con el análisis hecho por Sappington y Sibley, un menor cargo por uso en el periodo t habilita a la empresa a fijar un mayor cargo fijo en el periodo $t+1$, $\forall t < T$ ²¹. Asumimos en lo que resta del documento, que no existe este efecto

establecido por la tarifa en el periodo 0), como mecanismos alternativos para evitar pérdidas en el excedente del consumidor, no altera los términos de optimización del problema original.

²¹ Cabe notar que aún cuando el resultado del segundo efecto es igual al de Sappington y Sibley, la mecánica de transmisión es distinta. Para esos autores, la conducta estratégica intertemporal que adopta la empresa proviene del rezago en las cantidades usadas para fijar el ingreso promedio, mientras que aquí esta conducta obedece al uso de cantidades del mismo periodo Q_t y depende de las

estratégico de tal forma que cuando P_t disminuya, el incremento E_t es tal que la restricción $E_t \leq Q_t [P_0 - P_t]$ está activa, para todo t .

En caso de que $E(Q_t) \neq Q_t$, $E(AR_t) \neq AR_t$, y el factor de corrección K_t , tendrá que ser agregado o deducido a P_0 con una probabilidad cambiante p . Nuestro problema consiste, precisamente, en analizar si este componente estocástico (representado por K_t) puede obstaculizar la implementación de precios topes bajo un régimen de regulación basado en el ingreso promedio del monopolista.

Para tal efecto, es necesario modificar el sistema estándar desplegado en (4) a fin de examinar la estrategia de maximización de ganancia de un monopolista que opera con incertidumbre. Esta estrategia implica la solución de un nuevo funcional que incorpore los elementos de carácter estocástico al planteamiento original del modelo, tal como el que aparece en el sistema (5).

$$\max_{P_t, E_t} E \left\{ \sum_{t=1}^T B^t (P_t Q_t - c(Q_t) + E_t) \right\}$$

sujeto a:

$$Q_{t+1} = Q_t(P_t) - K_t$$

$$E_t = E \left\{ Q_t (P_0 + K_t - P_t) \right\}$$

$$Q_T \geq M$$

II.2 Definición de los Elementos del Modelo

El sistema (5) está compuesto por un funcional *sensible al riesgo* (risk sensitive functional), una ecuación de transición o movimiento, una restricción compulsoria (o binding restriction) sobre E_t y una condición final sobre Q_t . El funcional, que expresa el valor esperado del flujo descontado de beneficios de un monopolista sujeto a una regulación por ingreso promedio, incluye a su vez un factor de descuento B , dos controles, E_t y P_t , una variable de estado Q_t y una función de costos $c(Q_t)$.

El signo de B indica rechazo (si $B > 0$) o proclividad (si $B < 0$) al riesgo en el sentido de que el monopolista preferirá descontar más rápido sus ganancias entre más grande y positivo sea el valor de B (de ahí que el funcional sea *sensible al riesgo*). Los controles son, por su parte, los dos componentes de la tarifa, E_t y P_t , que el monopolista busca manipular para alcanzar la diferencia óptima entre la

preferencias intertemporales de la empresa. La razón se debe a la presencia de K_t , como se explicará más adelante.

demanda estimada $E(Q_t)$ y la efectivamente realizada Q_t ; todo esto obviamente en su afán de obtener el mayor flujo esperado de beneficios. La variable de estado Q_t es la demanda que el monopolista registra al final de cada período, la cual es supuesta acumulativa por el hecho de que el monopolista está obligado a cubrir un número no menor a M unidades al final del horizonte de planeación²². Para cada período, la demanda incluye la realizada por los consumidores previamente conectados más la de los nuevos consumidores, de tal suerte que $0 \leq Q_t \leq M$. Los costos en cada período incluyen los costos de interconexión de nuevos consumidores más un costo fijo y variable. Por comodidad, suponemos que los costos de interconexión son iguales a cero.

La ecuación de transición $Q_{t+1} = Q_t(P_t) - K_t$, es una ecuación en diferencia estocástica de primer orden que expresa, simplemente, que la demanda del período $t+1$ depende de la demanda acumulada durante el período t y de un factor de corrección estocástico K_t . El componente $Q_t(P_t)$, también conocido como desplazamiento o *drift* de la ecuación, expresa el crecimiento promedio de la demanda en ausencia de perturbaciones. Esto quiere decir, que si no hay fallas de pronóstico (o si la demanda se ajusta perfectamente a la tendencia descrita por una función determinada), el volumen registrado en $t+1$ será exactamente igual al indicado por la tendencia, o por la parte determinística de la ecuación, entre t y $t+1$ (o brevemente: durante t). El factor K_t entra con signo negativo en la ecuación estocástica porque cuando $K_t > 0$ (debido a que $E(AR_t) > AR_t$) el monopolista tenderá a fijar una cuota fija E_{t+1} tan alta que deprimirá la demanda Q_{t+1} . En otras palabras, entre mayor sea el cargo de entrada E_{t+1} mayor será el número de consumidores que no podrán ser conectados durante tal período y, por lo tanto, menor la cantidad demandada.

La característica esencial de esta ecuación es que, al gobernar el movimiento del sistema en su conjunto, convierte a todos los elementos del funcional en estocásticos. De aquí que sea muy importante determinar las características de K_t , puesto que de ello depende el valor de los controles óptimos. En general cabe explorar dos posibilidades. Una es asignarle probabilidades conocidas a K_t sin considerar ningún proceso estocástico. Para ello es menester contar con juicios expertos sobre las eventuales desviaciones de las estimaciones de K_t en cada período del horizonte de planeación.

La otra posibilidad es asociarle procesos estocásticos contables a K_t que permitan analizar diferentes escenarios acerca del comportamiento de la demanda.

²² La CRE requiere que, en cualquier licitación de proyectos de distribución de gas natural, las empresas participantes cubran un número mínimo de consumidores al final del primer período de cinco años de operación.

Entre estos procesos es importante considerar a los de Poisson, por dos razones principales. La primera porque permiten observar cómo la probabilidad de K_t converge exponencialmente a un número determinado (que puede ser una meta oficial) dependiendo de la tasa λ a la que los consumidores demandan cierta cantidad del producto. Esto es particularmente interesante cuando se supone que las desviaciones entre el pronóstico de la demanda y el monto real son cada vez menores a través del tiempo. Asimismo el uso de estos procesos puede ser muy útil para simular variaciones bruscas en la demanda ya que mediante procesos no homogéneos es posible incluir diferentes λ en cada período (con lo que se asume que el evento ocurre con mayor probabilidad en unos momentos que en otros). La segunda razón es que los procesos de Poisson permiten combinar fenómenos (procesos de Poisson compuestos), como podrían ser la probabilidad de incorporación de clientes al mercado con la probabilidad de su volumen comprado, que pueden dar mayor realismo a los efectos de K_t sobre las demandas futuras.

La última ecuación $E_t = E\{Q_t(P_0 + K_t - P_t)\}$ proviene de imponer una condición límite a la desigualdad (3) a fin de eliminar cualquier efecto estratégico intertemporal que se presente al cambiar P_t . Esto quiere decir que ante cualquier cambio en P_t , las variaciones de E_t serán tales que la restricción $E_t \leq Q_t[P_0 - P_t]$ siempre se mantendrá activa. Las ventajas que resultan de establecer esta restricción compulsoria son evidentes pues, por un lado, simplifica el problema de optimización al eliminar E_t del funcional y, por otro lado, permite concentrarse exclusivamente en los efectos estocásticos de K_t sobre la determinación de los P_t óptimos.

Sustituyendo esta última restricción en el funcional objetivo y suponiendo funciones lineales de demanda ($Q_t = a - bP_t$, $\forall P_t \leq \frac{a}{b}$, o $Q_t = 0$ $\forall P_t \geq \frac{a}{b}$, donde a y b son constantes positivas) y de costos ($F + cP_t$, donde F [costos fijos] y c [costos marginales] son constantes positivas), el sistema (5) se transforma en:

$$\max_{P_t} E \left\{ \sum_{t=1}^T B^t \left((P_0 + K_t) [a - bP_t] - [F + cP_t] \right) \right\}$$

sujeto a: (6)

$$Q_{t+1} = a - bP_t - K_t$$

$$Q_t \geq M$$

El nuevo sistema, además de ser mas manejable, hace explícito que el funcional depende de elementos estocásticos. Esta característica mas el hecho de incorporar una condición límite sobre E_t (que permite a su vez dejar como única variable de control a P_t), son las principales novedades teóricas del modelo.

II.3 Determinación de los controles óptimos

El procedimiento usual para encontrar la ley o política de control $\pi = \{P_1, \dots, P_T\}$ asociada a un sistema como (6) consiste en replantear el problema de optimización en términos del algoritmo de la programación dinámica. Para lograrlo es necesario, antes que nada, definir los siguientes elementos constitutivos del marco de referencia de la programación (Bertsekas 1976):

$$g_T(Q_T) = B^T[G(M)], \text{ donde } G \text{ son las ganancias netas del monopolista} \quad (7.1)$$

$$g_t(Q_t, P_t(Q_t), K_t) = B^t[(P_0 + K_t)(a - bP_t) - (F + cP_t)] \quad (7.2)$$

$$Q_{t+1} = f_t(Q_t, P_t(Q_t), K_t) = a - bP_t - K_t \quad (7.3)$$

$$\rho_t(Q_t) = |0, \alpha) \quad \forall \alpha \in R^1 \quad (7.4)$$

La expresión (7.1) indica que el beneficio del período T se realiza cuando el monto acumulado de la demanda final cubierta por el monopolista es igual a M (o brevemente $\sum_{t=0}^T Q_t = M$). Este monto se repartirá entre cada una de los T períodos que componen el horizonte de planeación con arreglo a un conjunto de controles óptimos. La demanda óptima asignada en cada periodo ofrecerá al productor el mayor flujo descontado de beneficios en condiciones de incertidumbre, tal como está estipulado por las ecuaciones (7.2) y (7.3). Los controles asociados a las demandas tienen sentido económico sí y sólo si son no negativos (expresión 7.4).

Una vez establecido el marco de referencia lo que resta es reexpresar el sistema (6) en términos de las funciones jacobianas o de desempeño (sistema 8) y de las ecuaciones de recurrencia de Bellman para los k periodos (ecuaciones 9.1, 9.2 y 9.3), utilizando el método recursivo de "adelante hacia atrás" (*backward induction* o *step-to-go*):

$$J_\pi(Q_0) = \max_{P_t, K_t} E \left\{ g_T(Q_T) + \sum_{t=1}^{T-1} g_t(Q_t, P_t(Q_t), K_t) \right\}$$

sujeto a: (8)

$$Q_{t+1} = f_t(Q_t, P_t(Q_t), K_t) = a - bP_t - K_t$$

Período T

$$J_T(Q_T) = \max_{P_T \geq 0, K_T} E B^T \left\{ (P_0 + K_T)(a - bP_T) - (F + cP_T) \right\} \quad (9.1)$$

Período T-1

$$J_{T-1}(Q_{T-1}) = \max_{P_{T-1} \geq 0, K_{T-1}} E B^{T-1} \left\{ (P_0 + K_{T-1})(a - bP_{T-1}) - (F + cP_{T-1}) \right\} + J_T(a - bP_{T-1} - K_{T-1}) \quad (9.2)$$

Período k

$$J_k(Q_k) = \max_{P_k \geq 0, K_k} E B^k \left\{ (P_0 + K_k)(a - bP_k) - (F + cP_k) \right\} + J_{k+1}(a - bP_k - K_k) \quad (9.3)$$

Cabe aclarar que, debido a la naturaleza particular del problema, las tres últimas ecuaciones se refieren a las funciones de beneficio que rigen para un período de *longitud* determinado. Así decimos, por ejemplo, que $J_T(Q_T)$ representa los beneficios esperados en el período de *longitud* T, porque incluye los beneficios generados entre T-1 (tiempo en el que el monopolista realiza la estimación) y T (tiempo final del horizonte de planeación). Del mismo modo, la *longitud* del último período es de tamaño *uno* (y que comprende los tiempos 0 y 1), porque es en el tiempo 0 que el monopolista hace la primera estimación de sus beneficios.

III. Simulación

Para dar una idea más intuitiva de los resultados sugeridos por las ecuaciones 9, realizamos varias simulaciones con base en información proveniente de los proyectos presentados por las empresas ganadoras de los concursos de licitación de distribución de gas en México. El procedimiento incluyó varios pasos.

Primero, se calcularon los distintos parámetros de las funciones de demanda y de costos así como los valores de P_0 , P_t , E_t y Q_t para el servicio industrial y para la mayoría de las empresas (9 de un total de 14)²³. En la estimación de los parámetros de las funciones de demanda se corrieron varias regresiones con series de precios y cantidades para los T períodos (5 años en todos los casos), cuidando que, $Q_t = a - bP_t$, $\forall P_t \leq \frac{a}{b}$. Los costos fijos y marginales, las E_t y los

²³ Tres de las catorce empresas no proporcionan datos del volumen de demanda de acuerdo con la información disponible en la página web de la CRE (<http://www.cre.gob.mx>).

pronósticos de las empresas acerca de Q_t , fueron tomados de los proyectos de distribución para el servicio industrial. P_0 fue calculada directamente de la restricción $E_t = Q_t [P_0 - P_t]$ cuando $Q_t = M$ (manteniéndose fija en los 5 años), mientras que las P_t incluyeron un proceso de estimación más indirecto. En ese caso se supuso que el dato ofrecido por los proyectos de inversión era $P_t(M)$, o el precio asociado al volumen final de demanda acumulada, y no $P_t(Q_t)$, por lo que fue necesario establecer una relación lineal entre ese precio y los demás volúmenes para obtener los precios de los restantes períodos. La justificación de este supuesto se basa en el hecho de que P_t es en realidad un *markup* (o precio excedente) que crece o decrece linealmente con Q_t , como se demuestra en seguida.

Si consideramos que $P_t = a - bQ_t$ es la función inversa de demanda lineal, entonces es claro que un monopolista que trata de maximizar sus beneficios buscará que su ingreso marginal sea igual a su costo marginal o que $IM = a - 2bQ = c$. Esto significa que $P_t = c + bQ_t$ o que el cargo por uso que dicho monopolista establece es un precio excedente sobre su costo marginal, que crece o decrece linealmente a medida que Q_t aumente o disminuya, respectivamente²⁴. En caso de que un monopolista seleccione su política óptima de precios con base en esa trayectoria se dirá entonces que siguió una estrategia de precios simple, cuando no, una estrategia de precios combinada.

El segundo paso consistió en modificar los valores de B y K para analizar los efectos de la conducta de la empresa (adversa o proclive al riesgo) y de las condiciones de incertidumbre sobre los P_t óptimos y el excedente del consumidor. En lo referente a los cambios en B , se optó inicialmente por respetar el supuesto anteriormente hecho de que el monopolista es miope y, por tanto, no adopta ninguna conducta estratégica intertemporal (a fin de que la restricción $E_t = Q_t [P_0 - P_t]$ se cumpla). Esto significa que B siempre será no negativa y que el monopolista rechaza el riesgo. Sin embargo, existe una posibilidad de que este supuesto pueda ser relajado (y, en consecuencia, de que los valores admisibles de B puedan ser negativos). En este caso suponemos que el monopolista está obligado por el regulador a cumplir la restricción en cada periodo y, por ende, a ajustar sus estrategias intertemporales a tal restricción. Debido a esa posibilidad también se estimaron valores negativos de B .

Las probabilidades asignadas a las K_t fueron determinadas, a su vez, con base en opiniones expertas en vez de asociarle un proceso estocástico debido,

²⁴ En consecuencia, dado que c se supone aquí constante, P_t refleja el poder de mercado de un monopolista que crece a medida que ese precio excedente es mayor, tal como lo expresa su índice de Lerner $\frac{P_t - c}{P_t} = b \frac{Q_t}{P_t} = \frac{1}{\eta}$, donde η es la elasticidad precio de la demanda

principalmente, a que existen regulaciones que suavizan las consecuencias de desviarse en más del 10% de su volumen pronosticado²⁵. De hecho, los cuatro valores de K que se ensayaron (1%, 3%, 6% y 9%) pueden interpretarse como el promedio de las desviaciones en la estimación de volumen. Cada valor fue aplicado, como si fuera una desviación estándar, a las Q_t de cada período, mientras que al valor pronosticado de la empresa se les dio una probabilidad fija de $p\{E(Q_t) = Q_t\} = 0.005$.²⁶

El tercer paso consistió en alimentar la ecuaciones 9 para estimar los jacobianos o funciones de desempeño óptimo en cada período y para cada empresa. Los resultados sobre las P_t^* y Q_t^* , que aparecen desplegados para nueve empresas en la tabla 1, fueron obtenidos mediante el programa *Mathematica*, utilizando cinco valores de B (tres positivos y dos negativos) y los cuatro ya mencionados de K ²⁷. Cada valor de P_t^* y Q_t^* fue discriminado de un conjunto de tres precios y tres cantidades (llamado conjunto factible) por período, el cual estuvo compuesto por un precio y una cantidad calculada por la trayectoria lineal y dos precios y dos cantidades resultantes de aplicar el valor de K .

Finalmente, el cuarto paso, se redujo a estimar el excedente del consumidor mediante la ecuación(10), utilizando los P_t^* y Q_t^* obtenidos previamente para cada valor de B y K :

$$\Delta S \equiv \sum_{t=1}^T B' [S_t - S_0] \quad (10)$$

donde:

$$S_0 \equiv \int_{P_0}^T Q_t(P_t) dP_t$$

$$S_t \equiv \int_{P_t}^T Q_t(P_t) dP_t - E_t$$

²⁵ La CRE permite el ajuste del cálculo del ingreso promedio en algún período, cuando la caída en el volumen es mayor al 10% (ver CRE (1996) arts. 6.83 al 6.89).

²⁶ Esta probabilidad fue calculada con base en juicios expertos acerca del comportamiento de la demanda histórica.

²⁷ De las empresas seleccionadas 5 cuentan con experiencia y 4 son de reciente creación (y que conforman los proyectos greenfield).

En virtud de que P_i^* y Q_i^* están medidas respectivamente en pesos por unidad de gigacaloría y unidades de gigacalorías, el excedente del consumidor representa el ingreso total transferido al consumidor en pesos.

III.1 Resultados y Recomendaciones

El resultado más consistentemente encontrado en los proyectos de inversión es que el excedente del consumidor es positivo cuando el monopolista rechaza el riesgo. Este es el caso de todas las empresas presentadas en la Tabla 1 que, a pesar de sus diferentes patrones de selección de P_i^* y Q_i^* generan un excedente del consumidor positivo. La distribución de ese excedente es más o menos similar entre ellas, pues tiende a crecer con valores de $\beta > 0$ y a decrecer hasta volverse negativo, cuando $\beta < 0$ y las K son cada vez más grandes. En las empresas establecidas el excedente es sostenidamente más alto entre mayor es el valor de K ²⁸, mientras que en las de reciente creación (o que tienen nuevos proyectos de distribución) ocurre lo contrario. La explicación reside en que mientras más alta es la incertidumbre y el rechazo al riesgo por parte de la empresa, mayor es la propensión de ésta a descontar en los periodos iniciales el grueso de su flujo de beneficios y, por tanto, a bajar sus precios en los últimos periodos. Pero esto sólo es cierto si el productor cuenta con el suficiente conocimiento de las condiciones de mercado como para lograr acumular su mayor porcentaje de Q_i^* al inicio del horizonte de planeación, cuestión que no es muy clara para las empresas que inician con nuevos proyectos.²⁹

Otro resultado igualmente interesante es que las empresas adoptan estrategias de precios combinadas al momento de seleccionar sus P_i^* . De acuerdo con la tabla 1, ninguna de las empresas siguió la tendencia de precios simples descrita en el apartado anterior sino más bien, al contrario, buscó combinar precios altos ($P > K$) en los primeros periodos con precios bajos ($P < K$) en los finales. Este patrón se vuelve más confuso a medida que incrementamos el valor de las K debido a que, algunas veces, las empresas tomaron los precios de la tendencia (P) y otras no (sobre todo cuando $B < 0$). Las excepciones otra vez estuvieron representadas por las empresas de reciente creación que en un principio adoptaron los precios altos y después, a medida que K crecía, seleccionaron indistintamente algunos precios. No

²⁸ La excepción la representa Gas Natural de Juárez.

²⁹ Si bien la familiaridad con las condiciones de mercado es un factor importante para sortear el riesgo o la incertidumbre, no menos importante es la elasticidad de la demanda que enfrenta la empresa. Los resultados hasta aquí reseñados pueden modificarse si suponemos que la elasticidad de la demanda del productor es mayor en los primeros periodos que en los restantes, pues en ese caso podría ocurrir que las P_i^* seleccionadas produzcan una baja más que proporcional en la Q_i^* demandada, lo que traerá una baja en el excedente del consumidor. Debido a esto hay que tener en cuenta que estos resultados son válidos si y sólo si se considera un producto y una misma función de demanda lineal para todas las empresas.

obstante estas diferencias todas las empresas seleccionaron los precios mas altos al principio que al final del horizonte de planeación cuando $B > 0$, independientemente del valor de K .

Estos resultado son parcialmente parecidos a los de Sappington y Sibley aunque no en su contenido. Si bien los valores de B son esenciales para determinar las variaciones en el excedente del consumidor en ambos documentos, la mecánica de operación es distinta en cada uno de ellos. En el trabajo de Sappington y Sibley una disminución en P_t no necesariamente se traduce en un aumento en el excedente del consumidor, debido a las estrategias adoptadas por los productores en el siguiente período que pueden elevar E_t y, por lo tanto, contrarrestar el efecto inicial de la baja en P_t . De ahí que estimen que, a medida que se expanda el horizonte de planeación, esas estrategias puedan nulificar los efectos benéficos de las bajas en el cargo por uso a menos que el valor de B sea muy alto (respecto al valor del *status quo*)³⁰.

En nuestro ejemplo, el supuesto de que $E_t = Q_t [P_0 - P_t]$ para cualquier valor de B , anula la posibilidad de esas estrategias y permite obtener aumentos en el excedente de consumidor ante bajas acumuladas en los P_t a lo largo del horizonte de planeación. Con valores de E_t y P_0 constantes en los T períodos, el único efecto que puede afectar los incrementos en el excedente del consumidor es el derivado de la combinación entre K y B . De hecho encontramos que ante valores negativos de B y grandes de K , el excedente del consumidor se vuelve más negativo al igual que las funciones de desempeño $J^*(Q_t^*)$ (lo cual indica que no hay beneficios positivos), contrario a lo estipulado por Sappington y Sibley.

En cualquier caso, lo interesante de este ejercicio es que muestra que el componente estocástico es de vital importancia para entender las decisiones de un productor sujeto a un régimen de regulación por ingreso promedio. Su ausencia en la literatura especializada ha impedido comprobar hasta que punto ese componente puede anular o alentar los efectos estratégicos intertemporales comúnmente analizados para el caso determinístico. Las conclusiones aquí obtenidas apuntan a señalar que los efectos contrarrestantes de la introducción de K pueden ser importante. Falta comprobar, sin embargo, si nuestros resultados siguen siendo válidos al relajar el supuesto que impide la conducta estratégica arriba señalada y, sobre todo, al cambiar tres aspectos del problema de optimización del sistema (6).

El primero tiene que ver con la función de costos. Queda claro que una manera mas realista de modelar una función de costos de un monopolista que introduce mejoras tecnológicas debe estar representada por una función del tipo $c(Q_t) = F - dQ_t^2$, donde $d > 0$ indica rendimientos crecientes y decrecientes a escala respectivamente, y no por una función de demanda lineal.

³⁰ Sappington y Sibley (1992, pp.5-9).

El segundo aspecto se refiere a evaluar funciones de demanda quebradas (kinked curves) del tipo $P_i = a - b\theta[Q_i]$ donde $i = 1, \dots, n$, con el propósito de analizar la conducta estratégica de monopolistas que cuentan con diversos parámetros de diferenciación de productos θ y no sólo un producto. Es muy probable que ahora sus estrategias no se reduzcan a incrementar o reducir el cargo fijo ante aumentos o reducciones en el cargo por uso sino a combinar resultados, dependiendo de la elasticidad cruzada de sus productos. Esto llevaría, seguramente, a presenciar en condiciones de incertidumbre, patrones diversos de selección de P_i^* , Q_i^* y E_i^* no analizados hasta ahora.

Finalmente, el tercer aspecto, se relaciona con la necesidad de usar Procesos de Poisson compuestos para analizar situaciones estocásticas más complejas que afectan la estrategia de beneficios del monopolista, y que no tienen nada que ver con K . De acuerdo con los datos analizados, las empresas distribuidoras de gas natural en México no sólo están interesadas en hacer una estimación precisa de la demanda con base en $p\{K_i = i\} = \varepsilon$, sino también en conocer el número de clientes cubiertos que se incorporan al mercado a una tasa λ con probabilidad

$$p_0 = e^{-\lambda} \text{ y } p_n = \frac{\lambda}{n} \sum_{j=1}^n j \alpha_j p_{n-j}, \quad \forall n \geq 1 \text{ (véase Ross 1996).}$$

Mediante el uso de esos procesos se puede optar por mantener una misma o varias λ para los T periodos (dependiendo si los clientes ingresan al mercado a un ritmo igual o desigual) y/o modificar el valor de ε según las condiciones de incertidumbre de la demanda (podría mantenerse una ε muy alta al inicio de los periodos y después más baja en los últimos o cualquier otra combinación). En cualquier caso el componente estocástico dejaría de ser tan simplificado como el que usamos en el presente documento y podría darle un toque más realista a las decisiones de política.

IV Conclusiones

El principal aporte de este artículo es la modelación de los efectos de la regulación por ingreso promedio sobre el excedente del consumidor y la eficiencia productiva de una empresa monopólica cuando ésta enfrenta cambios estocásticos en su demanda. Esta tarea, que no había sido realizada hasta ahora, ofrece elementos para sostener que la regulación por ingreso promedio “no es tan mala como la pintan”, sobre todo porque permite atraer inversiones e incrementar el excedente del consumidor en los proyectos greenfields.

En concreto, el documento muestra, que en ausencia de conducta estratégica intertemporal (lo cual implica que $E_i = Q_i [P_0 - P_i]$) la regulación por

ingreso promedio de la actividad de un monopolista, que opera en condiciones de incertidumbre, incrementa el excedente del consumidor. Este excedente tiende a aumentar a medida que la tasa de descuento es tal que $B > 0$ y a disminuir, hasta volverse negativo, cuando $B < 0$ y los valores de K son grandes.

La introducción del componente estocástico K , favorece la selección de trayectorias combinadas de P_t^* por parte del monopolista que busca maximizar el valor esperado del flujo futuro de sus beneficios. La selección más recurrente es combinar precios altos en los primeros periodos con precios bajos ($p-k$) en los finales, siempre y cuando los incrementos al volumen acumulado de Q_t^* sean menores al final del horizonte de planeación y los valores de $B > 0$. Con valores mayores de K y $B > 0$ la trayectoria se vuelve más confusa, sobretodo en los nuevos proyectos de distribución, mientras que con $B < 0$ la trayectoria arriba descrita se invierte.

Estos resultados apoyan la tesis de que la incorporación de componentes estocásticos en el estudio de la conducta de un monopolista, sujeto a un régimen de regulación por ingreso promedio, puede modificar algunas relaciones consagradas en la literatura entre P_t , B y el excedente del consumidor. De acuerdo con nuestros resultados, no es muy claro, por ejemplo, que valores de $B < 1$, produzcan siempre excedentes positivos para el consumidor, o que ese excedente disminuya a medida que se expanda el horizonte de planeación. El efecto combinado de K y B , al actuar como fuerza contrarrestante, puede invertir el orden y dirección de esas relaciones³¹.

El punto que queda por comprobar es si estos resultados se mantienen al permitir la existencia de efectos intertemporales en la conducta estratégica del monopolista o al alterar alguna de las formas funcionales dadas a la demanda, los costos, o al componente estocástico. Nuestra intuición es que, independientemente de las conclusiones de futuras investigaciones, la inclusión de funcionales estocásticos en los problemas de optimización servirá, seguramente para evaluar otros efectos estratégicos que no han sido analizados en la literatura reciente. El simple hecho de evaluar un fenómeno con incertidumbre implica, de suyo, adoptar una estrategia que no tiene nada que ver con la sustitución de tarifas.

Asimismo, es importante enfatizar el carácter temporal que debe tener el uso del régimen de ingreso promedio. Una vez que las condiciones de incertidumbre

³¹ Es justo reconocer, sin embargo, que los resultados aquí obtenidos se basaron en datos ofrecidos por empresas ganadoras de subastas, en las que el criterio de asignación fue el menor ingreso promedio propuesto. Esto pudo originar que parte de los incrementos registrados en el excedente del consumidor se deberían también a la competencia por el mercado implicada por las subastas. Aun así, es posible asegurar que la CRE logró un adecuado balance entre inversión y maximización del bienestar social, mediante el uso de ambos instrumentos de política (subastas y regulación de precios por ingreso promedio). Esta lección es de suma importancia para países en desarrollo que buscan llevar a cabo proyectos de infraestructura nuevos, en condiciones de alto riesgo.

disminuyan y la demanda se estabilice, el índice encadenado de *Laspeyres* es, como quedó asentado en la revisión de la literatura, la mejor opción. Además, no se debe olvidar que la regulación por ingreso promedio es solamente operativa para industrias con productos comensurables. En otros casos, alguna variante de la restricción de canasta de tarifas puede utilizarse con mejores resultados, aún en situaciones de alto riesgo.³²

Finalmente, cabe mencionar que las conclusiones son limitadas en tanto que sólo consideran un solo servicio (industrial). En el caso que haya varios servicios y condiciones de demanda inelástica, es de esperarse que la conducta estratégica de la empresa incluya la manipulación de los cargos de entrada entre los distintos tipos de consumidores. Otras posibles líneas futuras de investigación deberían contemplar los efectos del ingreso promedio sobre el excedente del consumidor y la eficiencia productiva de la empresa ya sea considerando costos cambiantes o edogoneizando el ingreso promedio tope P_0 (que en nuestro estudio se tomó como una variable exógena).

³² Como por ejemplo, en la industria de las telecomunicaciones.

Tabla I. Precios Óptimos y Excedente del Consumidor (continuación)

II - Nuevos Proyectos de Distribución

Proyecto	B	k=1%					k=3%					k=6%					k=9%				
		1	1.1	0.9	-0.1	-0.9	1	1.1	0.9	-0.1	-0.9	1	1.1	0.9	-0.1	-0.9	1	1.1	0.9	-0.1	-0.9
Reposol	P1*	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	0.10	0.10
	P2*	0.13	0.13	0.13	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	P3*	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.14	0.14	0.14	0.11	0.11
	P4*	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.11	0.14	0.14	0.14	0.14	0.11	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	P5*	0.13	0.13	0.13	0.39	0.39	0.13	0.13	0.13	0.39	0.39	0.13	0.13	0.13	0.39	0.39	0.13	0.13	0.13	0.39	0.39
Toluca		P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K
		P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K
		P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K	P+K
		P+K	P+K	P+K	P	P	P+K	P+K	P+K	P	P	P+K	P+K	P+K	P	P	P+K	P+K	P+K	P	P
Q1*	1491	1491	1191	1461	1461	1570	1520	1520	1433	1432	1565	1565	1563	1387	1387	1609	1609	1609	1341	1341	
Q2*	91	91	91	91	91	93	93	93	97	91	95	95	95	95	95	98	98	98	98	98	
Q3*	196	196	196	192	192	200	200	200	188	188	206	206	206	182	182	211	211	211	177	177	
Q4*	108	106	106	106	106	108	108	108	108	108	111	111	111	111	111	114	114	114	114	114	
Q5*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
J*(Q1)	302	349	259	22	243	857	980	737	68	736	1661	1906	1438	139	1488	2446	2806	2119	211	2255	
J*(Q2)	76	103	53	0	44	184	247	134	1	174	341	457	248	1	245	492	639	359	1	265	
J*(Q3)	57	80	40	0	29	139	192	97	0	88	257	355	180	0	177	371	512	260	0	267	
J*(Q4)	25	37	16	0	13	51	78	31	0	31	93	112	61	0	58	132	194	86	0	83	
J*(Q5)	5	9	3	0	0	5	9	3	0	0	5	9	3	0	0	6	9	3	0	0	
EXL	11286	17845	9794	-198	-1638	13085	17575	9645	-194	-1608	14085	17575	9645	-194	-1608	12088	17303	9497	-194	-1608	

Nota: Se excluyeron los casos de DGN Mexicali, GN del Río Panuco, Tamaulipas, Distribuidor de GN del Estado en México y Consorcio Mexi-Gas por problemas de información.

Bibliografía

- Bertoletti, P., and C. Poletti, "Welfare Effects of Discriminatory Two-part Tariffs Constrained by Price Caps," *Economics Letters* 56, 1997, pp.293-298.
- Bertsekas, Dimitri P. (1976) Dynamic Programming and Stochastic Control, Academic Press, London.
- Bradley, I. and C. Price, "The Economic Regulation of Private Industries by Price Constraints," *The Journal of Industrial Economics*, Vol. XXXVII, 1998, pp. 99-106.
- Bradley, I. and C. Price, "Average Revenue Regulation and Regional Price Structure," *Regional Science and Urban Economics* 21, 1991, pp. 89-108.
- Brennan, T.J., "Regulating by Capping Prices", *Journal of Regulatory Economics*, 1989, No. 1, pp. 133-147.
- Comisión Reguladora de Energía, 1996, *Directive on the Determination of Prices and Rates for Natural Gas Regulated Activities*, México: CRE.
- Fraser, R., "The Relationship Between the Costs and Prices of a Multi-Product Monopoly: The Role of Price-Cap Regulation," *Journal of Regulatory Economics* 8, 1995, pp.23-31.
- International Energy Agency, *Regulatory Reform in Mexico Gas Sector*, Paris: OECD/ IEA, 1996.
- Law, P.J., "Welfare Effects of Pricing in Anticipation of Laspeyres Price Cap Regulation- An Example", Mimeo, Department of Economics, University of Warwick, Coventry, Great Britain.
- Law, P.J., "Tighter Average Revenue Regulation Can Reduce Consumer Welfare", *The Journal of Industrial Economics*, Vol. XLIII, December 1995, pp. 399-4064.
- Loeb, M., and W.A. Magat, "A Decentralized Method of Utility Regulation," *Journal of Law and Economics* 22, 1979, pp.399-404.
- Ncu, W., "Allocative Inefficiency Properties of Price-Cap Regulation," *Journal of Regulatory Economics* 5, 1993, pp.159-182.
- Rosellón, J., "Regulatory Reform in Mexico Gas Industry", *Revista de Análisis Económico ILADES/Georgetown University*, 1995, Vol. 10, N° 2, Noviembre, pp. 267-283.
- Rosellón J., "Price and Rate Regulations for the Mexican Natural Gas Industry: Comments on Policy Decisions", *Economía Mexicana. Nueva Época*, 1998, vol. VII, núm. 2, México, pp. 267-308.
- Ross, Sheldon (1996) Stochastic Processes, John Wiley and Sons, New York.
- Sappington, D.E.M, and D.S. Sibley, "Strategic Nonlinear Pricing Under Price-Cap Regulation," *RAND Journal of Economics* 23, 1992, pp.1-19.
- Sibley, D., "Asymmetric Information, Incentives and Price-Cap Regulation," *RAND Journal of Economics* 20, 1989, pp.392-404.
- Vogelsang, I., "Two-Part Tariffs as Regulatory Constraints", *Journal of Public Economics* 39, 1989, pp.45-66.
- Vogelsang, I., "Optimal Price Regulation for Natural and Legal Monopolies", *Economía Mexicana. Nueva Época*, 1999 (forthcoming).