



EL COLEGIO DE MÉXICO

CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS

MAESTRÍA EN ECONOMÍA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ECONOMÍA

*MONOPOLIOS NATURALES, AVANCE TECNOLÓGICO Y
REGULACIÓN: ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS
Y DE LA TEORÍA DE LA REGULACIÓN PARA LAS
INDUSTRIAS DE DUCTOS Y DE TELECOMUNICACIONES*

ANDONI GÁRRITZ CRUZ

PROMOCIÓN 1996-1998

ASESOR:

DR. ALEJANDRO CASTAÑEDA SABIDO

FEBRERO DE 2002



Para mi esposa, mi familia y mis amigos.

**Agradezco a Agustin Ros, David Mc Carty y a Fernando Butler por sus comentarios
sobre el desarrollo de la industria de telecomunicaciones
y sobre las distintas metodologías de costeo.**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el de analizar la estructura de los costos y la regulación tanto en las industrias dedicadas al transporte de fluidos mediante ductos como en la industria de telecomunicaciones.

Partiendo de dicho análisis de la estructura de costos, se demuestra que existen tanto economías de escala como economías de densidad, y que el avance tecnológico tiene un impacto significativo en la estructura de costos. Debido a estas razones, este tipo de industrias tiene características de monopolio natural para una tecnología dada, por lo que su regulación es imprescindible para lograr maximizar el bienestar social lo más posible.

En este trabajo también se abordan los distintos problemas regulatorios generados tanto por la estructura de los costos como por otro tipo de problemas relacionados con los subsidios cruzados, bajo ingreso de la población y otro tipo de posible competencia desleal por parte de las empresas establecidas (incumbents), así como sus posibles soluciones.

La conclusión más importante del trabajo es que es necesario el establecimiento de tarifas de interconexión suficientemente desagregadas y basadas en costos para establecer incentivos correctos a la inversión en todas las zonas del país, así como el establecimiento de un mecanismo de servicio universal cuyo objetivo es el de hacer posible la convivencia de diversidades de costos con tarifas medianamente similares en todas las regiones de México.

Indice

INTRODUCCION

Capítulo 1: INDUSTRIAS DEDICADAS AL TRANSPORTE DE FLUIDOS MEDIANTE DUCTOS

- 1.1 La ingeniería económica de los ductos y de los derivados de éstos.
- 1.2 Nociones de flujo de fluidos.
- 1.3 Determinación de la velocidad de flujo y de la energía necesaria para el transporte.
- 1.4 Determinación del diámetro óptimo para un problema de diseño de ductos.
- 1.5 Demostración de que la industria de ductos tiene características de monopolio natural.
- 1.6 Demostración de que el bienestar social disminuye al instalar más de un solo ducto.
 - 1.6.1 Una tubería vs varias tuberías: análisis de los costos fijos.
 - 1.6.2 Una tubería vs varias tuberías: análisis de los costos variables.
- 1.7 Conclusión general del análisis de costos para fluidos newtonianos no-compresibles.
- 1.8 Generalización de los resultados para fluidos no compresibles para algunos casos de fluidos compresibles.
- 1.9 Demostración formal de que las industrias de ductos muestran economías a escala .
- 1.10 Conclusiones del Capítulo 1.

Capítulo 2 : LA NATURALEZA DE LOS COSTOS EN LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES Y LAS ECONOMIAS DE DENSIDAD

- 2.1 Demostración de que en el transporte y en la conmutación existen rendimientos a escala.
- 2.2 Las redes digitales de telefonía fija.
 - 2.2.1 Los costos sensibles al uso y los no sensibles al uso.
- 2.3 La minimización de costos de la red y el avance tecnológico.
- 2.4 ¿Qué metodología utilizar para el establecimiento de tarifas al operador dominante?
 - ¿Costos forward-looking o costos históricos?
 - 2.4.1 Costos incrementales puros vs TSLRIC
 - 2.4.2 Las distintas metodologías de costeo
 - 2.4.3 ¿Qué metodología utilizar entonces?

2.5 Resultados del modelo de costeo para México y las economías de densidad.

Capítulo 3 : REVISION DE LA TEORÍA DE LA REGULACIÓN: LOS ABUSOS AL CONSUMIDOR Y A EMPRESAS COMPETIDORAS QUE RECIEN ENTRAN AL MERCADO, Y LA SOLUCION DEL PROBLEMA GENERADO POR LAS ECONOMIAS DE DENSIDAD.

- 3.1 Resumen de la problemática de las redes de distribución.
- 3.2 Protección al consumidor: La regulación de la tasa de retorno. Ventajas y desventajas.
- 3.3 El método inpc-x o “precios tope” (“price-cap”) para regular empresas dominantes en situaciones de monopolio natural multimercados.
- 3.4 Estimación del Factor de productividad (“X”) para la regulación de precios tope.
 - 4.4.1 Consideraciones adicionales sobre el factor “X”.
- 3.5 Deficiencias de la regulación INPC-X o “Price-Cap” y otras prácticas anticompetitivas no tarifarias.
- 3.6 Una posible solución para los problemas relacionados con el poder monopólico: Regulación de precios tope con pisos tarifarios para cada servicio y regulación adicional y asimétrica sobre información y calidad.
- 3.7 La importancia de las tarifas de interconexión y del nivel óptimo de desagregación de estas y otras tarifas. La metodología TELRIC y la desagregación de la red (“unbundling”).
 - 3.7.1 La metodología de costeo TELRIC.
- 3.8 La solución al problema de economías de densidad, de los inconvenientes de la metodología TELRIC, de bajo ingreso en zonas rurales y de introducción de competencia al mercado local: Mecanismos de Servicio Universal.
 - 3.8.1 El mecanismo de subastas inversas como opción para determinar el monto óptimo de subsidio por regiones.
 - 3.8.2 Sobre la manera de entregar el subsidio para lograr un Mecanismo de Servicio Universal eficiente

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

Introducción

Este trabajo tiene como fin el analizar con detalle la naturaleza de los costos en varios tipos de industrias que tienen como característica común el hecho de presentar rendimientos crecientes a escala, y, más específicamente, economías de densidad. Se estudian varios marcos regulatorios aplicables a monopolios naturales multimercados, sus ventajas y desventajas, con el fin de establecer cuál es la regulación óptima para el entorno político, económico y social de México. También se analiza el impacto que tiene el avance tecnológico en la regulación óptima de este tipo de industrias, y se tomará como ejemplo a la industria de telecomunicaciones, pues en esta industria el avance tecnológico es mucho más claro y rápido que en otras industrias.

Se discutirá a detalle la naturaleza de los costos en las industrias dedicadas al transporte de masa mediante ductos (sistemas de distribución de agua potable en las ciudades, oleoductos, gasoductos, transporte de líquidos y gases de un lugar a otro, etc...). Se demostrará mediante un análisis de ingeniería económica de flujo de fluidos la razón por la cual estas industrias muestran costos unitarios decrecientes a escala y economías de densidad. Esto las pone entre la familia de las industrias que son monopolios naturales.

Se dedicará, además, un especial énfasis a la industria de telecomunicaciones. Se construyó un modelo de costeo para la red de telecomunicaciones de México que toma en cuenta la localización geográfica de las 205,000 localidades de la República Mexicana, costos unitarios aceptados internacionalmente y criterios de ingeniería, de optimización y minimización de costos de redes. El modelo permite encontrar la localización óptima de las centrales telefónicas que minimiza el costo de la red para la geografía y dispersión de la población propios de México. Adicionalmente, este modelo permite diferenciar diferentes porciones de la red, de manera que se pueda contrastar con el esquema tarifario que maneja Telmex, quien es el operador dominante en México.

Con el modelo antes descrito se demostrará que las industrias de telecomunicaciones muestran economías de densidad, y que en un entorno de avance tecnológico en el que el costo de la conmutación baja más rápido que el costo de la transmisión, la entrada de competidores sin duplicación ineficiente de redes es más posible que sin avance tecnológico diferenciado. Además se demostrará que la entrada de nuevos competidores en ese entorno no necesariamente implica duplicación ineficiente de

infraestructura, siempre y cuando exista un mecanismo de servicio universal y tarifas de interconexión suficientemente desagregadas y basadas en costos. Este hecho hace muy peculiar a la regulación óptima para la industria de telecomunicaciones y para otros tipos de redes de distribución.

Al quedar demostrado el hecho de que existen economías de densidad para las industrias dedicadas al transporte de fluidos y de telecomunicaciones, se discutirán las implicaciones que este hecho tiene para la introducción de competencia, y en la regulación óptima para este tipo de industrias.

Capítulo 1

INDUSTRIAS DEDICADAS AL TRANSPORTE DE FLUIDOS MEDIANTE DUCTOS

1.1

La ingeniería económica de los ductos y de los derivados de éstos.

En este capítulo se abordarán las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los tipos de costos en los que se incurre al construir un ducto?
- ¿Tienen los costos de este tipo de industrias alguna peculiaridad?

En los siguientes capítulos nos preguntaremos:

- ¿Qué papel juegan los costos hundidos en estas industrias?
- ¿Qué implicaciones tiene este análisis para la regulación normativa?
- ¿Es mejor tener un monopolio estatal o fomentar la competencia y privatizar?
- ¿Qué regulación debe aplicarse a este tipo de industrias para maximizar el bienestar social, especialmente cuando existe avance tecnológico rápido?

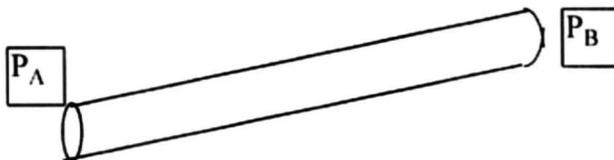
Definiciones

Ducto: un ducto es un tubo, generalmente metálico, por el que se transportan fluidos.

Fluido: un fluido es una sustancia o mezcla de sustancias que tiene la capacidad de transportarse de un punto A a otro punto B cuando la presión que se tiene en los dos puntos es distinta.

Definición de los tipos de costos que enfrenta una empresa dedicada al transporte de masa mediante ductos

En términos generales el transporte de masa mediante un ducto, y sus costos asociados, se pueden representar mediante el siguiente diagrama:



Si $P_A > P_B$, donde P denota presión, el fluido se moverá del punto A al punto B.

En el diagrama anterior se pueden apreciar ya los primeros costos, que de hecho son los que definirán la naturaleza del problema a resolver. El costo del tubo y el costo de la bomba, compresor o ventilador¹ (aparatos que son necesarios para generar una presión más alta en uno de los extremos del tubo) se pueden ver como costos fijos que habrá que ir amortizando a lo largo de la vida útil del ducto. La materia prima que se encuentra dentro del ducto podría verse también como un costo fijo, pues en todo momento de tiempo el volumen de sustancia en el ducto es un inventario, que deberá también amortizarse.

Se tienen también costos adicionales por operar el ducto, los cuales llamaremos "costos de operación". Estos son los costos de bombeo (por unidad de tiempo)², los salarios de la gente involucrada en la operación del ducto y el mantenimiento a lo largo de su vida útil (pintura, soldaduras, etc).

¹ Es necesario uno de estos instrumentos, a menos que se tenga flujo por gravedad. En el caso de los gases el flujo por gravedad es demasiado lento.

² Estos costos pueden ser de varios tipos, desde energía eléctrica hasta el costo del gas natural en el caso de bombas o compresores impulsados por turbinas de vapor a alta temperatura y presión.

Por otro lado, a estos "costos fijos" (CF) y "costos de operación (o costos variables)" (CV) habría que añadir otros costos que no tienen nada que ver con el ducto en sí, ni con su operación. Estos costos los llamaremos "costos extraordinarios" (CE). En esta categoría entrarían, por ejemplo, todos los pagos a autoridades (sean estos pagos legales o no) que deben hacerse para instalar y operar el ducto. Los costos totales (CT) serán entonces:

$$CT = CF + CO + CE \quad (1)$$

Por simplicidad, supondremos por el momento que no hay transformaciones ni físicas ni químicas a lo largo del ducto y que no hay fugas ni acumulación en el ducto³: lo que entra por el punto A sale por el punto B⁴.

Para que exista flujo dentro del ducto es necesario inducir una presión mayor (o menor) en uno de los extremos del ducto. Sin un ΔP entre los puntos A y B no existirá flujo (donde P denota presión). Adicional a esto, para que haya flujo en un ducto no horizontal, es necesario vencer a la gravedad para llevar al fluido a un punto más alto. Por ejemplo, el agua que debe traerse al DF desde puntos vecinos a menor altitud es un agua relativamente cara de traer, pues hay que gastar mucha energía de bombeo para traerla a un punto a varios cientos de metros de altura por encima de donde están las fuentes.

Todo fluido tiene una resistencia intrínseca al flujo, propiedad llamada viscosidad. Hay que vencer esta resistencia al flujo para poder transportar fluidos de un punto a otro. Es por esto que son necesarias las bombas o compresores. Estos y otros aspectos de importancia quedan resumidos en la ecuación de Bernoulli, que no es más que una ecuación de conservación de energía:

³ Es decir, se supone que el ducto ya opera a régimen permanente (steady state). El arranque de ductos puede ser algo complejo, pues no se está operando a régimen permanente hasta que se llene todo el tubo y se desplace el aire. Este arranque es todavía más complejo en tubos donde hay transformaciones fisicoquímicas (es decir, en reactores químicos, torres de destilación, etc).

⁴ Esto es un simple balance de masa. Este supuesto puede relajarse para permitir fugas a lo largo del ducto e inclusive transformaciones fisicoquímicas a la substancia que fluye por el ducto. A fin de cuentas, una refinería puede visualizarse como un tubo retorcido, al cual se conectan torres de destilación (que a fin de cuentas son tubos), algunos reactores, calentadores y enfriadores. Lo mismo aplicaría a ciertas petroquímicas. Sin embargo, a mayor número de procesos fisicoquímicos en la planta petroquímica en cuestión, la validez del argumento principal de esta tesis disminuye. No es el objetivo de esta tesis analizar TODOS los procesos, sino aquellos que asemejan lo más posible a fluidos en un ducto.

Ecuación de Bernoulli:

$$\Delta \frac{u^2}{2gc} + \Delta z \frac{g}{gc} + \int_{P1}^{P2} \frac{dP}{\rho} + \frac{\Sigma F}{M} = 0 \quad (2)$$

Donde

u = velocidad del fluido

z = altura

P = presión

ρ = densidad ⁵

$\Sigma F/M$ = pérdidas por fricción por unidad de masa

gc = factor de conversión de sistemas absolutos a sistemas gravitacionales (= 9.81 N/kgf)

g = aceleración de la gravedad (= 9.81 m/s²)

El primer término en la ecuación de Bernoulli es el referente a cambios en la energía cinética del fluido. Este término es despreciable para fluidos no compresibles (como los líquidos), pues si el tubo tiene el mismo diámetro en todos los puntos, la velocidad del fluido a la entrada del tubo debe ser igual a la de salida. Este punto quedará más claro al plantear el balance de masa :

$$A_A u_A \rho_A = A_B u_B \rho_B \quad (3)$$

“A” denota el área transversal del tubo, u la velocidad de flujo y ρ la densidad del líquido. Dado que los líquidos no son compresibles (es decir, que por más que uno incremente la presión el cambio en su densidad es mínimo, al contrario de los gases), $\rho_A = \rho_B$. Esto a su vez implica que $u_A = u_B$, pues $A_A = A_B$ (si suponemos que el tubo tiene el mismo diámetro en el punto A que en el punto B).

En el caso de los gases no es cierto que la densidad del gas sea la misma cuando la presión cambia. De hecho, en un compresor hay que tener cuidado, pues al comprimir un gas adiabáticamente (sin intercambio de calor con el exterior) su temperatura sube, al igual que su densidad. Si se comprime el gas demasiado, su temperatura podría ser tal que inclusive derrita al compresor o a la tubería. Para evitar esto, se debe sacar el gas del compresor en distintas etapas para enfriarlo. Es decir, si el cambio en la presión es demasiado alta se incurrirá no sólo en costos adicionales de bombeo, sino también en costos de enfriamiento adicionales.

⁵ Para el caso de los gases, la densidad es función de la presión y de la temperatura.

El segundo término de la ecuación de Bernoulli es el referente a cambios de altura. Aquí se toman en cuenta los cambios en energía potencial que tiene el fluido entre los puntos A y B. Es este término el que explica el flujo de fluidos debido a la gravedad, por ejemplo.

El tercer término es el referente a la caída de presión a lo largo del ducto. Dado que los líquidos son no compresibles, el término se puede simplificar para líquidos, pues ρ es prácticamente constante para cualquier presión. Este término quedaría simplificado de la siguiente manera para fluidos no-compresibles:

$$(P_B - P_A) / \rho \quad (4)$$

El cuarto término es el referente a las pérdidas por fricción debidas a la viscosidad del líquido y al contacto del líquido con el tubo y demás accesorios (válvulas, codos, medidores, etc.).

El término que nos interesa para tener una primera aproximación a los costos de operación es el referente a la energía que debe suministrarse al sistema para que opere. Este término depende para líquidos no compresibles de la diferencia en alturas entre el inicio y el final del ducto y de las pérdidas por fricción. Es decir, hay que meter energía para hacer que el fluido venza tanto la gravedad como las fuerzas internas (fricción) que impiden su flujo.

Para entender con mayor detalle el término $\Sigma F/M$, que es el determinante de los costos de operación⁶, se abordará el problema del flujo en dos partes, una para los fluidos no compresibles y una para los fluidos compresibles (es decir, los gases).

1.2

Nociones de flujo de fluidos

Fluidos no-compresibles (en su mayoría líquidos):

Este tipo de fluidos tiene la peculiaridad de que su densidad es prácticamente constante para cualquier presión (menor a su presión crítica, claro está⁷). Estos fluidos son

⁶ Es fácil demostrar que para industrias intensivas en capital (ductos, por ejemplo) los costos de operación están dominados por los costos de bombeo más que por los salarios de los que dan mantenimiento al ducto.

⁷ Para el lector con pocos antecedentes de termodinámica se recomiendan los libros de Castellan y de Atkins, citados en la bibliografía de este trabajo, para entender a mayor profundidad lo que es la presión crítica.

por lo general mucho más densos que los gases y, también, más viscosos. Empezaremos por definir conceptos que son cruciales para comprender el flujo de fluidos:

Número de Reynolds:

En un número adimensional⁸ que se utiliza para saber si un fluido se encuentra a flujo laminar o a flujo turbulento.

$$Re = Dup/\mu \quad (5)$$

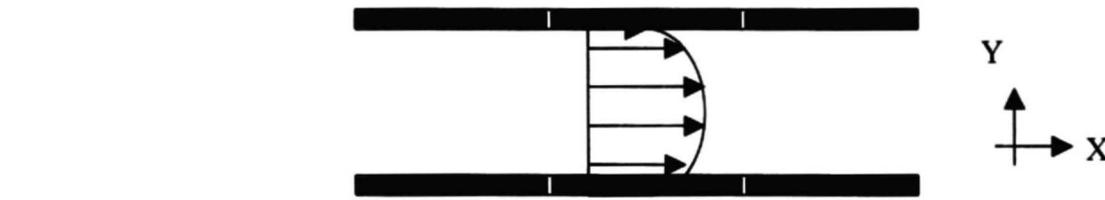
D=diámetro interno del ducto
u=velocidad de flujo
 ρ =densidad
 μ =viscosidad

Cuando $Re < 2100$ se considera que el flujo es laminar. Para valores mayores a 2100 el flujo es turbulento (o transicional) y no-linealidades comienzan a hacerse importantes⁹.

Flujo laminar:

Se tiene flujo laminar cuando se puede afirmar que el fluido fluye por capas, una encima de otra, y con fricción entre las capas. Para flujo laminar es posible establecer la magnitud de la fricción entre las capas en función de la velocidad del fluido. La capa más cercana al tubo tiene, de hecho, velocidad cero, mientras que las capas que están en el centro del tubo tienen la máxima velocidad. El flujo laminar queda mejor explicado mediante el siguiente diagrama que muestra el típico patrón de velocidades de flujo a régimen laminar en una tubería cilíndrica.

DIAGRAMA 1: Perfil de velocidades de un fluido en una tubería cilíndrica



⁸ Al decir "adimensional" quiero decir que el número no tiene unidades (como metros, segundos o cualquier otra unidad de medida). El número de Reynolds no tiene unidades.

⁹ Me refiero a no-linealidades con respecto al modelo propuesto por Newton. Este y otros puntos serán examinados posteriormente con algún detalle, especialmente para el caso de los gases.

De aquí en adelante se entenderá por “D” al diámetro interno del tubo, a “R” como el radio interno del tubo y a “r” como cualquier distancia del centro del tubo al borde del tubo.

Flujo turbulento:

Se tiene flujo turbulento cuando no hay flujo por capas y más bien se tiene un flujo caótico. El patrón de velocidades en el tubo se aplana. Podría representarse como el diagrama para flujo laminar con el arco de velocidades mucho más “achatao”: el flujo cerca del metal del ducto ya no es cero y se aproxima más a la velocidad máxima de flujo conforme más turbulento sea el flujo.

1.3

Determinación de la velocidad de flujo y de la energía necesaria para el transporte

La velocidad de flujo como función de la posición radial en el tubo se obtiene a partir de la naturaleza del fluido y del número de Reynolds (que es el que indica qué tan turbulento es el flujo en el tubo). Debe encontrarse una relación entre el esfuerzo cortante y las propiedades del flujo y de la sustancia a ser transportada. A mayor esfuerzo cortante, mayor deberá ser la energía necesaria para hacer fluir la cantidad de sustancia deseada de un punto a otro. Para fluidos Newtonianos se utiliza la ley de Newton:

Esfuerzo cortante para fluidos Newtonianos:

$$\tau_{yx} = -\mu \, du/dy \quad (6)$$

μ = viscosidad ([=] g/cm s = poise)

u = velocidad de flujo ([=] cm/s)

y = distancia perpendicular al flujo([=] cm)

τ_{yx} = esfuerzo cortante ([=] dinas/cm)

Para otro tipo de fluidos no newtonianos se usan expresiones más complejas, como la de los fluidos Bingham, que tienen un punto de cedencia, antes del cual sencillamente no fluyen. Es decir, hay que aplicar una fuerza mínima a la sustancia para que ésta empiece a fluir (la salsa catsup es un ejemplo típico de este tipo de fluidos):

$$\tau_{yx} = -\mu \, du/dy + \tau_c$$

Donde τ_c = esfuerzo de cedencia, que depende de la sustancia.

Hay muchos otros tipos de fluidos, como los pseudoplásticos o los fluidos dilatantes. Sin embargo, el estudio a detalle de estos fluidos está lejos del propósito de esta tesis, sin que esto reste importancia a los estudios reológicos.

El flujo en el tubo se obtiene integrando la ecuación de Newton (por simplicidad) para toda el área transversal con la ecuación de Bernoulli suponiendo que no hay cambios en la altura del líquido¹⁰.

El primer paso consiste en resolver la ecuación de flujo (para fluidos newtonianos) con las condiciones de frontera siguientes:

- 1) $V_x = 0$ cuando $r = R$ (cuando estamos justo en el borde del tubo)
- 2) $V_x = 0$ cuando $r = -R$ (cuando estamos en el borde del tubo, pero del lado opuesto).

El siguiente paso es resolver la ecuación de flujo (que es una ecuación diferencial) tomando en cuenta el largo total de la tubería. Al hacer esta operación se obtienen las siguientes ecuaciones:

Patrón de velocidades de flujo en una tubería cilíndrica:

$$v_x = R^2(1-(r/R)^2) (P_B - P_A)/4\mu L \quad (7)$$

R es el radio interno de la tubería
P denota presión en el punto A y B
L denota el largo de la tubería
 μ representa la viscosidad del fluido

Esta ecuación nos muestra ya cuál será la velocidad de flujo máxima y la mínima en el ducto. La mínima se obtiene cuando $r=R$, haciendo que la velocidad de flujo sea cero en el borde interno del ducto. El máximo flujo se obtiene cuando $r=0$, es decir, en el centro del ducto. Ahí, la velocidad está dada por:

¹⁰ Para mayor profundización en el tema de flujo de fluidos se recomienda ampliamente el libro de Bird, citado en la bibliografía de esta trabajo.

Velocidad máxima de flujo (se da en el centro de la tubería, cuando $r=0$):

$$v_{x \max} = R^2 (P_B - P_A)/4\mu L \quad (8)$$

La velocidad promedio se obtiene integrando sobre r :

Velocidad promedio de flujo en la tubería:

$$v_{x \text{ prom}} = R^2 (P_B - P_A)/8\mu L \quad (9)$$

es decir¹¹, $v_{x \text{ prom}} = v_{x \max}/2$, para el caso de fluidos newtonianos en flujo laminar.

La ecuación que nos da el flujo promedio en el ducto es la que será utilizada para hacer el análisis de costos.

Varios aspectos iniciales se pueden deducir de la ecuación anterior:

1. Con flujo laminar, la velocidad promedio de flujo en un ducto será mayor a mayor diferencia de presión exista entre sus extremos.
2. La velocidad de flujo es proporcional al cuadrado del radio del ducto, lo cual es consistente con un balance de masa: el flujo volumétrico¹² es sencillamente la velocidad de flujo por el área transversal del tubo, que es proporcional al cuadrado del diámetro (o al cuadrado del radio).
3. A mayor distancia entre los puntos A y B, menor flujo (dada la misma caída de presión y diámetro en el ducto). Esto quedará más claro cuando se escriba la ecuación del flujo másico:

Flujo Másico

$$G = A * \rho * v_{x \text{ prom}} \quad (10)$$

La caída de presión a lo largo del tubo en flujo laminar está dada por la ecuación de Hagen-Poiseuille, que se obtiene de la ecuación de Bernoulli, suponiendo que no hay cambios de altura:

Ecuación de Hagen-Poiseuille

$$\Delta P = (P_B - P_A) = 32\mu L/D^2 \text{ gc} \quad (11)$$

¹¹ Estas ecuaciones son válidas para fluidos newtonianos. Para fluidos no-newtonianos estas expresiones son bastante más complejas.

¹² Dado que la densidad es constante para los líquidos, hablar de flujo volumétrico es equivalente a hablar de flujo másico. Para gases esta última aseveración es falsa.

Donde L es el largo del tubo, ΔP es la pérdida de presión debida a la fricción entre las capas del fluido y u la velocidad (promedio) de flujo.

Por lo tanto, para densidad constante, la ecuación de Bernoulli para fluidos no compresibles sin cambios de altura¹³ se convierte en:

Pérdidas por fricción en función de la caída de presión:

$$\Sigma F/M = \Delta P / \rho \quad [=]^{14} \text{ kgf m/kg} \quad (12)$$

Es decir, en una tubería horizontal el ΔP es proporcional a las pérdidas de energía vía fricción entre el líquido consigo mismo y con las paredes del ducto¹⁵. Es con este ΔP que se tiene una idea del tamaño y potencia de la bomba a utilizar, pues los ingenieros escogen la bomba fijándose en la presión que debe haber en el punto A con respecto a la presión en el punto B.

La ecuación de Poiseuille también se puede escribir de la siguiente manera:

Pérdidas por fricción en función de la velocidad de flujo:

$$\Sigma F/M = f_D (L/D) u^2/2 \text{ gc} \quad (13)$$

Donde f_D es el factor de fricción de Darcy:

$$f_D = 64/Re \quad (14)$$

Estas últimas ecuaciones ponen aún más en manifiesto el tipo de costo de bombeo que se tendrá. Desarrollando lo que representa el número de Reynolds obtenemos lo siguiente:

Ecuación que relaciona las pérdidas por fricción con el diámetro de la tubería y la velocidad de flujo para una tubería horizontal (válida para fluidos newtonianos en flujo laminar):

$$\Sigma F/M = 32 \mu L u / (D^2 \rho \text{ gc}) \quad (15)$$

¹³ El monto de energía a utilizar es justamente uno de los objetivos del problema de diseño del ducto. Primero se estiman las pérdidas probables por fricción, se añaden las diferencias en altura y con ese dato se tiene la "cabeza" necesaria para la bomba (la "cabeza" es una medida en unidades de distancia que representa hasta cuántos metros puede subir una bomba cierta cantidad de líquido). Las pérdidas por fricción se miden entonces en unidades de distancia "equivalente".

¹⁴ El símbolo [=] denota las unidades de medición que se pueden utilizar. kgf = kilogramos fuerza, m = metros, kg = kilogramos.

¹⁵ En realidad la energía no se pierde, sino que se convierte en energía térmica, calentando al fluido. En general, para líquidos este aumento en la temperatura es insignificante. Para gases puede ser muy importante.

Esta ecuación es crucial, pues nos muestra cómo las pérdidas de fricción por unidad de masa son inversamente proporcionales al cuadrado del diámetro interno de la tubería y directamente proporcionales a la velocidad de flujo. Es posible considerar como parámetros a μ , L , ρ y g_c . μ es constante porque para líquidos la viscosidad es más que nada función de la temperatura¹⁶. L es el largo de la tubería, que se considera constante a la hora de diseñar un ducto¹⁷. La densidad no cambia por cambios de presión para fluidos no compresibles (a menos que cambie significativamente su temperatura) y g_c es una constante de conversión de unidades.

Cuando existe un cambio de altura entre los puntos A y B, a la ecuación anterior basta añadirle el término $\Delta z g/g_c$ para obtener la potencia necesaria de la bomba (a las pérdidas por fricción hay que añadir mayor potencia a la bomba para lograr el flujo entre puntos a distinta altura).

¹⁶ la cual cambia mínimamente debido a la fricción o al bombeo, contrariamente a los gases.

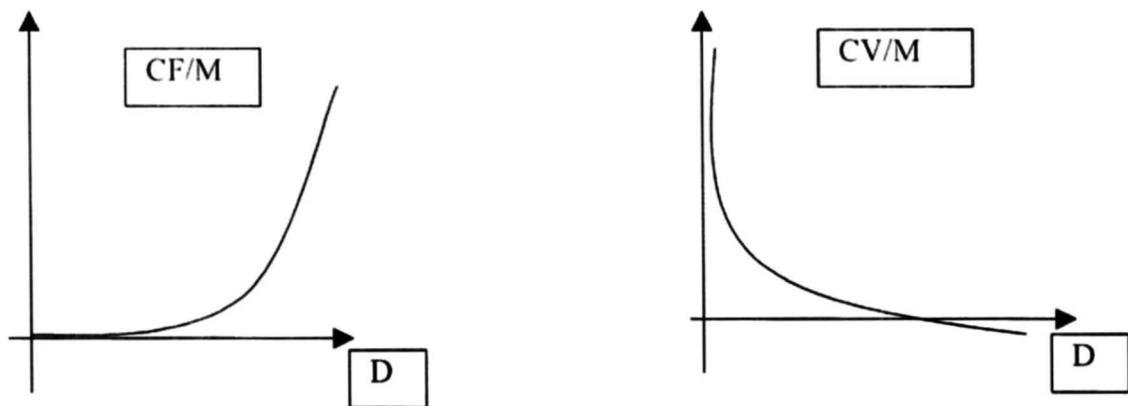
¹⁷ Es decir, si se requiere construir un oleoducto de Chiapas a Nuevo León, se toma L como un dato dado.

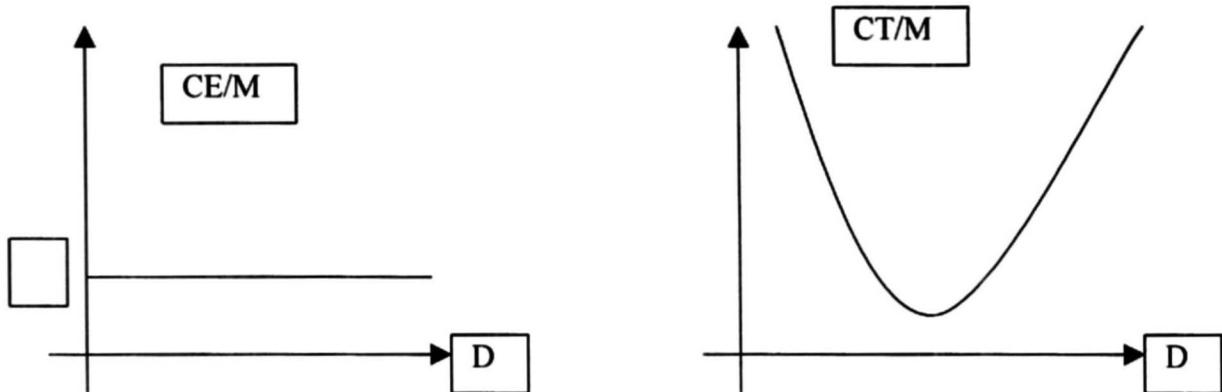
1.4

Determinación del diámetro óptimo para un problema de diseño de ductos

En la última ecuación planteada, quedan dos grados de libertad para encontrar el diámetro óptimo del tubo. Si el tubo tiene un diámetro demasiado pequeño se perderá mucho dinero vía una gran fricción en el tubo (el bombeo será demasiado caro). La velocidad de flujo también será más alta en un tubo de menor diámetro si es que se quiere transportar la misma cantidad de masa. Hay más pérdidas por fricción en un tubo por el que fluye un fluido a rápida velocidad que a baja velocidad.

Por el otro lado, para una masa a transportar dada, si el tubo tiene un diámetro demasiado grande, los costos fijos se dispararán, pues el total a pagar por concepto del metal del tubo es proporcional al diámetro del tubo. Pero los costos de bombeo disminuirán. Queda entonces claro que unas gráficas de costos (fijos, variables, extraordinarios y totales) como función del diámetro del tubo tendrían las siguientes formas (para una cantidad M de masa a transportar dada):





En las gráficas anteriores se muestran los costos como función del diámetro del ducto. La gráfica en forma de U de la curva de costos totales muestra claramente un punto óptimo, que es aquel en el que los costos por unidad de masa transportada son mínimos¹⁸.

Sin embargo, vamos a abordar este problema de costos, pero como función del total de masa a transportar, y no sólo como función del diámetro óptimo del tubo para el transporte de una cantidad dada de fluido. Esto con el fin de estudiar si hay rendimientos crecientes a escala o no.

1.5

Demostración de que la industria de ductos tiene características de monopolio natural

Para esta subsección vale la pena aclarar que la curva en forma de U descrita anteriormente es válida para un flujo másico dado. Una vez que se estima el flujo másico deseado¹⁹, se procede a calcular el diámetro óptimo del tubo para ese problema en particular.

Sin embargo, la pregunta relevante es: supongamos que se optimiza el diámetro para transportar un flujo x de líquido. ¿Es el diámetro óptimo para un flujo $x+dx$ (con dx positivo) mayor o menor que el diámetro óptimo para un flujo x ? Si es mayor, ¿qué tan mayor debe ser? Esta pregunta tiene implicaciones importantísimas para el análisis de

¹⁸ Sin embargo, después de esta optimización hay que checar si la velocidad de flujo no es ridículamente alta o baja. Hay ciertos criterios heurísticos sobre la velocidad de flujo que hay que considerar también.

¹⁹ Que se estima a partir de estudios de mercadotecnia para estimar la demanda posible del producto a vender. Aquí se da cabida también a estudios prospectivos para estimar demandas futuras posibles, pues al ser tan intensivos en capital este tipo de proyectos, los periodos de amortización tienden a durar una o más décadas.

organización industrial que se tocará posteriormente en los siguientes capítulos, pues una industria con costos decrecientes en escala tiene muchas peculiaridades a la hora de encontrar un óptimo social²⁰ y a la hora de regular la competencia.

Una de las maneras de demostrar que el diámetro óptimo crece si se desea transportar más masa es demostrar que es mejor transportar toda la masa a transportar por un solo tubo en vez de por dos o más de menor diámetro.

Otra manera de demostrarlo es encontrar una función que relacione el diámetro con el flujo (de manera empírica, por ejemplo, mediante mediciones de propiedades en laboratorio) y entonces encontrar si se cumple o no la hipótesis propuesta al inicio de esta subsección. Ambas demostraciones se exponen en secciones posteriores de este trabajo.

1.6

Demostración de que los costos disminuyen al instalar un solo ducto en vez de varios

Se demostrará que es mejor tener un solo ducto que conecta a dos puntos que dos o más ductos que conectan a los mismos puntos. Supongamos primero que se regula de tal manera que se da una licitación a dos compañías con el propósito de que cada una de ellas construya un ducto propio que transporte la mitad de la demanda de transporte total que hay entre el punto A y el punto B. Esto con el propósito de estimular la competencia entre ellas y así lograr menores precios al público debido a la competencia. Este argumento podrá sonar lógico para algunos, pero la verdad es que al instalar dos ductos se incurre en un costo fijo agregado que es mayor al que se tendría si se construyera un ducto que transportase todo el líquido que se demanda, y entonces no es del todo claro si es socialmente deseable o no el permitir competencia mediante inversiones en nuevas instalaciones.

²⁰ Por ello el estudio de los futuros posibles es importante, si no es que imprescindible, para las industrias de los ductos, pues se tendrán costos hundidos importantes por varios años.

1.6.1

Una tubería vs varias tuberías: análisis de los costos fijos

Supongamos que se requiere bombear x litros por segundo de agua de un punto A a un punto B. Una opción es llevar ese líquido mediante un sólo tubo y la otra es llevarla por n tubos de menor diámetro y del mismo largo. Queda claro, por el diagrama de lo que es un flujo laminar, que a mayor contacto del líquido con la pared del tubo, la velocidad promedio de flujo es menor. Al haber n tubitos, el área total de fierro de los tubos en contacto con el fluido es mucho mayor que la que hay en un tubo de diámetro mayor. Esto se puede ver matemáticamente de la siguiente forma:

Area interna de un tubo de largo L y con diámetro interno D :

$$A_i = \pi DL \quad (16)$$

Flujo volumétrico (G) a través de un tubo de diámetro interno D :

$$G = A u \quad (17)$$

Donde Area transversal del tubo = $A = \pi D^2 / 4$ y u = velocidad de flujo

Dado que el flujo de masa M esta dado por $M=Au\rho$, si queremos repartir el flujo entre n tubos, con la misma velocidad de flujo, cada tubo de los n debe tener un diámetro de \sqrt{n} veces el diámetro del tubo grande.

Querer la misma velocidad de flujo en todos los tubos equivale a decir que queremos repartir el flujo másico en partes iguales entre los n tubitos²¹. Además supongamos, por simplicidad, que la velocidad de flujo en los n tubitos es igual a la del tubo grande (esto no cambiará la conclusión de manera importante si se relaja el supuesto). Adicionalmente, digamos que el espesor del tubo es igual para los n tubitos que para el tubo

²¹ Aquí me refiero a los fluidos no compresibles (líquidos). Para gases el problema es un poco mas complejo, sin que esto invalide los resultados obtenidos para fluidos no-compresibles.

grande²². El volumen total de hierro (o material cualquiera) que debe emplearse en cada tubería es²³:

$$V = \pi \delta L (D_i + D_e)/2 \quad (18)$$

Donde²⁴

δ = espesor del tubo
 D_i = diámetro interno del tubo
 D_e = diámetro externo del tubo
 L = largo del tubo

Entonces ¿cuál es el volumen de hierro de una tubería con $1/n$ del área transversal de otra tubería, ambas con el mismo espesor? Para fines prácticos, se supondrá que la variable “n” (el número de tubos) es una variable real, no solo natural (puede tomar valores que no sean solamente los enteros). Se tomará a “n” como una variable continua en vez de discreta.

Dado que el área transversal es directamente proporcional al cuadrado del diámetro, lo que podemos decir es que el diámetro de los n tubos delgados es $1/\sqrt{n}$ del diámetro del tubo grande. Esto implica que el volumen de hierro de los n tubos delgados juntos suma \sqrt{n} veces el volumen del tubo grande, pues:

Volumen de hierro del tubo grande (V_g):

$$V_g = \pi \delta L (D_{ig} + D_{eg})/2 \quad (19)$$

Podemos aproximar D_{eg} como función del espesor del tubo y de D_{ig} , pues $D_{eg} = D_{ig} + 2 \delta$. Entonces:

$$V_g = \pi (D_{ig} + \delta) \delta L \quad (20)$$

De la misma forma, el volumen del tubo delgado (V_d) se calcula fácilmente, pues se sabe²⁵ que $D_{id} = D_{ig}/\sqrt{n}$:

²² Se verá posteriormente que esto no es descabellado y que incluso se queda corto, pues al ser la velocidad de flujo menor en los tubos chicos, habrá de tener una mayor presión al inicio del ducto para lograr un flujo másico equivalente. Al estar sometido un tubo a mayor presión que otro es claro que su espesor deberá también aumentar para evitar rupturas.

²³ Esta fórmula se obtiene partiendo de la fórmula para el área de un trapecio multiplicada por el largo del tubo.

²⁴ Este volumen se calcula con la fórmula para calcular el área de un trapecio multiplicada por el largo del tubo.

$$V_d = \pi \delta L (D_{id} + \delta) / \sqrt{n} \quad (21)$$

Al ser necesarios n de estos tubos que transportan $1/n$ de la masa cada uno se obtiene el siguiente volumen de fierro para los n tubos delgados:

$$n V_d = n \pi \delta L (D_{id} + \delta) / \sqrt{n} = \sqrt{n} V_g \quad (22)$$

Dado que los casos que nos interesan son aquellos en los que $n > 1$, entonces queda demostrado que, si es que suponemos velocidades de flujo iguales tanto para el tubo grande como para los ductos delgados, la cantidad de fierro a utilizar se eleva considerablemente conforme el número de tubos totales aumenta.

Conclusión del análisis de los costos fijos:

El análisis arriba desarrollado implica que utilizar más de un tubo para transportar la misma cantidad de masa es socialmente ineficiente, pues se estará utilizando más fierro del que realmente se necesita, elevándose así los costos fijos. Esto implica mayores costos mínimos por unidad de masa transportada para la industria en su conjunto y esto a su vez mayores precios de perfecta competencia para los consumidores finales. Esto es de suma importancia si se desea introducir competencia directa en ese tipo de industrias. Vale la pena aclarar que para los casos en los que los costos fijos no representen demasiado del costo total, podría encontrarse que el óptimo podría involucrar varias tuberías, debido a las características del proceso productivo (sustancias que no es posible mandar por el mismo tubo debido a problemas de contaminación, por ejemplo) o a economías de alcance.

Por otro lado, vale la pena aclarar que en el análisis antes propuesto no se incluyen los costos indirectos de reparación del ducto. Por ejemplo: para el sistema de abastecimiento de agua de la Ciudad de México, si solo existiese un ducto y hubiese que repararlo por varios días, el costo asociado al desabasto de agua en la ciudad no se ha tomado en cuenta. Por ello, además del análisis antes propuesto, hay que tomar en cuenta otros factores de redundancia de redes, para así asegurar que el suministro nunca pueda

²⁵ Esta relación entre D_{id} y D_{ig} sale de un balance de masa entre los extremos del ducto, tal y como se hizo en páginas anteriores.

parar²⁶. Este último punto no invalida el análisis antes propuesto, pues simplemente se demostró que es mejor unir a un punto A con un punto B con una sola tubería que con varias mas pequeñas. Si es necesaria la redundancia de redes, entonces existirían varias rutas en vez de una sola para unir los puntos A y B. Para todas las sub-rutas redundantes aplicaría el mismo análisis antes realizado (en cada ruta siempre será mejor tener un solo ducto en vez de varios), por lo que podríamos concluir que siempre será mejor tener una sola red redundante de costo mínimo²⁷ que varias redes redundantes encimadas. Otra conclusión importante es que la red redundante tendrá costos unitarios mayores que un sólo tubo, pues se tendrá que repartir el flujo entre varias tuberías.

1.6.2

Una tubería vs varias tuberías: análisis de los costos variables

Analizaremos ahora el supuesto hecho de que la velocidad de flujo sea igual para las tuberías en cuestión. Digamos que lo que se desea es que el ΔP entre los extremos de los tubos sea el mismo tanto para el tubo grande como para los tubos delgados, para así intentar igualar los costos de bombeo por unidad de masa transportada.

Como se vio anteriormente, ante un ΔP igual, un L igual y una μ igual, la velocidad de flujo es directamente proporcional al cuadrado del radio (o diámetro) del tubo. Esto implica que si sometemos al tubo grande a un ΔP tendremos mucho más flujo que si se sometiera a todos los n tubos delgados juntos al mismo ΔP . En otras palabras, con el mismo ΔP jamás se obtendrá el mismo flujo másico en los n tubos que en el tubo grande, pues la velocidad de flujo en los n tubos será menor que en el tubo grande.

Esto sugiere que para tener el mismo flujo másico en los n tubos hay que tener un ΔP más grande que en el caso de un solo tubo. Al ser este el caso, no sólo se incurrirá en mayores costos fijos por exceso de fierro al instalar n ductos en vez de uno solo, sino en mayores costos de operación también, pues un mayor ΔP implica un mayor gasto de energía de bombeo por unidad de masa transportada. En otras palabras: se incurrirá en un costo de bombeo mayor si se quiere bombear un flujo M a través de n tubitos que por un solo tubo de diámetro mayor.

²⁶ En realidad, lo que se busca con la redundancia es que la probabilidad de interrupción sea menor a un límite, el cual se fija para lograr calidad de servicio y continuidad.

²⁷ Dentro del conjunto de redes redundantes, existe una que minimiza el costo de la red. Si los nodos de la red se conocen, entonces la red redundante de costo mínimo es la que mejor representa el costo scorched-node forward-looking.

Conclusión del análisis de los costos variables:

Los costos variables también se incrementan si se instala más de un solo ducto para transportar masa de un punto A a un punto B, pues deberá erogarse mayor cantidad de dinero por unidad de masa transportada para sufragar los costos de operación y mantenimiento de varios ductos en vez de uno solo. Este hecho acentúa todavía más la pérdida de bienestar social asociada a la instalación de más de un ducto para transportar masa de un lugar a otro.

1.7

Conclusión general del análisis de costos para fluidos newtonianos no-compresibles

En conclusión, podemos decir sin mucho temor a equivocarnos que para fluidos no-compresibles (es decir, muchos líquidos) poner n tubos a transportar la misma masa que un solo tubo de diámetro mayor es socialmente no deseable, pues los costos mínimos por unidad de masa transportada se incrementarían tanto por el lado del costo del fierro utilizado como en el costo de bombeo. Y ni se diga de los salarios de las personas encargadas del mantenimiento, pues al haber n ductos y no sólo uno, estos costos laborales se incrementarían también. El costo agregado de inventarios sería el mismo en el caso de un ducto que en el de n ductos, pues el volumen total de fluido dentro de los tubos en todo momento de tiempo sería el mismo para los dos casos analizados. Es por estas razones que, visto desde el punto de vista de costos, el problema de transportar una masa conocida de fluido de un punto a otro tiene un costo mínimo agregado para toda la industria: el hacerlo con un solo tubo (o con una sola red redundante). Sin embargo, como se analizará posteriormente, esto no justifica en lo más mínimo el dotar de poder de monopolio ilimitado a este tipo de industrias. Para terminar de demostrar el hecho que las industrias de ductos tienen generalmente costos decrecientes a escala, analizaremos el caso de los gases (fluidos compresibles), pues lo que aplica a gases aplica a líquidos, al menos en lo que es de interés en este trabajo.

1.8

Generalización de los resultados para fluidos no compresibles para algunos casos de fluidos compresibles

La obtención de los costos variables para el caso de los gases (fluidos compresibles) es más complicado que para los líquidos (fluidos no compresibles), pues la densidad de los gases es función de la presión. A lo largo de un ducto la presión cae, por lo que la densidad de los gases disminuye conforme fluyen por la tubería. Para que se cumpla el balance de masa (la cantidad de masa que entra al ducto debe ser la misma que la que sale), entonces debe ocurrir que los gases aceleren su velocidad de flujo conforme avanzan en la tubería. Esta aceleración tiene un límite: la velocidad del sonido en el gas que fluye. Por estas razones, para el caso de los gases es práctica común entre los ingenieros químicos el encontrar una relación empírica entre Q (el flujo) y D (el diámetro interno de la tubería), para así demostrar que $\partial Q/\partial D$ es no sólo positiva, sino una función creciente en D . Así, se demostrará inmediatamente que hay costos de operación decrecientes a escala, pues el flujo es proporcional al área transversal del tubo, y ésta última es proporcional al cuadrado del diámetro interno de la tubería.

Los gases son el clásico ejemplo de lo que es un fluido compresible. Las moléculas (o átomos) en un gas están ampliamente separadas entre sí, por lo que al someter al gas a una mayor presión, éste aumenta su densidad, cosa que no sucede con los líquidos. El balance de masa es el mismo:

$$A_A u_A \rho_A = A_B u_B \rho_B$$

Pero con la diferencia de que ahora las densidades no son iguales en ningún punto de la tubería. Dado que al final del ducto la presión es menor, también lo es la densidad del gas. Esto implica que la velocidad del gas en todo punto del ducto es mayor a la velocidad en un punto un poco atrás en el tubo, pues la presión va cayendo poco a poco a lo largo de él. La velocidad al final del ducto debe ser entonces mayor que la velocidad al inicio del mismo. Aunque parezca inverosímil, los gases van acelerando a lo largo de un tubo para que se cumpla la ley de conservación de la materia²⁸.

²⁸ Sin embargo, aquí hay un límite, pues ningún gas puede viajar a una velocidad mayor que la velocidad del sonido, que es para el aire a presión atmosférica aproximadamente 340 m/s (la velocidad del sonido depende también del gas en cuestión). Para este tipo de cuestiones se recomienda consultar el "Chemical Engineers Handbook", de Perry, citado en la bibliografía.

Por otro lado, los gases tienden a viajar casi siempre a flujo turbulento, lo que hace especialmente complicado estimar la energía que será necesaria para transportarlos de un punto a otro. Los ingenieros químicos han encontrado ecuaciones empíricas bastante exactas para gases ampliamente usados en la industria química y en otras. Algunos ejemplos ilustrativos son los siguientes:

Fórmula de Babcock para vapor de agua:

$$\Delta P = \frac{3.63 * 10^{-8} WL(D + 3.6)}{D^6 \rho} \quad (23)$$

ΔP [=] lbf/in²
 D [=] in
 W [=] lb/h (flujo másico por unidad de tiempo)
 L [=] ft
 ρ [=] lb/ft³ (densidad promedio en el ducto)

Babcock propone esta ecuación para calcular el ΔP , dato que se necesita para calcular la potencia del compresor. Por ende, el ΔP nos define ya el costo tanto fijo como de operación debidos al compresor y a su turbina respectiva (o motor eléctrico o de otro tipo).

Fórmula de Panhandle para gas natural:

(Para números de Reynolds entre $5 * 10^6$ a $1.4 * 10^7$. es decir, flujo turbulento²⁹)

$$Q = 36.8ED^{2.6182} \left(\frac{P_A^2 - P_B^2}{L} \right)^{0.5394} \quad (24)$$

Q [=] ft³/h, medidos a 14.7 psia y 60°F.
 $E = 0.92$ (factor de eficiencia)
 D [=] in, entre 6 y 24 in
 P [=] ft*lb/lb

²⁹ Dada la baja viscosidad de los gases, el número de Reynolds para flujo de gases indica casi siempre flujo turbulento.

Estas dos fórmulas son suficientes para corroborar las conclusiones obtenidas para los fluidos no-compresibles en lo referente a costos decrecientes a escala para los costos variables. Quedará más claro si sacamos la derivada parcial de Q en la ecuación de Panhandle con respecto a D, el diámetro³⁰, y suponiendo todo lo demás constante por ahora:

Cambio en el flujo cuando cambia el diámetro de la tubería para gas natural:

$$\partial Q/\partial D = 88.642 D^{1.6182} ((P_A^2 - P_B^2)/L)^{0.5394}$$

La ecuación anterior muestra ya el hecho de que existen costos decrecientes a escala: dado que D es siempre positiva (no tiene sentido físico hablar de diámetros negativos), podemos decir que $\partial Q/\partial D$ es siempre positiva (a menos de que P_B sea mayor que P_A , con lo que se obtendría un flujo en el sentido opuesto y, con ello, un signo negativo). Y no sólo eso, sino que $\partial Q/\partial D$ es cada vez más grande conforme el diámetro aumenta, pues D sigue elevado a una potencia mayor a uno en la expresión de $\partial Q/\partial D$.

Esto nos sugiere, de nuevo, que es mejor transportar la misma masa de gas natural en un solo tubo que en más de uno. Al derivar la fórmula para vapor de agua de Babcock se obtienen de nuevo los mismos resultados: tanto los gasoductos como los ductos de vapor de agua presentan costos variables decrecientes a escala.

El análisis que se hizo para los fluidos no compresibles en el sentido de la caída de presión en uno o en varios tubos aplica también para gases: será más costoso comprimir una masa dada de gas para enviarlo a otro punto mediante varios tubos que mediante uno solo. Esto sucede, de nuevo, por las pérdidas por fricción, al igual que en el caso de los líquidos. A mayor área de contacto entre el fluido a transportar y el tubo (o tubos) que lo contienen, mayores pérdidas por fricción. Esto implica, de nuevo, mayores costos de compresión y por ende mayores costos de operación, además de costos adicionales por enfriamiento.

³⁰ En este cálculo se tomó el valor de $E = 0.92$

1.9

Demstración formal de que las industrias de ductos muestran economías a escala

Para comenzar la demostración formal, comenzaremos con la función de costos totales por unidad de flujo volumétrico:

$$\frac{C_{total}}{V} = \frac{C_{fijo}}{V} + \frac{C_{variable}}{V} \quad (25)$$

De las secciones anteriores se puede obtener el costo fijo, el cual será dividido por el flujo volumétrico. Dichos costos fijos unitarios toman la siguiente forma³¹:

$$\frac{C_{fijo}}{V} = \gamma \frac{\pi(D+\delta)\delta L}{V} \quad (26)$$

Donde γ = costo unitario del material del que está hecho el ducto por unidad de volumen. es decir. pesos por metro cúbico de fierro, por ejemplo.

La ecuación que muestra los costos variables por unidad de flujo volumétrico es un poco más compleja de obtener. Para obtenerla debemos partir de la ecuación que muestra las pérdidas por fricción por unidad de masa obtenida anteriormente:

$$\frac{\Sigma F}{M} = \frac{32\mu Lu}{D^2 \rho g_c} \quad (27)$$

Lo primero a realizar es transformar la ecuación anterior mediante las siguientes relaciones:

1) $M = \rho V$

2) $V = \frac{\pi D^2 u}{4} \Rightarrow u = \frac{4V}{\pi D^2}$

³¹ El lector informado se habrá percatado ya de que δ , el grosor del tubo, se ha tomado como una variable exógena al problema de diseño del ducto. Esto es errado, pues el grosor del tubo dependerá de la presión a la que se deberá operar la tubería para lograr el flujo deseado. Sin embargo, si se incorporase este hecho a las ecuaciones sólo se lograría complicar innecesariamente el problema, y las conclusiones del ejercicio serían las mismas. Por ello, en esta subsección se tomará δ como una variable independiente.

Sustituyendo las relaciones anteriores se obtiene lo siguiente:

$$\frac{\Sigma F}{V} = \frac{128\mu LV}{\pi D^4 g_c} \quad (28)$$

La ecuación anterior muestra las pérdidas por fricción por unidad de flujo volumétrico en función del propio flujo volumétrico y del diámetro de la tubería. Esta ecuación es crucial, pues define los costos que se enfrentarán por concepto de energía necesaria para realizar el transporte de los fluidos. Para obtener los costos variables por unidad de volumen transportada deben introducirse dos nuevos parámetros:

α = Costo unitario de la energía, por ejemplo, pesos por BTU o pesos por kilowatt-hora.

β = Markup sobre los costos unitarios de la energía para incorporar otros costos variables, tales como operación y mantenimiento, así como la porción de costos de capital asociado a las bombas o compresores (depreciación, costos de deuda y de dividendos, así como impuestos)³².

β , por lo tanto, se puede descomponer en sus factores:

$$\beta = (1 + Fv + Fc) \quad (29)$$

Donde Fv = Factor de costos variables, y se puede obtener dividiendo los gastos en operación, mantenimiento y administración entre los gastos en energía;

Fc es el factor de costos de capital. El valor de este factor depende de la vida útil del activo, del apalancamiento observado por la empresa para financiarse (deuda o emisión de acciones), y de la tasa de descuento que se desee utilizar para realizar el ejercicio. Dado que β es un markup sobre los costos de la energía, debe transformarse el factor de costos de capital común entre los gastos en energía, para así hacer compatibles todas las unidades. En Excel, la fórmula típica para el cálculo de este factor es la función PMT (tasa, vida útil, valor presente). Esta función devuelve los pagos nivelizados que deberán erogarse a lo largo de la vida útil del activo para recuperar la depreciación y los costos de financiamiento. El valor devuelto por PMT deberá entonces dividirse entre los gastos en energía para obtener las

³² Este markup debe calcularse para una empresa eficiente, con una red de costo mínimo. El usar el mismo markup para todos los casos no invalida la conclusión.

unidades correctas, pues el factor PMT se aplica sobre la inversión inicial en el activo, y no sobre los gastos en energía.

En todo el ejercicio anterior se supone que el costo unitario de la bomba o compresor por unidad de energía es lineal, es decir, que no existen rendimientos a escala en el costo (inversión) de las bombas. Si este supuesto se relaja para permitir ciertos rendimientos a escala, la demostración que se pretende realizar en esta sección no se invalida (de hecho, se vería reforzada), por lo que suponer rendimientos constantes a escala en el costo de las bombas no es un problema. El suponer costos crecientes a escala para las bombas sería una inconsistencia con la evidencia empírica, pues siempre las empresas buscan poner una bomba en vez de varias más pequeñas. Si existiesen costos crecientes a escala en las bombas siempre se buscaría instalar un número grande de bombas lo más chicas posible, cosa que contrasta con la evidencia encontrada.

En lo subsiguiente, se tomará a β sin descomponerla, por simplicidad.

Utilizando estos parámetros, se obtienen los costos variables unitarios:

$$\frac{C_{variables}}{V} = \alpha\beta \frac{128\mu LV}{\pi D^4 g_c} \quad (30)$$

Ahora, uniendo los costos fijos y los variables se obtiene la ecuación de costos totales por unidad de volumen transportado en función del flujo volumétrico y del diámetro interno del ducto:

COSTO UNITARIO TOTAL EN FUNCION DEL FLUJO Y DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA:

$$\frac{C_{total}}{V}(V, D) = \gamma \frac{\pi(D + \delta)\delta L}{V} + \alpha\beta \frac{128\mu LV}{\pi D^4 g_c} \quad (31)$$

Es precisamente de la ecuación anterior de donde se debe partir para encontrar el diámetro óptimo para un flujo volumétrico V dado. Para obtenerlo debe derivarse la ecuación anterior con respecto al diámetro, igualar la derivada a cero y despejar el diámetro:

$$\frac{\partial \left(\frac{C_{total}}{V} \right)}{\partial D} = 0 = \frac{\gamma \pi \delta L}{V} - \alpha \beta \frac{512 \mu L V}{\pi D^5 g_c} \quad (32)$$

Despejando D se obtiene el diámetro óptimo para un flujo V dado:

DIAMETRO OPTIMO PARA UN FLUJO V DADO:

$$D^*(V) = \sqrt[5]{\frac{512 \alpha \beta \mu V^2}{\gamma \pi^2 \delta g_c}} \quad (33)$$

Para finalizar la demostración de la existencia de rendimientos crecientes a escala, basta sustituir el diámetro óptimo en la ecuación de costos totales. Al hacer esto, se encontrará la curva de costos mínimos de largo plazo, curva de crucial importancia para las decisiones de inversión ex-ante de cualquier empresa:

CURVA DE COSTOS MÍNIMOS DE LARGO PLAZO PARA EL CASO DE FLUIDOS NEWTONIANOS EN FLUJO LAMINAR

$$\frac{C^*_{total}}{V}(V) = \gamma \frac{\pi \left[\sqrt[5]{\frac{512 \alpha \beta \mu V^2}{\gamma \pi^2 \delta g_c}} + \delta \right] \delta L}{V} + \alpha \beta \frac{128 \mu L V}{\pi \left[\frac{512 \alpha \beta \mu V^2}{\gamma \pi^2 \delta g_c} \right]^{4/5} g_c} \quad (34)$$

De la ecuación anterior se demuestra que existen rendimientos crecientes a escala, pues si se deriva el costo unitario por unidad de volumen con respecto al flujo volumétrico se encuentra que el signo de dicha derivada es negativo para todo el rango de $V > 0$, por lo que queda demostrada la existencia de rendimientos crecientes a escala para el caso de fluidos newtonianos en flujo laminar en una tubería cilíndrica. La demostración para flujo turbulento (el cual se observa por lo general para flujo de gases, pero rara vez para flujo de líquidos) dependerá grandemente de la sustancia que se utilice. Sin embargo, dado que se

demostró anteriormente que, al menos para vapor de agua y gas natural, los costos variables se comportan de la misma manera que para flujo laminar, los resultados antes obtenidos son generalizables para flujo turbulento, aunque las fórmulas sean muy específicas para cada sustancia. Para sustancias no newtonianas, el análisis se complica mucho, y dependerá del tipo de sustancia que se desee analizar.

La ecuación anterior muestra que, ex-ante, una empresa tiene la libertad de escoger su capacidad de largo plazo (y por lo tanto su costo mínimo asequible), pero también muestran las ecuaciones anteriores que una vez que la empresa haya realizado la inversión, se verá sujeta a una curva de costos en forma de U cuyo costo mínimo está dado por el mínimo escogido ex-ante.

1.10

Conclusiones del Capítulo 1

Concluiremos este capítulo con la convicción de que en el caso de ductos es mejor, en términos de minimización de costos por unidad de masa transportada y de maximización de la utilidad social de largo plazo, el tener sólo un ducto (o una sola red redundante de mínimo costo) que varios para transportar de un punto a otro una misma cantidad (en masa) de fluidos, sean estos últimos compresibles o no.

La única justificación para permitir la instalación de más de una red redundante sería el romper el poder monopólico de una empresa (al romper el monopolio los precios al consumidor final tienden a caer). Sin embargo, no hay que perder de vista que introducir competencia mediante la instalación de nuevos ductos (o nuevas redes redundantes) traerá consigo una ineficiencia en costos no deseable para la sociedad en el largo plazo, pues se cae en un exceso de fierro instalado y en un exceso de costos de operación. Un balance entre el poder de monopolio y la minimización de costos a largo plazo debe hacerse a la hora de proponer una regulación para este tipo de industrias. Esta regulación, adicionalmente, debe ser consistente intertemporalmente. Estos problemas, y otros, serán abordados en capítulos posteriores.

Capítulo 2

LA NATURALEZA DE LOS COSTOS EN LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES Y LAS ECONOMÍAS DE DENSIDAD

En este capítulo abordaremos la naturaleza de los costos de las redes de telecomunicaciones y se demostrará mediante un modelo de costeo para redes de telefonía fija que existen economías de densidad para este tipo de redes de distribución. Además, se realizará una analogía de las redes de telecomunicaciones con las redes de distribución de fluidos (ductos de agua potable, drenajes, gasoductos, etc), y se demostrará así que estas redes también muestran economías de densidad. Una vez demostrado este hecho, se discutirán los problemas regulatorios que generan estas economías de densidad.

2.1

Demostración de que en el transporte y en la conmutación existen rendimientos a escala

En esta subsección se demostrará brevemente que en el transporte y la conmutación para transmitir voz o datos de un punto a otro existen también economías a escala, tal y como se hizo anteriormente para el caso de ductos.

Para comenzar esta demostración, basta describir en qué consisten las tecnologías de transmisión y de conmutación³³.

- 1) Conmutación: Los equipos de conmutación son máquinas inteligentes cuya función es la de enrutar tráfico de un punto a otro de acuerdo al número telefónico de destino que se haya marcado. Los equipos de conmutación leen el número de destino y, mediante una consulta de bases de datos, saben a qué otro conmutador (o central telefónica) hay que mandar la información para lograr la comunicación del usuario de origen con el usuario de destino de la llamada.

³³ En lo general, los modelos de telecomunicaciones realizan la desagregación de la red en tres grandes categorías: conmutación, transmisión y red de abonado (o "local loop" en inglés).

- 2) **Transmisión:** Los equipos de transmisión consisten a grandes rasgos en dos equipos: multiplexores y líneas de transmisión. Los multiplexores son equipos cuya función es la de concentrar tráfico mediante un protocolo de transmisión que va a mayor velocidad que el protocolo de transmisión fuente. Las líneas de transmisión consisten en fibra óptica (y en algunos casos, para tráfico relativamente chico, enlaces de microondas) por donde se transmiten las señales multiplexadas.

Para demostrar la existencia de economías a escala para los equipos de conmutación, habría que realizar un estudio de los precios a los que son ofrecidos equipos de distinta capacidad por los distintos fabricantes de dichos equipos. Para realizar esta demostración, sencillamente mostraré a continuación la función de costos que toma el modelo de costeo promovido por AT&T y MCI³⁴ para la sección de conmutación. Para realizar dichos modelos de costeo se hacen regresiones de varios tipos con los datos proporcionados por los fabricantes de equipos. Este modelo, mejor conocido como modelo "Hatfield", ha sido revisado por la Federal Communications Commission (FCC) de Estados Unidos, y partes de dicho modelo han sido utilizados por la FCC para la construcción del modelo HCPM (Hybrid Cost Proxy Model)³⁵, que es ampliamente utilizado en EE.UU. para la evaluación de costos. La función utilizada en el modelo Hatfield es la siguiente:

$$\text{Costo por línea} = A \ln X + B \quad (1)$$

donde X = número de líneas conectadas a la central.

La expresión es logarítmica en el número de líneas, lo que inmediatamente sugiere la existencia de rendimientos a escala para dichos equipos.

La función escogida por la FCC para el HCPM es del tipo:

$$\text{Costo del conmutador} = A + B L \quad (2)$$

Donde L = número de líneas.

³⁴ Este es el modelo desarrollado por "HAI consulting", comúnmente llamada modelo Hatfield. Para encontrar un nivel mayor de desagregación, se recomienda "Hatfield Model: Automation Description and User Guide", de HAI Consulting, Inc.

³⁵ El modelo HCPM y sus componentes puede encontrarse en la página de la Federal Communications Commission (FCC).

Dado que existe un parámetro “A” independiente del número de líneas en la expresión anterior, al dividir el costo total del conmutador entre el número de líneas se obtiene una ecuación del tipo:

$$C/L = A/L + B \quad (3)$$

expresión que muestra de nuevo rendimientos a escala en el número de líneas conectadas al conmutador.

Vale la pena aclarar que el modelo HCPM ha sido analizado y criticado por múltiples empresas con intereses encontrados y que dicho modelo es aceptado en lo general por todos los actores, por lo que la curva de costos para conmutadores de dicho modelo puede considerarse como un buen reflejo de la realidad.

La demostración de economías a escala para los equipos de transmisión es la siguiente:

Diagrama típico de los equipos de transmisión:



Donde  denota a un equipo de multiplexión/demultiplexión y  denota la línea de transmisión (generalmente de fibra óptica o microondas).

El costo total se puede expresar de la siguiente manera para tomar en cuenta la distancia entre los equipos de multiplexión terminales:

$$C_{total} = A + B * km \quad (4)$$

donde A = costo de los equipos de multiplexión/demultiplexión y B = costo por kilómetro de los medios de transmisión (ya sean estos fibra óptica o microondas, incluyendo los equipos de regeneración de señales, costos de instalación e ingeniería y otros costos).

Valores típicos para A rondan entre los US\$5,000 y US\$100,000, dependiendo del nivel de multiplexión que se desee, mientras que valores típicos de B rondan entre los

US\$10,000 y US\$20,000³⁶ por kilómetro instalado de medios de transmisión. Se podrá notar desde ahora que para distancias mayores a 50km, que son distancias relativamente cortas para redes de telecomunicaciones, los costos de la fibra óptica o microondas dominan sobre los costos de los multiplexores. Esto es especialmente cierto para redes de larga distancia, donde las distancias típicas frecuentemente son mayores a 100 km.

Para terminar la demostración, hay que explicar primero en qué consisten las tecnologías de multiplexión:

Una línea telefónica normal consiste en un canal por el que se pueden transmitir 64 kilobits por segundo, donde un bit es un cero o un uno. 64 kbps es suficiente para lograr transmitir voz y datos sin distorsión audible. Dichos canales de 64 kbps reciben el nombre técnico de E0 (“E cero”) ó DS 0 (“De Ese cero”).

Para comenzar la explicación, comenzaremos por explicar que el protocolo de transmisión E1 consiste en 32 canales E0, dos de los cuales se utilizan para la sincronía y señalización de las redes, y el resto para voz o datos de 30 clientes que hablen simultáneamente. Desde este punto se notará que las redes de telecomunicaciones se diseñan para tráficos de hora pico (es decir, para el momento del día en que los usuarios terminales hablen simultáneamente con mayor probabilidad). A continuación se muestra la capacidad de distintos tipos de multiplexores en función de la velocidad terminal que manejan³⁷:

$E1 = 32 E0$, es decir $E1 = 2 \text{ Mbps}$ (megabits por segundo)

$E2 = 4 E1$, $E2 = 8.5 \text{ Mbps}$

$E3 = 4 E2$, $E3 = 34 \text{ Mbps}$

$E4 = 4 E3$, $E4 = 139 \text{ Mbps}$

Existen multiplexores de aún mayor capacidad, tales como los multiplexores de tecnología SONET o STM, que se utilizan mayoritariamente en redes de larga distancia.

El punto al que deseo llegar aquí es que el costo total de los equipos de transmisión debe ser dividido entre el total de minutos de información que puede manejar dicha línea de transmisión. Tal y como se mostró anteriormente, la mayor parte del costo de los equipos

³⁶ Estos son valores típicos obtenidos de los componentes del modelo Hatfield, version 5.0, de diciembre de 1997. El modelo HCPM de la FCC utiliza valores similares, aunque hay que tener en cuenta que dichos costos bajan año con año y que hay que estar al día.

³⁷ Vale la pena aclarar en este punto que en México se utiliza el protocolo “europeo” de transmisión. Por ello la “E” al inicio. En EE.UU. se utiliza otro protocolo, y los multiplexores son de tipo T1, T2, T3 etc... Para estos y otros temas relacionados se puede consultar la página de internet de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), agencia reguladora de estos y muchos otros temas.

de transmisión provienen de los costos de la fibra óptica, por lo que si el equipo de multiplexión en los extremos de la fibra es E2 en vez de E1, los costos unitarios por minuto transmitido serán aproximadamente la cuarta parte para un E2 que para un E1. También vale la pena aclarar que el costo de los equipos de multiplexión no crece linealmente conforme a su capacidad, es decir, el costo de un Mux E2 no es 4 veces el costo de un Mux E1, es menor. Si se toman estos supuestos como ciertos, entonces queda demostrada la existencia de rendimientos a escala para la transmisión, pues se escogerá un E2 si la demanda de esa ruta en específico así lo requiere, por lo que la opción entre un E2 o un E1 depende de la demanda a la hora pico.

Queda así ilustrado como el costo de transmitir un bit por segundo disminuye conforme mayor sea la demanda de esa ruta en específico. También es importante aclarar aquí que la curva de costos por bit por segundo transmitido no será continua como en el caso de los ductos. Esta curva dará "brincos", pues eventualmente se necesitarán 2 E1's conforme crezca la demanda, antes de instalar un E2 (recordemos que un E2 maneja 4 veces la capacidad de un E1). Por esta razón, la transmisión muestra en lo general rendimientos a escala, aunque en ciertos rangos de demanda podría no mostrarlos (como en el punto exacto en el que se requiera introducir un nuevo E1 para acomodar el incremento de la demanda).

De esta manera, queda demostrada la existencia de rendimientos a escala para la gran mayoría de los casos de transmisión y conmutación de un punto a otro de la red. Falta ahora analizar qué es lo que sucede con la naturaleza de los costos al integrar toda una red de telefonía o de distribución de fluidos, en vez de analizar exclusivamente los costos incurridos para el transporte de un punto a otro.

2.2

Las redes digitales de telefonía fija

En el capítulo 1 se demuestra que para el caso del transporte de fluidos de un punto a otro existen rendimientos a escala, tanto para el caso de un solo ducto como para el caso de una red redundante. Sin embargo, no se generaliza ese resultado para redes de distribución de un punto a varios puntos. La pregunta a resolver aquí es si un "árbol" de distribución de agua, por ejemplo, muestra las mismas características que se demuestran para un transporte de punto a punto, en vez de punto a multipunto. Para realizar esta demostración, abordaremos el problema de redes de telecomunicaciones, y posteriormente

el lector se percatará de las similitudes entre estas redes y las redes de distribución de fluidos.

Las redes de telefonía fija cumplen la función de comunicar a un usuario con otro mediante distintos equipos. Dicha funcionalidad puede ser vista como un flujo de un punto a otro de la red, pero en este caso se trata de flujo de información en vez de flujo de fluidos. Las redes de telecomunicaciones han evolucionado mucho en los últimos años, y en este capítulo nos enfocaremos a las redes digitales de telefonía fija, y dejaremos ligeramente de lado a las redes de telefonía móvil o inalámbrica (aunque los resultados que se obtienen para telefonía fija son perfectamente generalizables a otras redes).

Hasta hace relativamente poco, las redes de telecomunicaciones eran analógicas en vez de digitales. La diferencia entre ambas redes es que las redes analógicas funcionan mediante la transmisión de patrones de vibración de voz tal cual son, en vez de transformarlas primero en otro tipo de señal. Las redes digitales transforman la voz o los datos en ceros y unos, los cuales son transmitidos de un punto a otro, para después volver a ser convertidos en voz o datos en el punto de destino. No entraremos en los detalles de cómo se logra esto, pues no es relevante para lo que se desea demostrar³⁸ en este capítulo. Basta saber que dichas redes consisten en equipos que transmiten ceros y unos de un punto a otro, y en equipos que transforman dichos ceros y unos en voz o datos según sea el caso. Desde aquí se pueden comenzar a contemplar las similitudes entre las redes de distribución de fluidos y las redes de telecomunicaciones: unas transportan fluidos y otras ceros y unos de un punto a otro.

2.2.1

Los costos sensibles al uso y los no sensibles al uso

En la literatura de regulación de telecomunicaciones se habla de costos sensibles al uso y de costos no sensibles al uso³⁹. La distinción entre ambos es que los no sensibles al uso son costos que no son compartidos por varios usuarios, mientras que los sensibles al uso sí lo son.

Para redes de telefonía fija, los costos no sensibles al uso se pueden identificar al responder la siguiente pregunta: ¿si yo utilizo este elemento de la red, impido que otro

³⁸ Para los interesados en este tipo de temas, basta consultar libros de ingeniería de redes digitales de voz y datos.

³⁹ Las definiciones de “costos sensibles al uso” y “no sensibles al uso” son utilizadas repetidamente en las resoluciones emitidas por organismos regulatorios como la FCC, OFTEL, y la Cofetel, entre otras.

usuario lo utilice? Por ejemplo: el aparato terminal que utilizamos para hablar por teléfono es no sensible al uso, pues si yo descuelgo mi teléfono, no impido que mi vecino descuelgue el suyo. Lo mismo pasa con la línea telefónica que va desde nuestra casa hasta la central telefónica más cercana: el hecho que yo utilice mi línea hasta la central telefónica no impide que mi vecino use la suya.

Este panorama cambia cuando llegamos a la central telefónica más cercana, pues estas centrales consisten, entre otros equipos, en conmutadores que sí son compartidos entre varios usuarios, al igual que las líneas de transmisión que conectan a las distintas centrales entre sí. En este caso, si yo utilizo internet intensivamente, estaré utilizando capacidad de conmutación y de transmisión que no podrá ser utilizado por otro usuario, pues dichos elementos de red son dimensionados para manejar una cantidad finita de tráfico.

Es por esta razón que Telmex, por mencionar una compañía, cobra una renta básica y servicio medido por separado: la renta básica (al menos en teoría) debe ser suficiente para pagar todos los elementos de red no sensibles al uso (excepto el aparato terminal, que se cobra por separado), mientras que los cobros de servicio medido o larga distancia deben ser suficientes para pagar todos los elementos de la red que son sensibles al uso y que son utilizados al realizar una llamada en específico, y deberían ser cobrados acorde a su uso, es decir, por minuto o segundo de uso. Si la tarificación se realiza de esta manera, los usuarios identificarán el uso de los elementos sensibles al uso con sus costos, y utilizarán estos elementos de red de manera económicamente eficiente. En México existe el problema de que Telmex cobra servicio medido por llamada en vez de por minuto, además de que la renta básica incluye llamadas libres (lo que mezcla los cobros sensibles al uso con los no sensibles al uso), lo que ocasiona que algunos usuarios utilicen de manera desmedida dicho servicio, pues se les cobra lo mismo sin importar cuanto dure la llamada. Esto es, en teoría, ineficiente, y ocasiona que las centrales telefónicas se saturen en ocasiones, sobre todo ahora que los patrones de consumo han cambiado de manera importante por la introducción del Internet⁴⁰.

Para encontrar la similitud de este tipo de costos en las redes de distribución de fluidos, podría verse el último trozo de tubería que llega hasta nuestras casas como no sensible al uso, mientras que los costos de bombeo del agua hasta nuestras casas y de las tuberías compartidas entre varios usuarios debe ser visto como sensible al uso. Es decir: no deben cobrarme bombeo si no uso agua, pero sí deben cobrarme los costos de poner el tubo final hasta mi casa. Los costos de la tubería que es compartida entre varios usuarios debe

verse como sensible al uso, y debe ser incorporado en el precio que se ofrece a los usuarios por litro de agua consumido.

En resumen: es importante identificar qué costos son no sensibles al uso y cuáles sí lo son, para que de esta manera los costos no sensibles al uso se recuperen mediante cobros fijos mensuales (o anuales, o de una sola vez), y los costos sensibles al uso se recuperen mediante cobros que sean sensibles al uso (por minuto de uso del teléfono o por litro de agua, por ejemplo).

2.3

La minimización de costos de la red y el avance tecnológico

Una vez que se han identificado los costos sensibles al uso y los no sensibles al uso, en el costeo de redes de telecomunicaciones (y de redes de distribución de fluidos) debe encontrarse la localización óptima de las centrales telefónicas o de las bifurcaciones de las redes de ductos (que pueden ser vistas como "nodos" de la red). Los costos no sensibles al uso dependerán de dónde se localicen dichas centrales o nodos. Por ejemplo: si todas las centrales se localizaran en la Ciudad de México, entonces las casas de los usuarios de Tijuana deberán contar con líneas individuales con un largo de 4.000 kilómetros. Esto, evidentemente, provocará que los costos no sensibles al uso se disparen, pues cada usuario de Tijuana deberá tener su propia línea de 4,000 kilómetros. Esto, para empezar, es tecnológicamente imposible, pues el cable de cobre muestra demasiada resistencia y distorsiona la señal para distancias mayores a 6 km, e instalar fibra óptica para cada hogar por 4000 km es excesivamente costoso. Para evitar este absurdo, debe localizarse una central más cercana a Tijuana, pues dicha central se puede conectar con la central de la Ciudad de México mediante un solo cable (probablemente fibra óptica) que será compartido entre varios usuarios. Sin embargo, aquí hay también un límite, pues se podría llegar al extremo de construir centrales telefónicas en cada casa o negocio, lo que haría que los costos sensibles al uso se disparen de manera también absurda. Existe, por lo tanto, una localización óptima de las centrales telefónicas que minimiza el costo total de la red, incluyendo la redundancia.

Dicha localización óptima dependerá grandemente de cómo esté distribuida la población en el territorio que se desee cubrir, además de que depende grandemente de los

⁴⁰ El internet ha provocado que la duración de la llamada promedio se incremente, y que se hagan menos llamadas por día. Esto se agudizará conforme penetren los servicios de telefonía por internet, conocidos como telefonía IP. Cada vez será más complicado mantener un sistema de cobro por llamada.

costos relativos de los distintos elementos de la red. Por ejemplo: si el costo de los conmutadores es muy bajo respecto al costo del cable de cobre (que es el que se utiliza en la sección no sensible al uso de la red) y con respecto al costo de los medios de transmisión inter-centrales (fibra óptica, por ejemplo), entonces se encontrará que el número óptimo de centrales telefónicas es muy alto. Si el costo de los conmutadores es muy alto respecto al cable de cobre y otros medios de transmisión, entonces el número óptimo de centrales es bajo. Además, las redes deben de ser suficientemente redundantes como para asegurar que el flujo sea interrumpido con probabilidad mínima.

El último párrafo es de suma importancia, pues en los últimos años se ha observado una caída muy importante en los costos sensibles al uso (especialmente los conmutadores), mientras que los costos no sensibles al uso no han caído en la misma magnitud⁴¹. Esto se debe a que los conmutadores digitales pueden verse como computadoras especializadas. El costo de las computadoras ha caído de manera impresionante en los últimos años, mientras que el costo del cableado de cobre ha caído, pero en mucha menor magnitud. Esto provoca que la red de telecomunicaciones que fue optimizada para los costos relativos de hace 10 años sea obsoleta para los costos relativos observados actualmente. Este hecho es muy importante, pues no se puede exigir a una empresa telefónica establecida que tenga la red más eficiente dados los precios actuales, pues dicha empresa realizó sus inversiones en el pasado. No es posible exigir que la empresa “dinamite” sus centrales actuales y construya nuevas centrales, y que reconecte a todos sus usuarios a las nuevas centrales. Sin embargo, también es cierto que la empresa debe asumir este riesgo ex-ante a la inversión⁴².

La literatura de regulación de telecomunicaciones pone un especial énfasis en este hecho, pues por un lado es deseable establecer techos tarifarios a las empresas establecidas para incentivarlas a que utilicen la tecnología de punta y que “pasen” la baja en costos a los usuarios y que modifiquen sus redes para acercarse a la red óptima, pero tampoco es deseable el establecimiento de tarifas que exigen que la empresa establecida dinamite y construya una nueva red de un día para otro.

De hecho, el problema del regulador radica en que la empresa establecida podría quebrar si se le exige un cambio en sus costos unitarios demasiado riguroso⁴³. Además, conforme más rápido avance la tecnología, este problema se acentúa, pues una red redundante eficiente hoy podría ser ineficiente en 3 ó 4 años, tiempo no suficiente para

⁴¹ De hecho, en ciudades grandes el costo de instalación de cableado subterráneo ha tendido a subir, por lo que no siempre los costos forward-looking son menores que los históricos.

⁴² En el caso específico de Telmex o de otra empresa privatizada, habrá que tener cuidado con estos argumentos, pues no queda claro que en la temporada en la que Telmex era del gobierno se hayan realizado las inversiones de manera eficiente ex-ante.

⁴³ Esto es especialmente cierto si la empresa ha sido recién privatizada, y si se tienen evidencias de que se invirtió de manera ineficiente cuando era propiedad del Estado.

amortizar las inversiones realizadas en la red anterior. Este hecho aplica tanto para empresas establecidas como para empresas por establecerse, por lo que la competencia entre distintas tecnologías, por sí misma, no resuelve el problema del nivel tarifario “óptimo”.

Con esto último no quiero decir que la competencia en telecomunicaciones no es deseable dado el avance tecnológico. Al contrario. Es la competencia la que marca el paso de introducción de las nuevas tecnologías y la que rompe el poder monopólico de empresas con tecnología obsoleta. Lo que deseo decir es que mientras la competencia entra y se consolida con sus nuevas tecnologías, tal vez lo más deseable es no establecer las tarifas al operador dominante conforme a metodologías scorched earth forward-looking (lo más deseable es la metodología scorched node forward-looking, tal y como se explica posteriormente), pues esta manera de hacer las cosas meterá en problemas al establecido y además no asegura la supervivencia de los entrantes, pues los costos scorched earth forward-looking de hoy muy probablemente serán más altos que los costos scorched earth forward looking dentro de 3 ó 4 años, metiendo así en el futuro al entrante de hoy en los mismos problemas de falta de rentabilidad que observa el establecido hoy. Estos problemas y las distintas metodologías de costeo para intentar solucionar estos problemas se analizan con mayor detalle en la sección siguiente.

2.4

¿Qué metodología utilizar para el establecimiento de tarifas del operador dominante? ¿Costos forward-looking o costos históricos?

En mucha de la teoría económica de la regulación se habla sin cesar de “tarifas basadas en costos” para reflejar lo mejor posible un óptimo social. La pregunta relevante en la práctica es cómo deben calcularse los “costos” para entonces fijar tarifas justas para todas las partes, y alcanzar así con mayor probabilidad el óptimo social, tomando en cuenta la problemática que impone la baja diferenciada de los costos en distintos elementos de la red. En la literatura de regulación de empresas multimercados se habla mucho del “costo incremental”. El problema con los costos incrementales es que muchas veces no es clara la manera de repartir los costos entre distintos servicios, pues parte de la infraestructura es compartida por dos o más servicios o productos. Este hecho es peculiarmente importante a la hora de separar los llamados “costos comunes”, que son costos compartidos entre todos los servicios que ofrece la empresa. En general, los costos administrativos se consideran “comunes”, y estrictamente hablando no deben formar parte del costo incremental “puro”. Sin embargo, si el regulador fijase tarifas de ciertos servicios sin costos comunes, entonces implícitamente estará estableciendo un subsidio cruzado entre servicios, pues los gastos de administración del servicio en cuestión no estarán siendo recuperados con la tarifa establecida al costo incremental “puro”. El punto al que quiero llegar es que no es trivial establecer cuáles costos son “directamente atribuibles al servicio” (es decir, incrementales “puros”) y cuáles son “costos comunes”. Es claro que los costos de publicidad no deben incluirse como parte de los “costos incrementales” en las tarifas de servicios a otros operadores (pues si se hiciera, la competencia estaría pagando la publicidad del otro operador), pero hay muchos otros rubros de costos que no es claro cómo asignar a cada servicio. Para clarificar un poco más esta problemática, pasaremos a la siguiente sección.

2.4.1

Costos incrementales “puros” vs TSLRIC

Algunos autores opinan que el piso tarifario debe establecerse en el Costo Incremental Promedio de Largo Plazo calculado a la Capacidad Actual de la empresa (llamémosle CIPLPCA) para cada uno de los servicios.

Por definición, el CIPLPCA no incluye los costos comunes (por ejemplo, en una telefónica el costo de los edificios donde está ubicado el administrativo central no debe incluirse en el CIPLPCA). Además, si el costo incremental es de largo plazo, entonces dicho costo debe reflejar el avance tecnológico, además de los precios actuales del equipo que se necesita. Dado que los precios son actuales, y dado que muchos de los precios de los equipos bajan año con año en términos reales, entonces los costos históricos de una empresa serán mayores que el costo incremental promedio de largo plazo calculado forward-looking. Además, el CIPLPCA se calcula para la capacidad actual de la empresa, por lo que el costo es menor al que se obtendría si se evaluase dicho costo desde una capacidad cero (es decir, para todo el servicio y no para solamente el incremento en capacidad necesario en el futuro). Esto implica que un CIPLPCA calculado con una metodología forward-looking, será significativamente menor a los costos que la empresa realmente afronta para proporcionar todos sus servicios.

El hecho de establecer pisos tarifarios mediante el cálculo de los CIPLPCA para todos los servicios puede generar quiebras en las empresas y desincentivar la entrada de competidores.

Esto se debe a que existen costos hundidos y costos comunes, y a que el CIPLPCA se calcula mediante un método forward-looking. En términos contables, la empresa debe depreciar sus equipos a una tasa dada. Si el avance tecnológico es muy rápido, puede darse el caso de que la empresa no pueda vender su equipo “viejo” para comprar el “nuevo”, tecnológicamente mejor, sin antes haber depreciado por completo sus equipos anteriores. Esto, sin embargo, también podría interpretarse como que la empresa en cuestión valoró erróneamente ex-ante las vidas útiles de sus equipos. No quiero decir que el regulador debe garantizar la recuperación de los costos históricos, sino que debe tener cuidado a la hora de construir su metodología de costeo forward-looking, y de los inputs que se metan al modelo, pues se puede meter en problemas indeseables a las empresas al construir un modelo demasiado exigente en términos de la eficiencia en costos de la red, o con vidas útiles no apropiadas. Si se da este caso, lo cual sucede muy a menudo en empresas intensivas en capital como las empresas petroquímicas, de ductos y en la industria de telecomunicaciones, entonces el establecer pisos tarifarios en el CIPLPCA con

metodologías demasiado exigentes podría desincentivar la entrada de nuevos competidores, pues éstos no podrán recuperar los costos observados (que son mayores para la red “real” que para la “red hipereficiente” que asume el regulador), y tendrán resultados contables y financieros decepcionantes. Esto, además, haría menos creíble la amenaza de entrada de competidores, por lo que podríamos alejarnos más del óptimo social, pues el monopolio verá aumentada su fuerza de mercado. Por estas razones, se discutirán posteriormente en este trabajo distintas metodologías de costeo, con sus ventajas y desventajas.

Es un hecho que las empresas entrantes exigirán que la empresa establecida les ofrezca los servicios intermedios a una tarifa que sea igual al CIPLPCA de dicho servicio (la tarifa más baja justificable con modelos teóricamente aceptados y calculables), pero los entrantes no se percatan de que dicha práctica podría ser contraproducente en el futuro, pues si se fijasen todos los pisos tarifarios con el criterio CIPLPCA entonces las empresas entrantes no serán viables tarde o temprano. El establecimiento de pisos tarifarios regidos por el CIPLPCA para todos los servicios puede generar grandes problemas, y podría generar incentivos erróneos e inclusive desincentivar la inversión tanto por parte del operador establecido como por parte de los entrantes establecidos o potenciales, además de hacer más posible la quiebra de las compañías. La quiebra en sí no es el problema, sino que se estaría mandando el mensaje de que los servicios regulados no podrán recuperar parte de sus costos (los costos “comunes”).

Una posible salida de este problema sería el establecer tarifas que recuperen el costo medio del servicio que se ofrece, en vez del CIPLPCA. Por costo medio me refiero a lo que algunos autores llaman en inglés TSLRIC (Total Service Long Run Incremental Cost). La diferencia entre el TSLRIC y un costo incremental común radica fundamentalmente en 2 cosas:

1. El TSLRIC incorpora la porción de costos comunes atribuibles a dicho servicio, en vez de ignorarlos como el CIPLPCA. Sin embargo, se asumen sólo los “costos comunes” que son relevantes, es decir, la publicidad, por ejemplo, no está incorporada. De esta manera se asegura que el servicio en cuestión realmente pueda recuperar todos los costos que genera directamente. Este enfoque asume que realmente parte de los “costos comunes” realmente sí son asignables directamente al servicio. Facturación, Cobranza y Administración son rubros que generalmente se incorporan al TSLRIC y no al CIPLPCA.
2. El TSLRIC se calcula a partir de capacidad cero, y no a partir de la capacidad actual de la compañía. Esto implica que el TSLRIC incorpora la totalidad del costo que se incurre

para dotar el servicio a todos los clientes existentes y futuros, y no solamente para los clientes futuros (clientes incrementales).

El punto 2) anterior es de suma importancia, pues en una industria con rendimientos crecientes a escala el costo incremental calculado a la capacidad actual es significativamente menor que el costo incremental calculado desde cero. Es decir: el CIPLPCA es menor que el TSLRIC, y no solamente debido a que el TSLRIC incorpora costos comunes.

Dado que el TSLRIC debe incluir los costos comunes y los costos de capital de una empresa eficiente, entonces el fijar tarifas a dicho nivel hace que la empresa recupere justamente los costos necesarios para que existan incentivos a la inversión (pues es suficiente para recuperar los costos de capital), por lo que es lo más cercano al óptimo social. Por otro lado, debe aplicarse el factor "X" de productividad (ver capítulo siguiente para una definición más exacta de "X") a las tarifas de la canasta de productos regulados con el fin de incorporar el avance tecnológico al esquema tarifario intertemporal para la empresa establecida.

El problema con la propuesta de fijar los pisos tarifarios para la empresa dominante en el TSLRIC calculado para la red actual es que podría implicar cero libertad tarifaria para la empresa regulada, y por lo tanto para sus competidores en etapas tempranas de la competencia. Esto se debe a lo siguiente: si el "price-cap" se calculó correctamente, entonces el nivel tarifario es tal que apenas permite la recuperación de todos los costos, incluyendo los comunes y los costos de capital de una empresa eficiente. Es decir, el techo tarifario para la canasta permite recuperar el TSLRIC de todos los servicios. Si fijamos pisos tarifarios para todos los servicios en el TSLRIC, entonces la empresa establecida podría no tener ninguna libertad tarifaria, pues el piso sería igual al techo tarifario (el piso estaría al mismo nivel que el price-cap para todos los servicios).

Por lo tanto, el regulador debe escoger entre cero libertad tarifaria para la empresa dominante, o flexibilidad tarifaria, aunque esto implique hacer posible el realizar subsidios cruzados y posibles prácticas predatorias. En este respecto existen múltiples posiciones sobre qué política adoptar, pues cualquier opción que se escoja ofrece tanto ventajas como desventajas. La discusión se llevará entonces al plano político, más que al económico.

2.4.2

Las distintas metodologías de costeo

Analicemos ahora otro tipo de problema relacionado con la metodología de costeo. El problema de que el número óptimo de centrales telefónicas aumenta conforme bajan los costos de la conmutación relativos a los costos de la transmisión ha sido atacado en varios países mediante distintas maneras. Las tres maneras más comunes de realizar el ejercicio de costeo son las siguientes:

- 1) Enfoque "Scorched earth"⁴⁴: según este enfoque, debe encontrarse la localización óptima de las centrales de acuerdo a los costos relativos actuales, y el ejercicio de costeo implica la construcción de una red redundante hipotética lo más eficiente posible dados los costos actuales. Este enfoque produce costos que no son asequibles por ninguna empresa, pues la establecida posee centrales telefónicas en lugares muy probablemente distintos a los estimados por el modelo, mientras que los entrantes muy difícilmente tengan una red del tamaño suficiente para cubrir a todas las zonas del país.
- 2) Enfoque "Scorched node": según este enfoque, debe tomarse la localización actual de las centrales telefónicas, pero toda la red de transmisión y las partes de la red que no son sensibles al uso se optimizan mediante algoritmos de minimización de costos de redes redundantes. Este es un enfoque intermedio entre el "scorched earth" y el enfoque de "actual network", y es el más recomendado para realizar ejercicios de costeo de los elementos de redes de telecomunicaciones. Este enfoque supone entonces que las conexiones entre centrales y hacia los usuarios finales se hicieron de manera eficiente, y que las centrales se encuentran donde fueron realmente construidas en el pasado.
- 3) Enfoque "Actual network": acorde a este enfoque, deben tomarse la localización de las centrales y el total de km de medios de transmisión tal cuales fueron construidos por la empresa. Este enfoque es, obviamente, el preferido por las empresas establecidas, pero podría incentivar la entrada ineficiente de competidores, además de que no necesariamente asegura que la red sea lo suficientemente redundante (o redundante en exceso).

⁴⁴ Estos distintos enfoques están excelentemente explicados en múltiples artículos de NERA (National Economic Research Associates). En específico, puede consultarse "Developing a costing methodology for

Los tres enfoques anteriores pueden ser utilizados con dos distintos conjuntos de costos unitarios: costos históricos y costos forward-looking (o costos prospectivos):

- Costos Históricos: el ejercicio de costeo se realiza con los costos afrontados por la empresa en el pasado, tal cual fueron realizados. Este enfoque ignora el avance tecnológico que ha habido desde que se realizaron las inversiones, y tenderá a incentivar la entrada ineficiente de competencia, además de que disminuye los incentivos para el operador establecido a incorporar las nuevas tecnologías, pues sabe que las tarifas serán establecidas acorde a los costos unitarios observados por la empresa.
- Costos Forward-looking: el ejercicio de costeo se realiza utilizando los costos actuales de los equipos que cumplan las funciones de los equipos “viejos” utilizados por las empresas. Es decir, este enfoque incorpora el avance tecnológico al ejercicio de costeo porque utiliza los costos de los equipos más avanzados tecnológicamente hablando en vez de los costos observados en el pasado. Este enfoque disminuye la probabilidad de entrada ineficiente de competidores, pues los entrantes utilizarán la tecnología de punta y podrán ser competitivos si se fijan las tarifas del establecido con esta metodología.

2.4.3

¿Qué metodología utilizar entonces?

Como se podrá observar, la metodología que produce los menores costos sería una metodología “scorched earth con costos forward-looking”, mientras que la metodología que produce los costos más altos es la “actual network con costos históricos”. Debido a esta razón, no es de extrañar que las empresas de larga distancia en EE.UU. hayan promovido metodologías de costeo de interconexión local con la primera metodología, mientras que los locales hayan promovido la segunda metodología para realizar el ejercicio. El modelo utilizado por la FCC es un justo medio entre las dos posiciones, y utiliza una metodología “scorched node con costos forward-looking”. Sigue existiendo controversia en este tema, y el tema sigue siendo polémico e incluso sigue siendo discutido en las cortes de justicia de varios países.

En lo general, para concluir esta sección, podemos decir que la mejor metodología a utilizar para los ejercicios de costeo debe ser de estilo TSLRIC, calculado mediante

interconnection rates in Mexico”, Final Report, Julio 2000, elaborado para la COFETEL con fines de

metodología “scorched node con costos forward looking”. Si se sigue esta metodología, se podrá estar bastante seguro de no estar poniendo en problemas demasiado fuertes al operador establecido, y al mismo tiempo se estarían estableciendo incentivos suficientes para la entrada eficiente de competidores que cuenten con la tecnología de punta. Dado que los entrantes recién construyen su red, podrán acercarse más a la solución “scorched earth con costos forward looking” que el establecido (pues este último ya construyó sus centrales telefónicas en el pasado), por lo que establecer tarifas mediante TSLRIC scorched node forward looking para el establecido no necesariamente implica hacer incosteables a los entrantes potenciales, además de que incentivará al establecido a incorporar las tecnologías de punta a su red.

2.5

Resultados del modelo de costeo para México y las economías de densidad

En esta sección serán presentados los resultados obtenidos de un ejercicio de costeo que utiliza una metodología scorched node forward-looking para 3 distintos Estados de la República Mexicana: Chiapas, el D.F. y el Estado de México. Se escogieron estos tres estados por ser los más representativos de la problemática generada por las economías de densidad. El modelo utilizado fue construido por el autor de esta tesis para fines de análisis de la Comisión Federal de Telecomunicaciones de México (Cofetel) sobre el monto probable de subsidio que Telmex realiza internamente entre sus distintos usuarios y servicios. Dichos resultados pueden ser también utilizados para el establecimiento de un mecanismo que logre realizar dichos subsidios entre distintos clientes ahora que el mercado de las telecomunicaciones se ha abierto a la competencia, lo que hace inviable al actual esquema de subsidios implícito realizado internamente por Telmex.

La metodología utilizada se encuentra anexa a esta tesis, y está inspirada grandemente en el modelo Hatfield, pero modificado para reflejar la metodología scorched node forward looking y la dispersión poblacional de México. Dicho modelo encuentra los costos totales por línea (sensibles al uso y no sensibles al uso) a nivel localidad, y ordena dichos costos por línea en función del número de líneas telefónicas existentes en cada localidad. Para realizar dicho ejercicio de costeo se partió de bases de datos que contienen la localización geográfica de las 205,000 localidades de México (latitud, longitud, altura

establecer una tarifa de interconexión promedio nacional basada en costos.

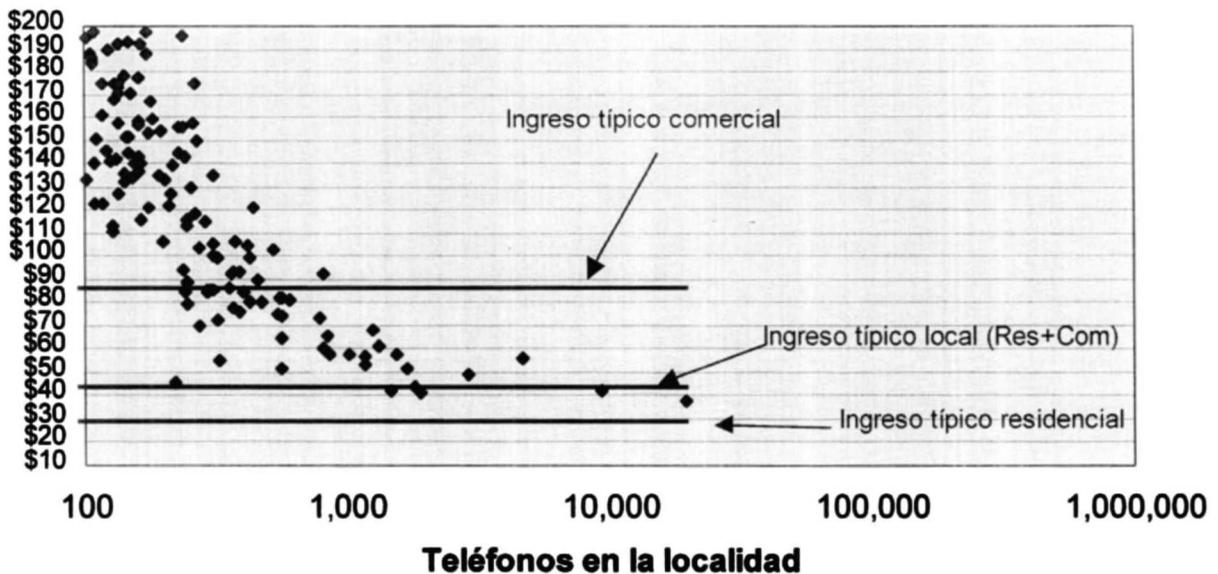
sobre el nivel del mar, población en la localidad y nivel de ingreso). Se cuenta también con una base de datos que muestra la localización geográfica de las centrales existentes de Telmex. El modelo encuentra la mejor manera de conectar entre sí dichas centrales, además de que encuentra el costo de las secciones no sensibles al uso dependiendo de la población de cada localidad: las localidades chicas tienden a ser predios grandes (zonas rurales), mientras que las localidades grandes tienden a tener predios más pequeños (zonas urbanas con edificios). Los detalles de cómo se hizo este ejercicio se encuentran anexos a esta tesis.

Los resultados obtenidos se resumen en las siguientes 3 gráficas, donde cada punto graficado representa el costo por línea estimado para cada localidad en cada Estado analizado. Vale la pena aclarar que el modelo cuenta con un límite en el tamaño de las localidades a conectar a la red, pues se sabe que sólo las localidades con más de 500 habitantes cuentan actualmente con líneas telefónicas en operación. Conforme penetre el servicio telefónico a localidades más pequeñas, el modelo deberá ser corrido de nuevo con un límite más pequeño de dicho parámetro. Las gráficas son las siguientes:

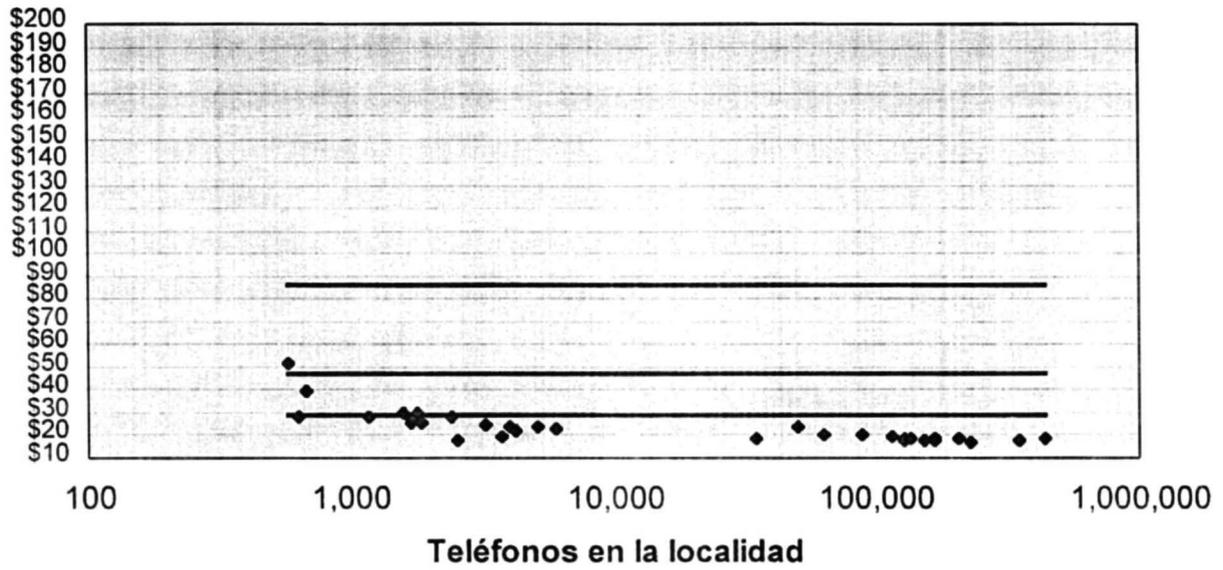
Todos los costos e ingresos son en dólares mensuales e incluyen costos de capital "razonables". y los ingresos típicos reflejan la renta básica, el servicio medido y los ingresos por concepto de interconexión promedio nacional tanto para usuarios residenciales, para usuarios comerciales y para la mezcla de ambos. Los resultados de este modelo son para telefonía fija, y no reflejan el hecho de que existen tecnologías más baratas para zonas de baja densidad telefónica⁴⁵.

Las gráficas se muestran a continuación:

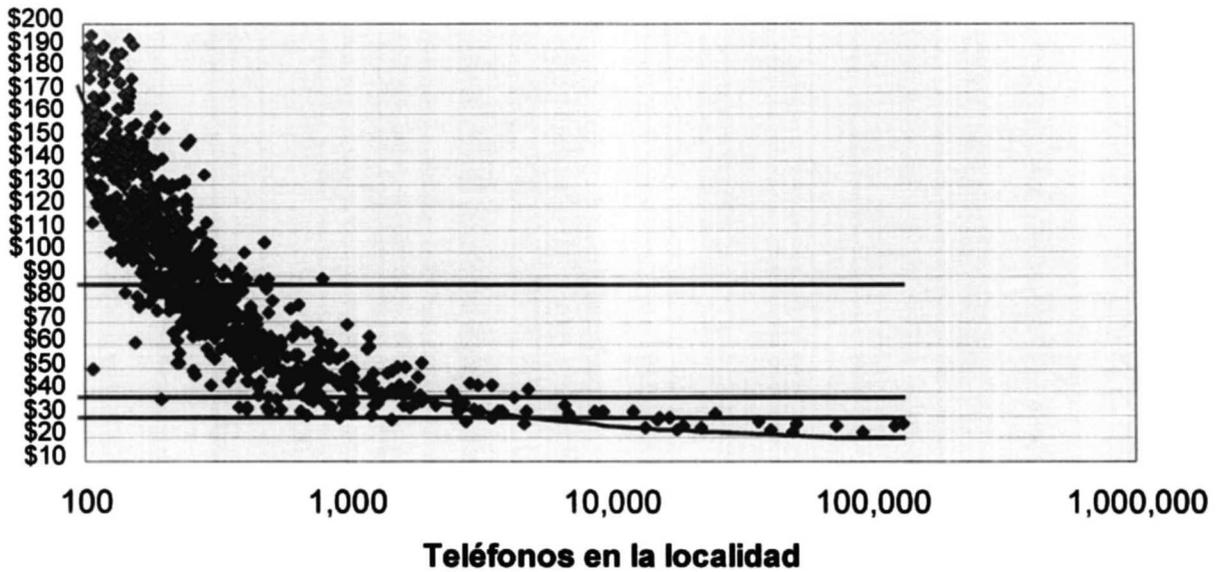
Costo Mensual vs Tarifa Típica Chiapas



Costo Mensual vs Tarifa Típica Distrito Federal



Costo Mensual vs Tarifa Típica Estado de México

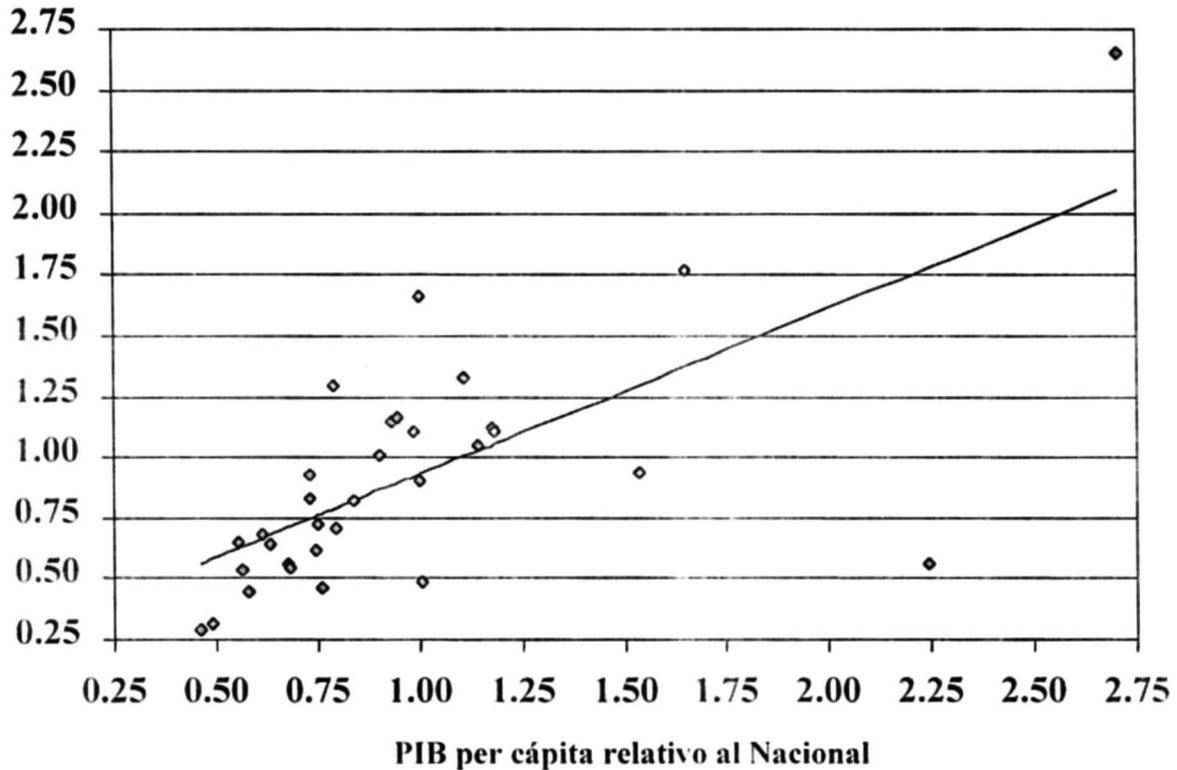


Los resultados de las gráficas anteriormente expuestas reflejan, primero, la existencia de economías de densidad: conforme más dispersos están los aparatos telefónicos (es decir, conforme más pequeño es el número de teléfonos por localidad), mayor es el costo mensual por línea. Estas economías de densidad implican que en zonas con alto número de aparatos telefónicos las tarifas más que recuperan los costos, mientras que en zonas de bajo número de aparatos las tarifas no alcanzan a recuperar dichos costos. Esto implica que actualmente existe un mecanismo de subsidio que va de las zonas con muchos teléfonos a las zonas con pocos teléfonos. Es decir, actualmente Telmex realiza internamente un subsidio que proviene de las grandes ciudades y que va a las zonas rurales.

El problema que existe actualmente es que las empresas que están entrando al mercado telefónico están entrando en las zonas de costos bajos (es decir, las grandes ciudades), y rara vez en las zonas de costos altos. Actualmente las tarifas no pueden ser diferenciadas para distintas regiones del país por parte de Telmex (pues no se la permite a Telmex hacer eso). Esto es importante, pues eso implica que en las ciudades Telmex, y los nuevos entrantes a las ciudades, observan una rentabilidad exagerada, mientras que en las zonas rurales se enfrentan déficits importantes. Si la competencia entra a las grandes ciudades, incentivada por rentabilidades exageradas, la competencia misma tenderá a provocar que las tarifas bajen en las grandes ciudades (pues no existen restricciones tarifarias para los entrantes), haciendo así que la fuente de subsidios para las zonas rurales desaparezca gradualmente conforme penetren los entrantes. Este problema es especialmente grave en Chiapas (y en otros Estados de bajo ingreso per cápita y con grandes zonas rurales), pero es inexistente en grandes ciudades como la ciudad de México. El Estado de México es el típico caso que muestra ambas caras de la moneda, pues cuenta con la zona conurbada de la Ciudad de México y con zonas rurales apartadas.

En resumen: la entrada de la competencia al mercado telefónico local podría ir en contra de la expansión de la penetración de los servicios telefónicos en las zonas donde más se necesita. Si no se hace algo con la regulación actual de la competencia en México, la competencia podría ser contraproducente, pues podría agravar aún más las ya graves diferencias regionales en la penetración telefónica y en el ingreso, tal y como se muestra en la siguiente gráfica:

Teledensidad relativa al promedio nacional vs PIB per cápita relativo al nacional (1 = Promedios nacionales)



Esta última gráfica es la que pone de manifiesto la gravedad del problema generado por las economías de densidad y la introducción de competencia al mercado local sin regulación adicional a la ya existente: la competencia podría hacer que los Estados más pobres disminuyan aún más su penetración telefónica relativa a la nacional, pues conforme menor es la teledensidad, más caros son los teléfonos y más improbable es la entrada de competencia, y no sólo eso: es más probable que, en el mejor de los casos, la penetración se estanque, pues Telmex verá cada vez más disminuida su capacidad de financiamiento para las líneas existentes en los Estados más pobres del país.

En el siguiente capítulo se exponen posibles soluciones a los problemas generados tanto por el poder monopólico de las empresas como por las economías de densidad y su relación con la pobreza.

Capítulo 3

REVISION DE LA TEORÍA DE LA REGULACIÓN: LOS ABUSOS AL CONSUMIDOR Y A EMPRESAS COMPETIDORAS QUE RECIEN ENTRAN AL MERCADO, Y LA SOLUCION DEL PROBLEMA GENERADO POR LAS ECONOMIAS DE DENSIDAD

En el presente capítulo el enfoque principal se hará en las distintas regulaciones que se han aplicado en distintos países para lograr acercar la estructura de precios del monopolio natural al óptimo social, sin incentivar la entrada de empresas ineficientes al mercado, ni dotar de rentabilidad excesiva a las compañías establecidas, ni duplicar ineficientemente (en lo posible) la infraestructura. También se analizarán los efectos que tienen en el mercado las distintas regulaciones que se aplican para evitar conductas predatorias por parte de las empresas establecidas para evitar la entrada de competidores. Además, se revisarán marcos regulatorios que intentan resolver el problema generado por las economías de densidad.

3.1

Resumen de la problemática de las redes de distribución

En los capítulos anteriores se demuestra que en general las industrias de ductos y de telecomunicaciones tienen grandes rendimientos crecientes a escala, y que existen economías de densidad para las correspondientes redes redundantes de distribución. Además, se demuestra que es mejor socialmente el tener sólo una red redundante de distribución en vez de varias. Esto tiene implicaciones importantes para su regulación, pues este tipo de industrias tiende a ser monopolio natural. Esto no implica en lo absoluto que el regulador deba conceder poder indiscriminado de monopolio a estas industrias, pues al hacerlo se tendrán muchas menos posibilidades de que se alcance un óptimo social⁴⁶. La regulación se vuelve entonces de radical importancia, pues se debe tener cuidado de ofrecer

⁴⁶ En este caso se entenderá como óptimo social al punto donde se intersecta la curva de demanda con la curva de costos de largo plazo de la industria, la cual, como se vio en el capítulo 1, tiene forma descendente en la cantidad total ofrecida (es decir, muestra rendimientos crecientes a escala). Sin embargo, este punto es difícilmente alcanzable bajo ciertas condiciones, por lo que a veces se procura conseguir un "segundo mejor" (second best).

los incentivos correctos a la inversión y a la entrada de nuevos competidores y al mismo tiempo lograr precios al público menores. Cuando se tienen industrias multimercados (como en el caso de plantas petroquímicas o la industria de telecomunicaciones) la regulación se vuelve inclusive más determinante para evitar prácticas predatorias como los subsidios cruzados.

Para comenzar retomaré la idea de que es mejor tener un solo ducto (o una red redundante de mínimo costo) que varios para transportar una misma cantidad de masa o de bits de un punto a otro. Se demostró que el costo mínimo de transporte por unidad de masa transportada se incrementa según el número de tuberías (o redes redundantes) que unen esos dos puntos.

Si el regulador intenta introducir competencia en los mercados monopolizados mediante estímulos que impliquen la instalación de redes adicionales a las ya existentes se llegará tarde o temprano a una situación de ineficiencia en costos para la industria en general, pues los costos unitarios mínimos serán mayores a los que existirían si solo existiese una sola red adecuada para transportar toda la demanda requerida. Esto nos lleva necesariamente a pensar que si lo que se desea es quitar el poder de monopolio para acercarse al óptimo social, entonces la introducción de competencia directa (mediante inversiones en tuberías o redes de telecomunicaciones con la misma tecnología adicionales) no es deseable socialmente en el largo plazo. Sin embargo, puede verse a la duplicación ineficiente de infraestructura como un "mal necesario" para hacer creíble la entrada de competencia y lograr con ello menores tarifas al público.

La introducción de competencia directa sólo podría disminuir el precio de venta al consumidor final pero en el corto plazo⁴⁷, pues en el largo plazo los costos mínimos de la industria en conjunto serán mayores si hay más de una red redundante. La compartición de una sola red redundante de distribución entre varias empresas es lo deseable en este caso. Para lograr establecer incentivos adecuados a la expansión de la red donde no existe red y no duplicarla en donde ya existen redes redundantes, es necesario el establecimiento de tarifas de interconexión suficientemente desagregadas y basadas en costos, además de un mecanismo de servicio universal. Estos argumentos se desarrollarán con mayor detalle en secciones posteriores de este trabajo.

El problema aquí es entonces el cómo repartir el costo de la red cuando se tiene una empresa dominante y entrantes potenciales. La empresa establecida, por razones obvias, no deseará que su red sea compartida⁴⁸. Por otro lado, existe el problema de que las empresas entran (o entrarán o desearán entrar) en distintos momentos en el tiempo, por lo que el ducto

⁴⁷ Esto suponiendo, claro, que no existirá colusión tácita entre los supuestos competidores.

⁴⁸ De hecho, esto podría considerarse legalmente como expropiación de bienes.

tendrá que ser compartido mediante un acuerdo de interconexión que refleje el costo de los elementos de la red de distribución utilizados por las otras empresas para operar.

Además de estos problemas relacionados con el poder de monopolio relacionado con las economías a escala existen los relacionados con las economías de densidad y la coincidencia entre las zonas más caras con las zonas más pobres del país. Antes de seguir con este tema, que será abordado posteriormente, tocaremos otros temas importantes relacionados con la regulación.

3.2

Protección al consumidor:
La regulación de la tasa de retorno.
Ventajas y desventajas

Esta manera de regular es relativamente sencilla: no se le permite a la industria en cuestión obtener una tasa de retorno a la inversión mayor a un tope, establecido previamente por el regulador. Esto se hace para proteger a los consumidores de prácticas monopólicas por parte de la(s) empresa(s) establecida(s).

Este tipo de regulación tiene deficiencias, siendo la más importante la que menciona que este método puede ocasionar desinversión o sobreinversión, e incentivos erróneos a la entrada de nuevas industrias (competencia), pues podría no haber fomento correcto a inversiones nuevas si la tasa máxima de retorno establecida por la ley es demasiado baja o demasiado alta. Adicionalmente, es complicado para el regulador el obtener la tasa de retorno "adecuada", pues deberán tomarse criterios de eficiencia de empresas que son a veces difíciles de medir. Por otro lado, el regulador tendrá problemas cuando desee distribuir los costos comunes (los costos no directamente asignables a un servicio) a los distintos servicios.

Por otro lado, este tipo de regulaciones puede ocasionar distorsiones en los mercados en el caso de que la industria en cuestión produzca varios productos. Esto sucede porque este tipo de regulación hace hincapié en no permitir rendimientos demasiado altos sobre alguno o varios de los procesos que existen en la producción. Esto implica regular las tarifas a las que se ofrecen los servicios controlados, pues parte (a veces una gran parte) de los costos de la empresa en cuestión se pueden ver como fijos. Esto ocasiona que la industria dominante en varios mercados cambie su manera de producir, lo que puede

terminar en una situación de distorsión grave en la cadena de producción y de ineficiencia económica.

Por estas razones y otras de índole de avance tecnológico, si el regulador desea introducir competencia en varios mercados dominados por una sola empresa mediante una regulación de la tasa de retorno, se prefiere utilizar al sistema INPC-X en situaciones de monopolio natural multimercados, pues dicho método incorpora variables que obligan a la empresa regulada a reflejar el avance tecnológico a sus clientes finales mediante menores tarifas. Además, si la duración del price cap es lo suficientemente larga, la empresa regulada tenderá a establecer una estructura tarifaria similar a Ramsey Pricing.

3.3

El método inpc-x o “precios tope” (“price-cap”) para regular empresas dominantes en situaciones de monopolio natural multimercados

Este método toma, para empezar, una canasta de productos a regular. Esta canasta de productos incluye sólo aquellos productos o servicios en los que la empresa no enfrente competencia significativa y/o aquellos productos en los que se sospeche existen prácticas predatorias o desleales por parte de la empresa dominante. En el caso de telefonía, por ejemplo, se toman en la canasta las llamadas locales y de larga distancia residenciales, las llamadas locales y de larga distancia comerciales, gastos de instalación y otros factores en los que el regulador crea existen prácticas depredatorias por parte de la empresa dominante. En el caso presente de México en telefonía, la larga distancia enfrenta ya una situación de competencia, por lo que, en principio, no debería incluirse en la canasta de productos a regular. En el caso de petroquímicas se tomarían en la canasta los productos que tengan una elasticidad cruzada alta o las materias primas de un producto final, incluyendo por supuesto al producto final en cuestión. Por ejemplo, para el caso de polietileno (precursor de las bolsas de plástico) se debería tomar una canasta que incluyese eslabones anteriores en la cadena de producción. Para el caso del polietileno al menos deberían estar en la canasta el etano y el etileno, precursores sin los cuales es imposible producir polietileno.

En términos matemáticos, el método INPC-X consiste en lo siguiente:

Fórmula 1:

$$\sum P_{it} * Q_{it-1} \leq F_t * \sum P_{it-1} * Q_{it-1}$$

En donde P_i y Q_i se refieren al precio y cantidad vendida del bien i respectivamente (donde i representa a un bien incluido en la canasta a regular). F_t es un factor controlador, cuyo valor esta dado por:

Fórmula 2:

$$F_t = (1-X)(1+(INPC_{t-1} - INPC_{t-2})/INPC_{t-2})$$

Como se observa, el factor controlador es simplemente el aumento en el índice nacional de precios al consumidor en el período $t-1$ (la inflación en el período anterior al período en cuestión) corregido por el aumento en la productividad (X), donde X está medido no en %, sino como fracción⁴⁹. La fórmula 1 indica claramente que el costo de la canasta de servicios deberá irse ajustando período a período, con la restricción de que al período siguiente el costo de la canasta no podrá ser mayor al valor previo de la canasta multiplicado por un factor que depende de la inflación en el período previo y del aumento en la productividad deseado⁵⁰. Con este método no se elimina por completo la posibilidad de tener subsidios cruzados⁵¹, pero sí hace menos posible que la empresa dominante realice prácticas depredatorias de este estilo. Además, se obliga a la empresa dominante y a sus competidores a ser más productivos, cosa que no ocurre si la empresa goza de poder ilimitado de monopolio.

Una vez definido el valor del factor X , debe definirse un valor inicial del vector P (el vector inicial de precios al público de cada uno de los componentes de la canasta). Existen muchas combinaciones de X y P que producen una rentabilidad dada. Debe incluirse una restricción adicional para tener un valor tope de la canasta (y su trayectoria en el tiempo). En ciertos casos, por ejemplo, se escoge un factor X y un vector inicial P_0 tales que produzcan una tasa interna de retorno igual al costo promedio ponderado del capital

⁴⁹ Es decir, si la productividad de la industria que se analiza aumenta 5% anual por encima de la productividad de la economía en su conjunto, entonces $X=0.05$.

⁵⁰ En este rubro hay autores que no sólo incluyen el factor de productividad X de la industria en cuestión, sino que lo corrigen con el factor de productividad de la economía en conjunto. Para variantes y críticas a este modelo de regulación se recomienda el libro de Armstrong citado en este libro y las fuentes bibliográficas que aparecen en el mismo libro.

⁵¹ Se entiende por "Subsidio Cruzado" a una práctica depredatoria en la cual una empresa que compite en distintos mercados baja demasiado su precio en uno de los bienes que vende (lo vende abajo del costo), y al mismo tiempo incrementa el precio de otro de los productos que vende para resarcir las pérdidas. Esto tiene como consecuencia sacar a la competencia de uno de los mercados para posteriormente apropiarse del monopolio.

(CCPP o WACC⁵² en inglés) de una empresa “eficiente”. Existe además la restricción de que X no debe ser muy distinta a un valor que refleje el aumento en la productividad histórica de las empresas eficientes, así que solo queda un grado de libertad: el vector P_0 . Esa es la incógnita a resolver en el cálculo de un “Price-Cap”, pues por lo general el valor de X se define exogenamente al modelo de cálculo del cash-flow (tal y como se explica posteriormente). Una vez definido este vector, se obtienen los vectores P_t para cada instante de tiempo “ t ” mediante el factor controlador descrito anteriormente. Con esos vectores temporales y volúmenes esperados de tráfico en el futuro se obtienen los ingresos esperados en el futuro y con ello la tasa interna de retorno (una vez que también se han estimado los costos, excluyendo el costo del capital). Con los ingresos totales y los costos totales se estima el flujo de caja (cash flow en inglés), y con él y la inversión inicial de la empresa se obtiene la tasa interna de retorno (TIR), pues se sabe que la TIR es la tasa de descuento tal que hace que el valor presente neto de los flujos de caja al infinito sean iguales a la inversión inicial que hizo la empresa.

Cada cierto número de años el mecanismo “Price-Cap” debe revisarse, y los valores de X y P_0 probablemente cambien en cada nueva revisión. Esto se hace con el fin de reflejar el hecho de que el entorno económico cambia (y con ello el valor del CCPP y otros factores que influyen en el cálculo de la TIR, y del mismo factor X).

Por otro lado, existen autores que han concluido que el establecimiento de un price cap provoca que la empresa dominante (y por ende sus competidores) establezca precios para sus distintos servicios regulados de una manera tal que se logra alcanzar Ramsey Pricing, minimizando así la ineficiencia económica⁵³.

En conclusión, el método price-cap es mejor que el de regular directamente la tasa de retorno de las empresas, pues se introduce un factor dinámico al proceso. Al deber bajar la empresa regulada el conjunto de tarifas a una tasa X , se obliga a la empresa a buscar productividad semejante a la que se observa en empresas eficientes bajo situaciones económicas similares. Esta regulación no solo regula la tasa de retorno de las empresas, sino que hace que las empresas sean conscientes de que deben bajar sus costos y premiar al consumidor final vía disminuciones en las tarifas finales. Además, en teoría, el establecimiento de un price cap inducirá a la empresa regulada a establecer sus precios finales de manera que se alcance Ramsey-Pricing, obteniendo así la mayor eficiencia

⁵² La WACC se obtiene ponderando el rendimiento que se debe pagar a quienes prestaron a la empresa (deuda) y el rendimiento que esperan obtener los inversionistas en acciones de la empresa (acciones). Este último término puede evaluarse a partir de información bursátil de la empresa, mediante, por ejemplo, la metodología CAPM.

⁵³ En este respecto, se pueden consultar los artículos de Ingo Vogelsang sobre price caps y ramsey pricing.

económica. Sin embargo, el método no es perfecto y puede producir efectos no deseados si se realiza mal el cálculo de sus componentes.

3.4

Estimación del Factor de productividad (“X”) para la regulación de precios tope

Cabe aquí la duda siguiente: ¿Cómo calcular el factor de productividad X? Esto es importante, pues si se escoge una X demasiado chica, entonces la empresa podría no tener incentivo suficiente a bajar sus costos y a adquirir nuevo equipo, con mejor tecnología, y pasar la baja en costos a sus usuarios. Por otro lado, si se escoge una X demasiado grande, entonces podría correrse el riesgo de quebrar a la empresa, pues los ingresos obtenidos disminuirían en términos reales a una tasa mayor a la que la empresa puede bajar sus costos. Para escoger un factor X “adecuado” se analiza cómo han ido cambiando los costos de industrias eficientes similares en otros países (o en el propio, si hay antecedentes) a lo largo del tiempo para aproximar un factor de productividad. Este método tiene el claro inconveniente de que toma como constante el factor de productividad a lo largo del tiempo y no da luz sobre cambios súbitos en productividad que podrían darse, por ejemplo, por un avance tecnológico importante o por diferencias entre distintos países. Este es un argumento de peso, pero no desacredita del todo al método de aproximación del factor de productividad, pues se podría hacer un promedio móvil a 5 o 10 años para así tener factores de productividad dinámicos, que aproximarían mejor el verdadero incremento deseado en la productividad de la empresa que goza de poder de mercado sustancial.

Otra manera de hacer la estimación es mediante un estudio de productividad total de factores: se realiza un estudio comparativo entre la industria en cuestión y la economía en su conjunto para observar diferencias en el crecimiento de la productividad entre la empresa y la economía en su conjunto. Si la empresa históricamente ha mostrado crecimientos en productividad mayores que la economía en conjunto, entonces el factor X a aplicar a esa industria debe ser mayor que cero. Por ejemplo, en el caso del sistema de precios tope de Telmex para el período 1999-2003 se escogió un factor X de 4.5% anual. El 4.5% se encuentra entre los rangos de valores que se utilizan internacionalmente, así que se puede asegurar que si Telmex funciona de manera eficiente, entonces podrá disminuir sus costos,

respecto a la baja (o subida) en costos de la economía, en 4.5% real anual, por lo que las tarifas al público también podrán bajar (de hecho, deberán bajar).

Por otro lado, algunas veces se define el factor X de tal manera que se obligue a la compañía en cuestión a ser más eficiente de lo que ha sido a lo largo de la historia, pues **puede tenerse evidencia histórica (y mediante benchmarking internacional) de que la empresa no produce de manera eficiente.**

En resumen, la regulación de Price-Cap es un tipo de regulación de tasa de retorno, pero con la ventaja de que introduce un factor de productividad que obliga a la empresa establecida a reflejar el avance tecnológico a sus clientes finales mediante tarifas reales que bajan en el tiempo, además de que induce a la empresa regulada a establecer sus precios de manera tal que se logra Ramsey Pricing.

3.4.1

Consideraciones adicionales sobre el factor “X”

Cabe aquí la siguiente cuestión: tiene sus inconvenientes el obtener datos de aumento de productividad de empresas para emplear ese estudio para regular sus ingresos. Al largo plazo podría haber incentivos a ser menos productivos con el fin de que los estudios arrojen X's más chicas y así tener más libertad tarifaria en el futuro. Si a la empresa a regular se le establece un tope al incremento en los precios que depende a fin de cuentas de su productividad (el factor X), pudiese darse el caso de que se desincentive la productividad de la empresa en cuestión. Este efecto se conoce como “ratchet effect”, y es abordado con detalle por Freixas, Guesnerie (1985) y por Laffont (1987, 1988). El “ratchet effect” impone entonces un límite a los incentivos a aumentos en productividad que pueden inducirse a una empresa establecida.

Algunos autores opinan que este argumento es falaz porque la empresa en cuestión siempre querrá disminuir sus costos para obtener mayores utilidades, pues sus tarifas al público caen en términos reales a una tasa X% anual, por lo que si desea mantener su utilidad de operación igual deberá bajar sus costos al menos a la tasa X%. Es decir, algunos opinan que regular con INPC-X no desincentiva la productividad de la empresa dominante en el largo plazo. Sin embargo, otros opinan que el método sí podría desincentivar la productividad en el largo plazo, o al menos podría desincentivar incrementos mayores en la productividad a los que se han registrado históricamente. Por ejemplo, en el caso de telefonía en Gran Bretaña y Estados Unidos existen quejas por parte de los operadores

referentes a los pocos incentivos a la productividad que ofrece el método INPC-X. Este es un punto que se discute mucho en la literatura existente sobre regulación⁵⁴.

3.5

Deficiencias de la regulación INPC-X o “Price-Cap” y otras prácticas anticompetitivas no tarifarias

En esta sección se abordará el problema de los subsidios cruzados entre distintos servicios de una empresa multimercados, y se discutirán otros aspectos regulatorios que no tienen que ver con las tarifas al público.

El primer punto que debe tocarse es el relacionado con la diversidad de costos en distintas regiones del país. Si se tiene solamente un price-cap para todas las zonas del país, y que fue calculado para una línea “promedio”, entonces el price cap no resuelve nada relacionado con la diversidad de costos, y de hecho, es el price-cap el que genera ciertos problemas de oferta, pues en las zonas caras las tarifas calculadas por el price-cap para la línea promedio no son suficientes para recuperar todos los costos. Esto se podría resolver estableciendo price caps distintos para distintas regiones del país, acorde a los costos de cada región, pero esto sólo lograría agravar los problemas de demanda en zonas caras, pues en su mayoría las zonas caras coinciden con zonas pobres, además de que incrementaría los costos administrativos tanto en las empresas como en las instituciones regulatorias y de protección a los consumidores. Además, el espíritu que tiene un mecanismo de servicio universal es que todos los consumidores observen tarifas medianamente similares (independientemente de los costos que afronta la empresa que otorga el servicio), por lo que diferenciar price caps por regiones va en contra de lo que busca un servicio universal. Existen otras formas de resolver este problema multiregional, y se analizan en secciones posteriores de este trabajo, por lo que no es necesario desagregar el price cap para resolver el problema de diversidad de costos.

En una industria multimercados y con características de monopolio natural es posible que la empresa establecida incurra en prácticas anticompetitivas que no sólo comprenden la política tarifaria de la empresa dominante, sino otros tipos de discriminación. El tipo de esta discriminación dependerá mucho de las características de la

⁵⁴ En el libro de Armstrong, Cowan and Vickers, citado en la bibliografía de este trabajo se encontrarán detalles sobre este tipo de discusiones, así como citas bibliográficas adicionales para los lectores que deseen ahondar en este tema.

industria que se analice, pero en general se pueden clasificar en dos grandes rubros: discriminación de información y discriminación en calidad a empresas que requieran de alguno de los productos de la empresa dominante para poder operar.

La discusión sobre prácticas anticompetitivas no tarifarias se centra sobre dos factores: información y calidad. Dado que el operador dominante cuenta con mejor información sobre sus costos que los competidores que requieren de sus servicios intermedios, e inclusive que el regulador, entonces es probable que la empresa dominante se niegue a revelar dicha información (si es que legalmente le es posible hacerlo). Este hecho puede provocar que la empresa fije tarifas para servicios intermedios por encima de sus costos, dificultando así la entrada de nuevos competidores. También la calidad del servicio ofrecido a las empresas que requieran utilizar servicios intermedios es de gran importancia, pues si la empresa dominante puede discriminar en calidad, entonces ofrecerá calidad baja a las empresas entrantes, desplazándolas así del mercado.

Otra práctica anticompetitiva común entre empresas es no cumplir con acuerdos preestablecidos sobre tiempos de entrega a empresas competidoras. Un claro ejemplo de esta práctica la encontramos en el mercado de larga distancia en México, pues las empresas entrantes al mercado de larga distancia han denunciado que Telmex no les entrega los enlaces a tiempo, al igual que ciertos equipos terminales⁵⁵.

Otra práctica común es la de empaquetar servicios. Una empresa sólo empaqueta si desea expandir su participación futura en el mercado, desplazando a sus competidores. Un empaquetamiento generalmente implica pérdidas de ingreso para la empresa que lo realice, así que sólo se podría explicar que una empresa empaquete bienes o servicios si desea desplazar a otros competidores del mercado. Además, el mayor problema del empaquetamiento es que es una manera de crear subsidios cruzados, por lo que hay que regular este tipo de prácticas. El empaquetamiento no necesariamente es un problema a menos de que la empresa que realiza los empaquetamientos sea la empresa establecida en un ambiente de monopolio natural multimercados. Este tipo de empaquetamientos y sus impactos en la estructura tarifaria deben ser regulados para el caso de empresas que gocen de poder de monopolio, pues de otra manera las empresas entrantes no lograrán sobrevivir ante dichas prácticas desleales.

Para continuar el análisis, estudiaremos ahora la posibilidad de que el método INPC-X no excluya del todo la posibilidad de subsidios cruzados:

⁵⁵ Cabe aclarar que Telmex se ha negado a instalar nuevos enlaces debido a que los operadores de larga distancia no le han pagado los adeudos por interconexión, pues se encuentran amparados ante la ley, además de que Temex alega que esto se debe a que sus proveedores le han quedado mal.

Sean \mathbf{P} y \mathbf{V} el vector de precios por unidad de volumen y el vector de volúmenes, respectivamente. El producto punto de los vectores es igual al ingreso total que proviene de los servicios controlados. Supongamos que $(\mathbf{P}*\mathbf{V})_t$ (donde * denota producto punto de vectores) está exactamente en el tope de la canasta establecido por el factor X en el tiempo t . **La empresa regulada podría bajar P_1 (el primer elemento del vector \mathbf{P}) y subir P_2 , de tal manera que el producto $(\mathbf{P}*\mathbf{V})_t$ no cambie. Podría darse entonces el caso de que la empresa enfrente competencia entrante potencial en alguno de sus mercados y aplique precios debajo de sus costos en ese mercado, haciendo inviable la entrada de competidores (si suponemos que los competidores tienen costos iguales a los de la empresa establecida). Entonces, si se desea introducir competencia en varios mercados previamente monopolizados por una sola empresa (sea de privados o del Estado), hay que establecer cláusulas adicionales que no permitan a la empresa establecida poner precios por debajo de sus costos en ninguno de sus mercados⁵⁶.**

En casos como el mencionado en la parte final del párrafo anterior, es deseable sacar al servicio que ya enfrenta competencia significativa de la canasta de servicios regulados, para así forzar a las partes más monopólicas de la empresa dominante a ser más productivas⁵⁷. Sin embargo, esto debe pensarse a fondo si se sospecha que las empresas actúan de forma colusiva, pues entonces está en el interés del regulador el regular la colusión, pues realmente no estaría habiendo una real competencia en el sector.

Otro de los problemas que hay al tener un sistema de "Price-Cap" es que el salto inicial de las tarifas y el factor X decididos en el tiempo t fueron decididos pensando en trayectorias específicas en el tiempo de las tarifas de servicios intermedios, tales como la interconexión para el caso de empresas de telecomunicaciones, por decir uno de los factores. Si por alguna razón, en $t+1$, $t+2$ o $t+n$, la tarifa no es en la realidad la que se usó en los cálculos y proyecciones esperadas en el tiempo t_0 , entonces la compañía podría verse en problemas, pues la duración de la regulación es de 4 años. En general, la duración del price-cap no debe ser pequeña, pues podría presentarse el "ratchett-effect" (analizado anteriormente en el presente capítulo) con mayor intensidad, pero tampoco puede ser

⁵⁶ Para el caso de pisos tarifarios, puede pensarse en el "costo" como el costo TSLRIC, pero excluyendo los costos comunes y compartidos, pues estrictamente hablando no son directamente asignables al servicio. Sin embargo, esta interpretación podría significar que la empresa dominante realice predación de sus competidores. Existe mucha discusión todavía sobre cuándo una empresa ya incurre en prácticas predatorias.

⁵⁷ En este respecto hay un problema: el valor de "X" puede variar para distintos servicios. Por ejemplo, para la industria de telecomunicaciones, el valor de "X" es mayor para el servicio de larga distancia que para telefonía local. Esto se debe a que el aumento en productividad de la conmutación es mucho más rápido que para el transporte, y a que la telefonía de larga distancia utiliza más intensivamente la conmutación que el servicio local. Esto implica que si se deseara sacar a la larga distancia de la canasta de productos regulados, entonces habría que aplicar una tasa "X" menor, pues de otra manera podría quebrarse a la empresa regulada.

demasiado largo, pues el avance tecnológico es a veces imprevisible y una duración demasiado larga podría ser contraproducente. Estos problemas se resolvieron en Estados Unidos introduciendo un “Factor Z”, adicional del factor X en la definición del Factor Controlador del Price-Cap. Este factor Z se utiliza en casos en los que haya discrepancias **preocupantes en las variables macroeconómicas clave para el cálculo del price cap (crecimiento del PIB, inflación, tipo de cambio) entre la previsión del futuro realizado en el pasado y la verdadera evolución de la realidad futura**⁵⁸. Existe mucha discusión sobre el factor “Z”, y muchos economistas creen que no es conveniente su aplicación.

En conclusión, el sistema de precios tope por sí solo no asegura que la empresa dominante no realice subsidios cruzados entre sus servicios, además de que dicha empresa puede discriminar a las empresas entrantes de maneras no tarifarias, mediante prácticas, por ejemplo, como ofrecer menor calidad e información a los competidores que a sí mismo.

3.6

Una posible solución para los problemas relacionados con el poder monopólico:

Regulación de precios tope con pisos tarifarios para cada servicio y regulación adicional y asimétrica sobre información y calidad.

En las secciones anteriores se analizan distintas regulaciones aplicables a empresas establecidas con el fin de limitar el poder que tienen dichas empresas tanto en la fijación de tarifas, así como en otros rubros, tales como discriminación en información y calidad de servicio. Se concluye que el sistema de “Precios-Topes” (“Price-Cap”) no es suficiente por sí solo para lograr controlar las prácticas monopólicas y anticompetitivas por parte de la empresa establecida. Es por ello que deben regularse muchas prácticas anticompetitivas no tarifarias, además de la política tarifaria.

Las prácticas desleales en información, calidad y tiempos de entrega deberán ser reguladas de manera específica para cada industria, y para cada situación particular.

La regulación de los precios al consumidor se obtiene mediante el “Price-Cap”, pues mediante dicho método se asegura que un cliente promedio que consuma un consumo típico de los productos incluidos en la canasta de productos a regular observe tarifas

⁵⁸ Este punto puede hallarse explicado de manera excelente en el artículo de NERA (National Economic Research Association). El artículo “Does Ownership or Competition Matter? : The effects of Telecommunications Reform on Network Expansion and Efficiency”, escrito por Agustín Ross de NERA, Kluwer academic papers, 1999, explica detalladamente el problema de las empresas de telecomunicaciones y

menores año con año, según el avance tecnológico prevaleciente en la industria. Sin embargo, este método no excluye la posibilidad de que la empresa dominante realice subsidios cruzados entre distintos servicios y aún así cumplir con los requisitos del “Price-Cap”. Por ello es necesario establecer pisos tarifarios para los servicios. Existe todavía **discusión sobre dónde establecer dichos pisos, y tiende a pensarse en la literatura que los costos TSLRIC calculados con metodología scorched node forward looking (pero excluyendo algunos de los costos comunes y compartidos) son los mejores para el establecimiento de pisos tarifarios por servicio.** Existe la posibilidad de que establecer el piso en dicho nivel haga posible que el establecido imponga precios que podrían ser interpretados como precios predatorios. Por otro lado, establecer los pisos incorporando los costos comunes y compartidos podría generar una situación en la que el establecido tenga muy poca libertad tarifaria, pues si el price cap se calculó correctamente entonces el techo para todos los servicios es muy similar a la suma de los TSLRIC, incorporando los costos comunes y compartidos. Entonces, el techo estaría demasiado cerca de los pisos, y se tendría una situación de muy poca libertad tarifaria para el establecido, cosa que no es necesariamente buena para un proceso de competencia, además de que sería un mecanismo que dependería demasiado de los modelos de costeo (y de los errores que podrían contener) con los que se establezca el price-cap y los pisos tarifarios. Además, esta situación podría provocar que sea imposible lograr Ramsey-Prices.

En conclusión, es por esto que debe introducirse regulación que proteja a los consumidores de prácticas monopólicas, además de regulación tarifaria adicional, en la cual **se especifique que la empresa dominante no deberá ofrecer ningún servicio por debajo de sus costos con el fin de desplazar a los competidores actuales o potenciales, y regulación específica de calidad e información a la empresa dominante para evitar lo más posible prácticas depredatorias no tarifarias por parte de las empresas establecidas.**

en el mundo, y su análisis aplica también a petroquímica y ductos, pues este tipo de industrias muestran grandes costos decrecientes a escala.

3.7

La importancia de las tarifas de interconexión y del nivel óptimo de desagregación de estas y otras tarifas.

La metodología TELRIC y la desagregación de la red (“ unbundling”).

En esta sección se abordarán temas relacionados con las tarifas que deberán cobrarse entre empresas por el uso de sus respectivas redes, y con el nivel óptimo de desagregación de dichas tarifas para lograr el establecimiento de incentivos correctos a la inversión en cualquier región del país.

Dicha “desagregación” (o “ unbundling” en inglés) se refiere al establecimiento de tarifas para los distintos elementos de la red desagregados, de manera que las empresas competidoras utilicen sólo los elementos de la red que necesitan, y no paguen por partes de la red que no usan. Si las tarifas de interconexión no se encuentran suficientemente desagregadas, se generarán incentivos adversos a la inversión, pues algunas empresas estarán pagando por elementos de red que no utilizan, mientras otras empresas podrían no estar pagando por todos los elementos de la red que necesitan. Además, se podrá bloquear la entrada de competidores más fácilmente que con tarifas desagregadas.

Las tarifas de interconexión son generalmente asociadas a las redes de telecomunicaciones. Sin embargo, el mismo concepto puede expandirse a otro tipo de redes de distribución, tales como redes de distribución de agua potable, drenaje o gasoductos entre otras. Por ello, el análisis que aplica para redes de telecomunicaciones es fácilmente aplicable a otras redes.

Las tarifas de interconexión son los precios a los que una empresa ofrece el servicio de tránsito a otra empresa por el uso de una sección de su red. En el caso de empresas que ofrecen el servicio de telefonía local, las tarifas de interconexión son los precios cobrados a otras empresas por la provisión del servicio de transporte de la llamada generada en la red de otro operador hasta el usuario final de destino (o de origen, cuando la llamada vaya en el sentido inverso). En el caso de redes de distribución de agua potable, la tarifa de interconexión puede asociarse al cobro que una empresa que posee un ducto debe cobrar a otra empresa que desee transportar un fluido mediante el uso de la red de ductos de la primera empresa.

La existencia de dichas tarifas es de crucial importancia, pues de esta manera se hace menos posible que se dupliquen ineficientemente partes de la red que ya existen, y que deben ser compartidas por varias empresas para no generar duplicación ineficiente de infraestructura que sólo generará problemas de costos altos en el futuro para el totalidad de

la industria. Es por esta razón que el nivel al que se fijen dichas tarifas es de fundamental importancia, pues si se fijan a un nivel demasiado alto se generan incentivos para la duplicación ineficiente de la red, pues los operadores desearán construir redes propias en vez de pagar tarifas demasiado altas a otro operador. Si las tarifas se fijan a un nivel demasiado bajo, entonces no hay incentivos suficientes para expandir la red hacia puntos donde no hay cobertura, además de que se generan incentivos para desmantelar las redes ya existentes.

Para evitar los efectos negativos mencionados arriba, las tarifas de interconexión deben reflejar el costo que se genera por el uso de los elementos de la red que son utilizados por los operadores que desean interconectarse a la red de otro operador. Evitaremos aquí repetir lo que se entiende por "costo", pues esta problemática ya fue abordada en secciones anteriores de este trabajo, y se sobreentenderá que "costo" significa "costos scorched node forward looking".

En el caso de telecomunicaciones en México, sólo existe una sola tarifa de interconexión local para telefonía fija (existen otras tarifas para telefonía inalámbrica móvil, pero son la misma tarifa para cualquier región del país). Esto quiere decir que una compañía que ofrezca servicios de telefonía local recibirá el mismo pago si se encuentra en zonas baratas (ciudades) que en zonas caras (zonas rurales), o si el operador que desea interconectarse se conecta a una central que no es la de destino o si se conecta directamente en la central de destino. Lo que esto implica es que la política tarifaria de interconexión actual en México no refleja realmente el costo que tiene cada región, por lo que dicha política genera incentivos adversos de diversa índole, y esto se debe a que no existe una desagregación adecuada de dichas tarifas.

Por "desagregación" debemos entender tanto desagregación por zona geográfica, como desagregación por elementos de red utilizados⁵⁹. De hecho, si la desagregación se realiza correctamente, entonces existirán elementos de la red que reflejen un alto costo (como los enlaces y conmutadores en zonas remotas, que tienen un costo por minuto muy alto), así como elementos de red que reflejen un costo bajo (conmutadores y transmisión en grandes urbes, por ejemplo). Por ello, cada empresa pagará a la empresa que posee la infraestructura el real costo que se afronta para lograr llegar hasta localidades muy distantes y pequeñas, estableciendo así incentivos correctos a la inversión en todas las regiones del país en vez de contar con 400 tarifas distintas, una para cada región. Es decir: el problema

⁵⁹ En la literatura en inglés el término que se utiliza es el de "unbundling". Dicho "unbundling" generalmente se ha aplicado para la sección sensible al uso de la red, pero conforme la competencia en la telefonía local aumenta, se hace necesario realizar unbundling inclusive en los elementos no sensibles al uso de la red. Este proceso recibe el nombre de "local loop unbundling", y será de radical importancia en el futuro cuando la competencia en el mercado local arrecie.

de diversidad de costos dependiendo del area de servicio local puede ser resuelto mediante la desagregación de la actual tarifa de interconexión en sus componentes de red suficientemente desagregados, en vez de estableciendo una tarifa distinta a cada región. Dichos componentes podrían ser de 8 a 10 para una red de telecomunicaciones (en vez de **400. que es el numero aproximado de areas de servicio local telefónico**): **Conmutación Tandem. Conmutación End-Office. Equipos Remotos. Transporte y Multiplexores/ADM's.** diferenciando dos categorías para cada uno de estos equipos: "grande" o "chico". lo cual generalmente se asociará con "urbano" o "rural".

Además de los problemas que genera una sola tarifa para todas las zonas del país (incentivos a sobreinvertir en las ciudades y subinvertir en zonas rurales), en México se tomó la decisión de establecer tarifas de interconexión inclusive por encima del costo promedio para todas las regiones del país. Esto se hizo con el fin de realizar un subsidio cruzado que proviene de las empresas de larga distancia y de telefonía móvil, y que se dirige hacia las empresas que ofrecen el servicio de telefonía local (sin discernir entre telefonía residencial o comercial), pues se deseaba establecer tarifas residenciales para los elementos no sensibles al uso (renta básica) por debajo de los respectivos costos. Es decir: para financiar rentas básicas por debajo de costos, se estableció un mecanismo de subsidio implícito mediante tarifas de interconexión excesivamente altas. Tal y como se explicó antes, esta política solamente logra agravar las distorsiones que se generan por no desagregar dichas tarifas, pues los incentivos a sobreinvertir en las ciudades aumentan aún más y los problemas de subinversión en zonas demasiado caras realmente no se resuelve, pues incluso a estos altos niveles tarifarios no se logra recuperar los costos en muchas **zonas caras.**

A primera vista, parecería una buena opción de estrategia tarifaria el establecimiento de rentas básicas por debajo del costo para lograr aumentar la demanda, especialmente en zonas pobres. Sin embargo, si el mecanismo de financiamiento para dicha política social se realiza mediante tarifas de servicios intermedios por encima de los costos y sin desagregación suficiente, lo que se logra es que la introducción de competencia se realice de manera sumamente ineficiente, pues se duplican redes en las ciudades (donde ya existen) y se acentúa el problema en zonas rurales, pues nadie invertirá en dichas zonas, y quienes ya se encuentren ahí observarán incentivos cada vez mayores para eliminar redes en dichas zonas, o, en el mejor de los casos, no invertir más en la expansión de las redes en zonas rurales. Además, al arreciar la competencia en las zonas urbanas se experimentará con mayor fuerza tendencias a la baja en las tarifas al público urbano, eliminando así los recursos que actualmente existen para subsidiar a las zonas rurales, lo que agrava aún más la problemática observada en zonas caras y pobres.

3.7.1

La metodología de costeo TELRIC.

Para resolver el problema de incentivos adversos a la inversión por parte de las empresas entrantes en distintas regiones del país deben establecerse tarifas desagregadas en todos los elementos de la red (sea ésta una red de telecomunicaciones o de distribución de fluidos). Este método recibe el nombre en la literatura de "TELRIC" (Total Element Long Run Incremental Cost), y consiste en costear cada elemento de la red, para que sean pagados exclusivamente por las empresas que los utilicen, y acorde al uso de dichos elementos por parte de las empresas.

Dicho costo TELRIC puede estimarse con cualquier metodología (scorched node, scorched earth, costos forward-looking, etc), y puede incorporarse la proporción de costos comunes o compartidos. Es una especie de TSLRIC, pero en este caso el "servicio" sería un elemento de red, en vez del total de los elementos de red utilizados por un "servicio". Tal y como se mencionó anteriormente, una metodología scorched node con costos forward looking es probablemente la más indicada para realizar el ejercicio de costeo TELRIC. De esta manera se evita que empresas que no utilizan ciertos elementos de la red no paguen por ellos a la otra empresa, y que las empresas que se encuentren en zonas caras sean retribuidas adecuadamente acorde al uso de las partes caras de su red de distribución.

El problema que surge aquí es definir qué se va a entender por "elemento de la red", pues la desagregación se podría llevar a un grado absurdo, como costear inclusive los tornillos y las horas-hombre empleadas por los operadores de las centrales telefónicas o de los empleados dedicados al mantenimiento de los ductos, lo cual resulta ser obviamente absurdo y excesivamente costoso. Sin embargo, se pueden definir los "elementos" de la red con suficiente desagregación como para destruir los incentivos adversos que generan tarifas no desagregadas, sin llegar a absurdos que también generarían costos de administración demasiado altos por esta excesiva desagregación.

Podría pensarse entonces que el método TELRIC es la panacea, sin embargo, el método TELRIC no resuelve el problema de demanda en zonas caras, y de hecho podría aumentar dicho problema, pues las empresas desearán pasar a los consumidores los costos altos mediante tarifas más altas para dichas zonas caras. Este no necesariamente sería un problema si las zonas caras no coincidieran con las zonas pobres, pero en México éste es un problema que existe, y que no se resolverá ni en el mediano ni el largo plazo en ausencia de regulación adicional a la ya existente.

En resumen: las tarifas de interconexión deben ser desagregadas de manera que reflejen los costos de los elementos de la red que son utilizados por las distintas empresas, para lograr que todas las empresas reciban los incentivos correctos y se logre así evitar la duplicación ineficiente de redes en las zonas urbanas y de subinversión en las zonas rurales. **Sin embargo, esta desagregación debe estar acompañada por regulación adicional que evite que los usuarios establecidos en zonas caras afronten tarifas mucho más altas que las que afrontan usuarios urbanos. En la siguiente sección se estudian maneras de lograr marcos regulatorios que intentan corregir esta problemática.**

3.8

La solución al problema de economías de densidad, de los inconvenientes de la metodología TELRIC, de bajo ingreso en zonas rurales y de introducción de competencia al mercado local: Mecanismos de Servicio Universal

En esta sección encontraremos una manera de hacer compatible la entrada de competidores (que son los que pueden incorporar las tecnologías de punta con mayor facilidad, pues no cuentan con redes instaladas con tecnología más vieja) con el aumento de la penetración de los servicios telefónicos (o de distribución de agua, drenaje, gasoductos u otros problemas de distribución de sustancias mediante ductos) en zonas de alto costo, que por desgracia coinciden con las zonas de menor ingreso en México

El problema tiene dos caras: una relacionada con la oferta y otra con la demanda. Analizaremos ambos lados de la moneda para encontrar el esquema regulatorio óptimo para este tipo de problemas.

El problema de oferta se debe en parte a la existencia de economías de densidad y a que existe una sola tarifa para todas las zonas del país, sean éstas caras o baratas. Una de las posibles maneras de resolver este problema sería la desagregación tarifaria entre distintas zonas, como por ejemplo mediante el establecimiento de tarifas estilo TELRIC, con el fin de que aquellos individuos que viven en zonas caras o empresas que pagan interconexión paguen más por los servicios que se les ofrecen. Esta solución, paradójicamente, sólo lograría agravar todavía más el problema de oferta, y se debe a que en esas zonas existen también problemas de demanda, pues son zonas donde la gente tiene bajos ingresos. Si se aumenta el precio de dichos servicios a los habitantes de estas zonas, muy probablemente muchos usuarios actuales decidirán cortar el servicio debido a los precios más altos. Al

pasar esto, el número total de teléfonos en dichas localidades disminuirá, y con ello el costo por línea aumentará aún más, entrando así en un círculo vicioso con pocas posibilidades de solución. Entonces, establecer tarifas mediante el método TELRIC no resolverá del todo el **problema de oferta, y muy probablemente agrave el problema de demanda a menos de que exista un programa específico de subsidios a zonas caras.**

Por otro lado, el problema de la demanda es más difícil de atacar, pues exige aumentar el ingreso de las personas que habitan en dichas zonas. Definitivamente aumentar las tarifas a dichos usuarios no resolvería el problema de demanda, pues su pobreza se debe, al menos en parte, a la ausencia de servicios que permitan el desarrollo de sus comunidades. Entre estos servicios, los servicios de telecomunicaciones y de agua potable y drenaje son de peculiar importancia, y, por ejemplo, en los países más desarrollados del mundo se habla mucho de cómo resolver el problema del "digital divide", pues saben que mientras más aislada se encuentre una comunidad y menor acceso tenga a servicios avanzados de comunicación como el Internet, menores probabilidades de desarrollo tendrá en un mundo cada vez más cibernético. Debido a esto, el aumento de tarifas para que reflejen los costos TELRIC definitivamente no resolverá el problema de la demanda y meterá a las comunidades aisladas en un círculo vicioso de falta de oportunidades de desarrollo.

El avance tecnológico resolverá eventualmente este problema, pues al bajar los costos de la tecnología se hará más viable la inversión en zonas donde antes no era rentable invertir, sin que necesariamente aumente el ingreso de las zonas problemáticas. Sin embargo, conforme se dé el avance tecnológico se sabe que las empresas atacarán primero el mercado de bajos costos (las ciudades), y al incrementarse la competencia en las ciudades se hará menos posible mantener el actual esquema de subsidios implícito en el sistema tarifario actual (una sola tarifa para todas las zonas), por lo que el avance tecnológico por sí solo tampoco resolverá en el mediano plazo los problemas de demanda de las zonas problemáticas.

La solución a este problema radica en establecer tarifas estilo TELRIC para los pagos que deben hacerse entre distintas empresas, pero también en no aumentar las tarifas a los usuarios finales en las zonas caras (que coinciden con las zonas de bajo ingreso) y no bajarlas a los usuarios finales en zonas baratas, sino en establecer mecanismos de incentivos para que las empresas entrantes ataquen tanto a los mercados urbanos como a los rurales. Inclusive, dicho programa de incentivos podría incluir esquemas de descuentos tarifarios temporales que incentiven un aumento en la demanda en las zonas problemáticas. Al aumentar ésta y aumentar la densidad telefónica, los costos por línea disminuirán, resolviendo así poco a poco el problema de oferta. De esta manera se lograría un círculo

virtuoso, pues disminuirían tanto los problemas de oferta (pues todas las empresas recibirán pagos justos independientemente de dónde se encuentre su red) como los problemas de demanda y eventualmente los problemas de bajos ingresos de la población, pues se sabe que el ingreso está altamente ligado con la penetración de servicios como los de **telecomunicaciones, de agua potable, drenaje y otros servicios básicos.**

Para lograr dicho esquema de incentivos y hacerlo compatible con la introducción de competencia existen dos mecanismos generales:

- 1) Establecimiento de obligaciones específicas de cobertura social en las concesiones otorgadas a las empresas deseosas de entrar al mercado y a las establecidas.
- 2) Establecimiento de esquemas de financiamiento y de subsidios para las empresas que doten dichos servicios en las zonas problemáticas. Dichos esquemas de financiamiento consisten, por ejemplo, en cobros a la totalidad de las empresas relacionadas con el servicio que se desee financiar, con el fin de repartir dichos ingresos entre las empresas que doten los servicios en zonas problemáticas. Dichos ingresos pueden, y deben, ser complementados con ingresos provenientes de las áreas del Estado, pues parte de la problemática es de índole social y de fallas de mercado en libre competencia, por lo que el Estado debe intervenir, al menos en parte, para resolver este problema. Sin embargo, esta problemática debe abordar problemas de política pública que no han sido analizados en este trabajo.

Ambos mecanismos pueden lograr resultados tangibles en poco tiempo, y son conocidos en la literatura como **Mecanismos de Servicio Universal (o de acceso universal en fases tempranas de la expansión de la red)**, pues su objetivo es lograr que cualquier persona tenga acceso a los servicios de se desea dotar a precios razonablemente similares en todas las zonas del país. En México existen regiones donde el problema de acceso ha sido prácticamente resuelto (grandes zonas urbanas), pero también existen muchas otras donde todavía debe pensarse en el acceso universal más que en el servicio universal.

Los mecanismos arriba propuestos generarán una amplia oposición tanto de las empresas establecidas como de las empresas por establecerse. Las empresas establecidas mostrarán oposición a dichos mecanismos porque implican o gastos no previstos (debido a obligaciones de cobertura más estrictos), o/y la participación de un tercero que maneje las transferencias de recursos entre las zonas urbanas y las rurales (pues dichas transferencias son realizadas actualmente por la propia empresa establecida). Las empresas entrantes se opondrán a ambos mecanismos, a menos de que sean establecidos ANTES de que dichas empresas hayan comenzado a invertir. El problema actual de México es que las empresas

entrantes al mercado de telecomunicaciones ya han comenzado a invertir y tienen comprometidas inversiones de miles de millones de dólares, casi todas estas inversiones siendo canalizadas a las grandes ciudades y rara vez a las zonas rurales.

Por las razones antes descritas, los mecanismos de servicio universal deberán ser impuestos por el Estado a las compañías, y deberían ser parte del Plan Nacional de Desarrollo de México.

Es importante entonces el establecimiento de un programa de financiamiento que cubra los costos en las zonas caras y/o de bajo ingreso, y debe entenderse por "costo" a la depreciación, costos de capital, costos de operación y mantenimiento de la red y costos comunes y compartidos. Como se mostró anteriormente, existen problemas de costos altos en cualquier localidad con menos de 5,000 teléfonos instalados y en operación. Ello implica que todas las ciudades con menos de 50,000 habitantes⁶⁰ tendrán problemas de costos altos. Por ello, el problema no es exclusivamente rural, y afecta a ciudades de tamaño relativamente grande también.

3.8.1

El mecanismo de subastas inversas como opción para determinar el monto óptimo de subsidio por regiones

Tal y como se mencionó anteriormente, una de las opciones para resolver el problema generado por las economías de densidad y por la baja demanda en ciertas zonas consiste en otorgar a cualquier empresa que posea líneas en operación y funcionando en dichas zonas un subsidio mensual que sea suficiente para que la empresa logre recuperar, junto con las tarifas que cobra a usuarios finales y a otras empresas (interconexión, entre otros), el costo mensual en que incurre para proveer los servicios. Una de las maneras de obtener el monto de dicho subsidio es mediante el resultado de una subasta inversa, en la que las empresas hacen pujas por el menor subsidio posible. El problema con esta técnica es que podrían haber pocas empresas interesadas en pujar en zonas, por lo que el resultado de una subasta podría no ser el deseado, siendo lo deseado que las empresas revelen sus costos al hacer una puja. En teoría, dichas subastas revelarían el verdadero costo afrontado por las empresas, pues el monto de subsidio es la diferencia entre los costos y los ingresos esperados. Si se tiene una idea del monto de ingresos mensuales esperados por región,

⁶⁰ Si la teledensidad en México es de 10 tels/habitante, 5000 telefonos implica localidades de 50,000 habitantes.

también se puede entonces estimar los costos a partir de los resultados de una subasta inversa. Esto es importante, pues cada tipo de tecnología tiene un costo asociado, por lo que en una subasta de este estilo debería ganar la empresa con menores costos (con tecnología más barata para dichas zonas).

Una de las cosas que es necesario establecer para evitar colusión por parte de las empresas en la subasta es el establecimiento de un tope al monto máximo de subsidio. Dicho monto máximo se puede obtener de modelos de costeo. El problema que surge aquí es que cada tecnología (alámbrica, inalámbrica, etc) tiene un costo asociado, por lo que existirían varios "techos" de subsidio, y el regulador deberá escoger entre alguno de ellos como el máximo otorgable. Esto puede generar problemas graves, pues si el modelo de costeo del regulador es demasiado exigente, o si la estimación de ingresos resulta subestimada, entonces el monto máximo de subsidio no será suficiente para cubrir los costos, y entonces no habrán empresas interesadas en pujar (y las que pujen se encontrarán tarde o temprano con la incosteabilidad de dichas líneas). Por otro lado, si el regulador escoge como techo el relacionado a la tecnología demasiado cara, entonces podría existir la posibilidad de estar incentivando la entrada de empresas no eficientes a dicho mercado.

Por otro lado, conforme pase el tiempo y se lleven a cabo las subastas y se comience a recopilar información para varias regiones distintas en el país, empezará a ser evidente si los montos máximos son adecuados o no. Si el monto es demasiado alto, demasiadas empresas desearán pujar, y el monto máximo no "morderá". Esto, en teoría, logrará que el resultado de la subasta se acerque más a lo deseable, y hará más posible que se revelen los costos que realmente afrontarán las empresas por la provisión de dichos servicios. Si se observa entonces que existen muchos pujantes y que el monto máximo de subsidio en realidad no "muere", será claro que el monto máximo de subsidio fue demasiado alto. Por otro lado, si el subsidio máximo es demasiado bajo, sencillamente no habrán empresas interesadas en pujar en dichas regiones, por lo que se revelará inmediatamente que el monto máximo es demasiado bajo. Por estas razones, no es un problema demasiado grave que el monto máximo de subsidio sea demasiado alto al inicio del programa de subsidios (que es el momento en que se cuenta con menor información), pues esto incentivará la entrada de más empresas a la puja, haciendo así que el resultado de la subasta inversa se acerque más a lo deseable.

Además, se pueden diseñar subastas cuyo resultado se acerque más a lo deseable a pesar del número limitado de participantes, como una subasta en la que el ganador de la subasta sea el que puja por el menor monto de subsidio, pero recibe un subsidio equivalente al monto establecido en la segunda menor puja. Conforme se recopile información de las

subastas realizadas, el método de subsidios máximos se irá perfeccionando, logrando así que las pujas realmente reflejen los costos en que incurrirán las empresas en el futuro.

El mecanismo de subastas debe ser permanente, y deberán volverse a subastar los subsidios año con año para todas las regiones, pues conforme se instalen líneas adicionales los costos por línea tenderán a bajar, y con ello tenderá a bajar el monto de subsidio por línea. También es necesario recalcar que es mejor establecer un subsidio a los costos que establecer un subsidio a la inversión, pues si se subsidia la inversión pero no los costos de operación y mantenimiento de las redes se puede caer en una situación no deseable de mala calidad, o, de plano, caer en una situación en la que las redes no sirvan por falta de mantenimiento. Habría que recordar que por lo general zonas donde es necesaria una inversión inicial alta por línea serán zonas donde el mantenimiento de las líneas será también demasiado caro.

El subsidio, por otro lado, probablemente provendrá de varias fuentes, como pueden ser cobros especiales a las empresas acorde a su ingreso, recursos de las áreas del Estado y recursos propios de las empresas (inversiones), y deberá ser monitoreado por un tercero que administre los recursos y que aplique sanciones, además de que debe contarse con un marco jurídico adecuado que impida que recursos que deberían dedicarse al subsidio terminen siendo destinados a otros fines. Sin esta certidumbre jurídica será altamente probable que el mecanismo de subsidios para servicio universal no funcione adecuadamente y termine por no resolver o complicar aún más la situación en zonas problemáticas. Por estas razones, el análisis sobre el servicio universal debe llevarse a un contexto más amplio, donde se discutan las implicaciones de política pública y la mejor manera de financiar dicho programa.

3.8.2

Sobre la manera de entregar el subsidio para lograr un Mecanismo de Servicio Universal eficiente

En esta subsección se analiza la mejor opción para entregar el subsidio a las empresas que posean líneas (o tuberías) en zonas problemáticas, para no generar patrones de consumo indebidos. Primero, el subsidio deberá otorgarse de manera diferenciada, de manera que se cubran los costos no sensibles al uso por un lado y los sensibles al uso por otro lado. Si el subsidio se entrega a la totalidad de los costos (es decir, por línea, sin diferenciar entre costos sensibles al uso y no sensibles al uso), podría generar incentivos

adversos de consumo por parte de los usuarios finales y de las empresas que requieran utilizar el servicio de interconexión (generalmente asociado con los costos sensibles al uso). En otras palabras: una parte del subsidio debe entregarse a las empresas que no logren cubrir los costos no sensibles al uso de su red, y debe entregarse de una manera no sensible al uso (un pago mensual, no sensible al uso, por ejemplo); y otra parte del subsidio debe entregarse de manera sensible al uso, y debe servir para cubrir los costos sensibles al uso no cubiertos por tarifas a clientes finales y a otras empresas.

Por ejemplo: si una empresa de larga distancia posee una troncal de transmisión hacia una localidad rural, entonces deberá pagar al operador local una tarifa de interconexión alta, debido a que las tarifas de interconexión local deben ser de tipo TELRIC para resolver el problema de costos del operador local. Sin embargo, y dado que no se desea que las compañías ni locales ni de larga distancia diferencien tarifas a los usuarios finales, entonces la empresa de larga distancia tiene un doble problema, pues posee la troncal de transmisión hacia la localidad rural de destino (por lo que es una troncal muy cara por minuto de uso), y además debe pagar interconexión alta al operador local. Como no es deseable diferenciar tarifas a los usuarios finales (debido a los problemas de demanda), entonces la empresa de larga distancia no logrará recuperar sus costos. Por ello, el mecanismo de servicio universal debe proveer recursos a la compañía de larga distancia mediante un pago sensible al uso para lograr que esta empresa pueda afrontar tanto sus costos propios como los pagos de interconexión al operador local.

Por otro lado, el operador local sólo será retribuido adecuadamente por los costos sensibles al uso (mediante tarifas TELRIC) por parte del operador de larga distancia, pero probablemente siga teniendo problemas de costos en la parte no sensible al uso de su red. Por ello, además de recibir pagos por parte de la empresa de larga distancia (que será subsidiada de manera sensible al uso por parte del mecanismo de servicio universal) mediante tarifas TELRIC, deberá recibir un subsidio para cubrir los costos no sensibles al uso⁶¹ de su red. Entonces, el mecanismo de servicio universal debe contemplar tanto a operadores “locales” como a operadores de “larga distancia”, y además debe contemplar por separado los subsidios sensibles al uso y los no sensibles al uso.

Por otro lado, hasta ahora solo hemos visto cómo quedarían los flujos de subsidios entre las empresas, pero también es importante pensar en cómo se verá este mecanismo desde el punto de vista del consumidor final. Dicho consumidor verá en su recibo tanto lo que se le va a cobrar como el monto de subsidios asociados con los costos en los que realmente se

⁶¹ Vale la pena aclarar aquí que la diferencia entre una red de larga distancia y una red local es absolutamente arbitraria, pues las áreas de servicio local son definidas por cuestiones que poco o nada tienen que ver con diferencias reales entre las redes. Ambas redes consisten en conmutadores y líneas de transmisión, por lo que deben ser tratadas de manera similar por un programa de subsidios.

incurre para darle el servicio. Es importante que el usuario final no identifique los subsidios sensibles al uso que se le hacen a su empresa, pues si no tenderá a utilizar la red de manera ineficiente. Deberá pensarse en realizar un agregado de los subsidios recibidos por cada empresa en cada región y distribuirlos de manera lump-sum entre los clientes finales a subsidiar, para que de esta manera no identifiquen los clientes finales el subsidio sensible al uso (que es necesario para la empresa que les dota el servicio) y utilicen la red de manera más eficiente acorde a sus costos. De esta manera se asegurará que en todas las regiones del país todos los usuarios finales paguen tarifas similares, además de que se les estaría informando en qué tipo de zona viven (zonas caras o baratas), haciendo más explícito el mecanismo de subsidios entre zonas urbanas y no tan urbanas.

En resumen: el mecanismo de servicio universal debe contemplar tanto problemas de costos no sensibles al uso como problemas de costos sensibles al uso por separado para lograr hacer compatible el establecimiento de tarifas TELRIC con la permanencia de la competencia en todos los servicios ofrecidos por la red. Por otro lado, el consumidor final no debe percatarse del subsidio sensible al uso que recibe su empresa, por lo que el establecimiento de subsidios tipo lump-sum al consumidor final hará que de esta manera se eviten comportamientos ineficientes de consumo tanto por parte de las empresas como por parte de los consumidores finales.

CONCLUSIONES

En conclusión, probablemente la mejor manera de resolver los problemas generados por las economías de densidad y de bajos ingresos de la población en las zonas caras sea el establecimiento de tarifas TELRIC para cobros inter-empresas, además de establecer regulación adicional referente a un mecanismo de servicio universal cuyo objetivo sea el de cubrir los costos sensibles al uso y no sensibles al uso de cualquier empresa que dirija u origine tráfico en zonas problemáticas, para lograr así el establecimiento de incentivos correctos a la inversión en todas las zonas del país, al mismo tiempo de que se asegurará que cualquier usuario afrontará precios finales similares (o inclusive descuentos) en todas las regiones, sin importar el costo.

Esta es una regulación que se puede construir mediante una mezcla entre las propuestas arriba descritas: obligaciones específicas de cobertura, cobros a las empresas que doten el servicio en las ciudades para transferirlos a las empresas que doten servicios en zonas caras, transferencias de dinero del Estado a empresas que doten servicios en zonas caras, e inversiones que el Estado mismo realice en las zonas problemáticas. Además, es necesario proteger a los usuarios finales mediante un price-cap aplicado a todo el país, sin diferencias regionales, pues no es deseable diferenciar las tarifas al usuario final de manera regresiva en el ingreso.

México ataca ya el problema de las zonas rurales, pues de hecho ya existen programas de apoyo a la telefonía pública rural, pues actualmente la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tiene ya un programa de coinversión con empresas de telefonía (mayoritariamente inalámbricas) para lograr penetrar en localidades cada vez con menor población. Dicho programa de telefonía rural ha sido un éxito hasta el momento y ha logrado la instalación de teléfonos públicos en todas las localidades con más de 250 habitantes, pero aún falta el establecimiento de los mecanismos de incentivos para que las empresas, en relativa libre competencia, inviertan por sí solas en telefonía residencial y comercial (y no sólo pública) en las zonas problemáticas.

Estos esquemas de Servicio Universal deberán establecerse lo antes posible, pues mientras más se espere, mayores serán las inversiones comprometidas y mayor será la oposición al establecimiento de dichos mecanismos, además de que se postergarán las oportunidades de desarrollo para las comunidades más necesitadas del país. Resultados

preliminares del modelo de estimación de subsidios⁶² estiman que actualmente se podría establecer un mecanismo de servicio universal sin que ello signifique incrementar las tarifas al usuario final. Esto es así porque aunque el sector residencial tiene un déficit apreciable, el sector comercial tiene un superávit que más que cubre el déficit residencial⁶³. Si esperamos demasiado tiempo, las tarifas en el sector comercial tenderán a bajar significativamente, aumentando así el monto de subsidio que será necesario. Por ello, conforme más se espere, mayor oposición política habrá al proyecto, pues implicará una subida en las tarifas a los clientes finales.

Otra solución trivial a esta problemática sería la expropiación o nacionalización de todas las empresas y que el Estado realice por sí mismo los esquemas de financiamiento a zonas problemáticas. Sin embargo, esta solución está descartada debido a la falta de recursos del Estado, pues fue precisamente por esta razón por la que se decidió privatizar dichos servicios e introducir competencia entre empresas para incentivar la introducción de tecnologías de punta y de menores costos.

Por otro lado, para fines de hacer más eficiente el cobro de tarifas entre empresas competidoras es necesario establecer tarifas desagregadas estilo TELRIC, pues de esta manera se hace más transparente y justo el cobro que una empresa debe hacer por dotar servicios de tránsito a otras empresas y a distintos usuarios, además de que se establecen los incentivos correctos a la inversión en todas las zonas del país por parte de las empresas. Sin embargo, este acto regulatorio debe ir acompañado de otros mecanismos de subsidio, pues en ausencia de un mecanismo de servicio universal la introducción de competencia no sólo podría generar incentivos a la duplicación ineficiente de redes en zonas donde ya existen redes, sino que además podría hacer más inviable la inversión en zonas caras, pues la fuente de financiamiento para dichas zonas caras son las zonas baratas, que es precisamente donde están entrando las nuevas empresas. La competencia en las zonas baratas tarde o temprano producirá que las empresas ofrezcan tarifas menores al público urbano, destruyendo así poco a poco el esquema actual de financiamiento para las zonas de costos altos, que por desgracia coinciden en muchas zonas con las zonas de bajo ingreso.

Al establecer un mecanismo de servicio universal adecuado se establecen incentivos a la inversión en zonas donde en ausencia de dicha regulación no se observarían inversiones

⁶² Modelo construido por la Dirección de Modelos de Costos y de Análisis de Interconexión de la COFETEL durante 1999, a cargo de Andoni Garriz Cruz. Dicho modelo arroja resultados consistentes con los resultados de otros modelos aceptados internacionalmente para la evaluación de subsidios, tales como el modelo Hatfield y el HCPM de la FCC.

⁶³ Vale la pena destacar que este ejercicio se hizo cuando la tarifa de interconexión local estaba en 32 centavos de peso, mientras que ahora se encuentra en 1.25 centavos de dolar (es decir, como 11 centavos de

por parte de las empresas. Dado que es precisamente en esas zonas donde no hay redes actualmente, el mecanismo de servicio universal desincentiva la duplicación ineficiente de infraestructura en zonas urbanas (pues de ahí se obtendrían los recursos para financiar las zonas caras) e incentiva la penetración de servicios donde ahora no existen, resolviendo así poco a poco tanto el problema de oferta como el problema de demanda en zonas problemáticas, ofreciendo así mejores oportunidades de desarrollo para todas las zonas del país y no solo para las zonas urbanas.

Es cierto que muchas veces un mercado sin regulación funciona mejor que un mercado mal regulado, pero sin duda un mercado bien regulado funciona mejor que cualquiera de las otras dos opciones.

peso). Ello implica que el ingreso local por línea ha disminuido desde que se realizó este estudio, lo que implica un mayor déficit en el sector residencial y un menor superávit en el comercial.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

- Bird, Byron , et al. Transport Phenomena, Ed Mc Graw Hill. 1960
- Castellan. Physical Chemistry. Mc Graw Hill. 1992
- Valiente, Antonio, Noriega, Jaime. Manual del ingeniero químico. Ed. Limusa. 1993
- Perry. Chemical engineer's handbook. Mc Graw Hill. 1973
- Tirole, Jean. The theory of industrial organization. The MIT Press. 1995
- Laffont, Jean-Jacques, Tirole, Jean. Competition in telecommunications. The MIT Press. 2000
- Tesler, Lester. A theory of efficient cooperation and competition. Cambridge University Press. 1990
- Mueller, Milton. Universal Service: Competition, Interconnection, and Monopoly in the Making of the American Telephone System. AEL Studies in Telecommunications Deregulation. 1997
- Varian, Hal. Microeconomía Intermedia. Antoni Bosch Editor. 3a edición. 1994
- Mas-Colell, Andreu, et al. Microeconomic Theory. Oxford University Press. 1995
- Armstrong, Mark, et al. Regulatory Reform: Economic analysis and British experience. The MIT press. 1997
- Lewin, David, Kee, Richard. Interconnect: a global guide to effective telecommunications. OVUM. 1995
- Tyler, Michael. La nueva función del Estado en una era de liberalización de las telecomunicaciones. Putnam, Hayes & Bartlett. 1993 (documento informativo)
- Varios. Informe sobre el desarrollo mundial de las telecomunicaciones 1998. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), marzo 1998
- Leidig, Lisa, et al, Universal Service/access funding strategies: the world's best practices. OVUM, 1999
- Marquez, Miguel, La industria del gas en México 1970-1985, El Colegio de México, 1989
- Morales, Isidro, et al, La formación de la política petrolera en México 1970-1986, El Colegio de México, 1988
- Snoeck, Michele, La industria petroquímica básica en México 1970-1982, El Colegio de México, 1986

- Bauer, Mariano, et al, Energía en México: el arranque del siglo XXI, El Colegio Nacional, 1989
- Varios, Investigación sobre energía: orientaciones y recomendaciones para los países en desarrollo. El Colegio de México. 1991
- Wionczek, Miguel, et al, Posibilidades y limitaciones de la planeación energética en México. El Colegio de México. 1988
- Wionczek, Miguel, et al, Energía en México: ensayos sobre el pasado y el presente. El Colegio de México. 1982
- PEMEX, Memorias de labores (1995, 1996, 1997, 1998). PEMEX
- Sprint, US West, Bellsouth & Indetec International, Benchmark Cost Proxy Model (BCPM), version 3.1. 1996
- HAI Consulting, The Hatfield Model, Release 5.0, Automation description and user's guide, HAI Consulting, Diciembre 1997

ARTICULOS:

- Federal Communications Commission, Forward-looking mechanism for high-cost support for non-rural LECs, Octubre, 1998 (FCC 98-279)
- Federal Communications Commission, Price Cap performance review for Local Exchange Carriers, Mayo 1997 (FCC 97-158)
- Organisation for Economic Co-operation and Development, Communications Outlook 1999, OECD, 1999
- OFTEL, Pricing of telecommunications services from 1997, OFTEL, 1997
- Myers, Geoffrey, Predatory Behaviour in UK Competition Policy, Research Paper 5, Office of Fair Trading, noviembre 1994
- Brock, Gerald, The Economics of Interconnection, TCG, Abril 1995
- Rodríguez, Luis, La teoría clásica de la regulación de monopolios naturales, Universidad Carlos tercero de Madrid, 1995
- Ros, Agustin, Does Ownership or Competition Matter? The effects of Telecommunications reform on network expansion and efficiency, Kluwer Academic Publishers, 1999
- Tirole, Jean, The internal organization of government, Oxford Economic Papers, 1994
- Dixit, Avinash, Power of incentives in private versus public organizations, Studies of incentives in government bureaucracies, Princeton University, Mayo 1997

- Hollander, Abraham, Crampes, Claude, Duopoly and quality standards, European Economic Review, 1995
- Motta, Massimo, Endogenous quality choice: price vs quantity competition, The journal of industrial economics. junio 1993
- Minges, Michael. Measuring access to telecommunications: universal service and access indicators. UIT, marzo 1996
- Ros, Agustin, McDermott, Karl. Are residential local exchange prices too low? Drivers to competition in the local exchange market and the impact of inefficient prices. NERA, 2000
- Ros, Agustin, Banerjee, Aniruddha. Telecommunications privatization and tariff rebalancing: evidence from latin america. Telecommunications Policy, 2000
- Hirsch, Carlos, Martínez, Bernardo. Wireless access technology analysis (from an operator's point of view), 1996
- Mitchell, Bridger, Srinagesh Padmanabhan. Transport and termination costs in PCS networks: an economic analysis. River Associates, abril 2000
- Dippon, Christian, Tran, Kenneth. The cost of the local telecommunication network: a comparison of minimum spanning trees and the HAI model. NERA, 1999
- Dippon, Christian. Implementing local loop unbundling in Europe: are cost proxy models accurate estimators of forward-looking costs?, NERA, septiembre 2000