

**Determinación de precios para servicios en Internet  
Enfoques basados en teoría económica\***

Juan Manuel Larrosa  
Universidad Nacional del Sur  
*jarrosa@{criba.edu.ar; yahoo.com}*

---

\* Primera versión: julio 2000. Esta versión: agosto 2000.  
Se agradecen comentarios a la primera versión de este trabajo por parte de Carlos Matrangolo.

## 1. Introducción

La intercomunicación entre computadoras se define a través de conexiones físicas y virtuales. Las conexiones físicas se corresponden generalmente con la estructura del cableado de las redes y, debido a las distintas composiciones y formas posibles de éste presentan una limitación al paso de la información en sí mismo. Las conexiones virtuales se realizan a través de protocolos entre las distintas capas que componen una red. Los protocolos son lenguajes de procesamiento de la información convencionalmente acordados. Los protocolos de las capas más bajas de la red son lo que tienen la tarea de darle estructura a la información de salida a fin de que, bajo normas compatibles, pueda ser recibido y entendido en destino. Asimismo, este protocolo debe obedecer a las restricciones que le impone el medio físico, por lo que la velocidad de envío y recepción así como los protocolos de control de flujo están sujetas a estas limitaciones. Las limitaciones del medio físico junto con las limitaciones de protocolo conllevan a que una red de computadoras sea altamente sensible en su desempeño al aumento de la cantidad de usuarios conectados a la misma. Si bien existen mecanismos de control de la congestión al nivel de redes locales (*Local Area Networks*) como *switches* y *bridges*, estos no pueden ser implementados en el ámbito de Internet. De hecho, es la primera vez que una red alcanza dimensiones semejantes, por lo que el problema de congestión requiere de nuevas respuestas.

La cuestión que lleva a considerar la tarificación (*pricing*) de los servicios de Internet es primordialmente la afectación que tiene la congestión sobre la calidad del servicio que ofrece la red. Asimismo, debe tenerse en cuenta que existen diversos usos de la red que se corresponden con diversas calidades de servicios. Por ejemplo, quien envía correo electrónico necesita de una interfaz asincrónica (sin necesidad de sincronización temporal), por lo que la velocidad en la transmisión de datos para este servicio no resulta una prioridad. Sin embargo, para la transmisión de video en tiempo real, el requerimiento de una transmisión sincrónica (sincronizada temporalmente) para que se correspondan los datos de movimientos de imágenes que se envían y reciben resulta fundamental. Sobre estos mismos ejemplos, a su vez, pueden ocurrir variaciones. El usuario de servicio de correo electrónico puede necesitar mantener una línea de alta velocidad para transmitir y recibir mensajes urgentes. Del mismo modo, alguien podría enviar un archivo de video a través del mail, por lo que no sería necesaria en este caso una línea de alta velocidad.

Entonces, como hacer para distinguir entre distintos tipos de usuarios, con distintas demandas de servicios asociadas, a su vez, a calidades de servicios diversas a fin de autorregular el movimiento de información de la red. Una solución de autorregulación puede provenir de la teoría económica, la cual sugiere crear un sistema de precios que afecte los incentivos de los agentes que emplean la red (usuarios, proveedores de servicios y demás) para que, guiados por sus propias necesidades y preferencias, demanden y ofrezcan servicios de un modo que resulte eficiente para la gestión de la red. Esta revisión intenta mostrar las posibles respuestas a esta disyuntiva a través del análisis de aportes recientes, con especial énfasis a para aquellos que basan su postura en los incentivos determinados por una estructura de precios distinguiéndose, al mismo tiempo, el origen teórico de cada propuesta. Esta revisión no intenta ser totalmente comprehensiva<sup>1</sup>. La sección 2 sigue con una descripción de las características tecnológicas de Internet y la sección 3 abarca la cuestión particular de la calidad de servicio como determinante de la necesidad de fijación de precios para la utilización de la red. La sección 4 resume algunas propuestas para esquemas de tarificación basados en diferente ramas de la teoría microeconómica. La sección 5 resume los ítems deseables para un potencial esquema de tarificación sobre Internet así como los resultados de una aplicación empírica particular. Por último, la sección 6 realiza una síntesis de lo expuesto con sugerencias para una agenda de investigación.

## 2. La tecnología de Internet

La Internet es una red de redes que utilizan la tecnología de conmutación de paquetes. Esta tecnología difiere de la conexión de líneas de teléfono. En las líneas telefónicas un usuario debe discar un número y varias transferencias de llamadas establecen un canal dedicado exclusivamente a conectar al emisor y al destinatario de la llamada. Una vez que éste último

acepta la llamada, dicho canal no puede ser utilizado por nadie más hasta que la llamada termine. Este circuito ubica los recursos de la red de forma precisa y única. Por el contrario, la tecnología de transferencia de paquetes utiliza la técnica de multiplexadores estadísticos para maximizar el uso de las conexiones; véase Gillett (1995) para una descripción acabada de este aspecto. Cada circuito es compartido por varios usuarios al mismo tiempo y ninguna conexión es mantenida para una sesión de comunicación en especial: parte de los paquetes van por un nodo y el resto puede desviarse por otros nodos (*routing*). Por ello, los sistemas de tarificación para medios de comunicación por voz no pueden ser trasladados directamente a los sistemas de interredes (McKie-Mason y Varian, 1994, pág. 3).

Este medio de transferencia de información se asienta en dos componentes principales: el empaquetamiento y el ruteo dinámico. Un flujo de datos es dividido en pequeñas piezas por el protocolo IP (*Internetworking Protocol*) y luego rearmado en el flujo original en el destino. El camino de los paquetes hacia el destino es guiado por máquinas especiales de Internet llamadas ruteadores (*routers*) los cuales derivan los mismos por el mejor nodo disponible en ese momento.

El empaquetamiento permite un uso más eficiente de las líneas de comunicaciones. Por ejemplo, cuando un usuario está conectado con otro en la Internet, pasa la mayor parte del tiempo de dicha conexión pensando ó leyendo la información. La red es sólo utilizada cuando la información es enviada ó recibida. El mantenimiento de una conexión abierta desperdicia la capacidad de conexión de la red. En cambio, lo que ocurre es que la información es retenida en la máquina hasta que usuario aprieta el botón de envío y se llena el buffer de paquetes, los cuales son disparados a través de la red. El resto del tiempo la red está libre para ser usada por otros usuarios.

Con el ruteo dinámico el camino de cada paquete es actualizado a medida que estos se van transmitiendo. Para ello se utilizan hardware especialmente dedicado denominado enrutador (*router*) cuya única función es la de leer los encabezados (la parte del datagrama ó paquete que indica la dirección de destino del mismo) de los paquetes y reenviarlos a través del mejor camino disponible en ese momento. Dado que existen múltiples conexiones entre los nodos de la red, es probable que los paquetes lleguen por diferentes nodos al destino.

El protocolo TCP (*Transfer Control Protocol*) es el encargado de partir el flujo de datos en paquetes y controlar su transporte a través de la red y reensamblarlo en el destino. De este modo TCP crea circuitos virtuales entre usuarios, para hacer que la transferencia de paquetes parezca una conexión simple entre usuarios.

Una vez un archivo es enviado a otra computadora de la red, se parte el mismo en un número determinado de paquetes, cada uno de los cuales debe ser direccionado, es decir se le debe incluir un encabezado. Ello se suma al espacio ya ocupado por el archivo original. Por ello, tomando en cuenta estimaciones de 1993, se calcula que un paquete promedio de datos para la Red de la *National Science Foundation* (NSFNET) de los EE.UU. era de 200 bytes, de los cuales el 17% correspondía solamente a encabezados. Asimismo, cada vez que se envía un paquete este debe pasar por enrutadores (*routers*), los cuales reciben paquete, calculan la mejor vía para llegar al destino y lo reenvían nuevamente. Estos redireccionamientos insumen tiempo. Si bien ya en 1994 esos tiempos iban en disminución año tras año por el mejoramiento de la tecnología y calidad de las líneas de comunicaciones y de los enrutadores, el número de usuarios supera con creces dichos aumentos en la calidad a través del aumento de la congestión de los nodos de red.

La tecnología de conmutación de paquetes se impuso básicamente por la reducción de costos que ello implicaba para los usuarios de la red. En tanto existiesen conexiones dedicadas entre dos computadoras ó redes de computadores, el esquema de tarificación por el servicio era sostenido exclusivamente por el tiempo de conexión. Ello implicaba pagar por costos de utilización aún cuando la red en muchos momentos no era utilizada. Con la conmutación de paquetes, el costo de la conexión es solventado por todos quienes están conectados a la red. Esta distribución de los costos de conexión entre los usuarios redujo el costo promedio, con el consiguiente aumento de usuarios que condujeron, nuevamente, a posteriores reducciones al costo de conexión promedio. Con esta técnica de

direccionamiento de la información se paga por tráfico realizado, algo más cercano a un criterio de eficiencia en la utilización de los recursos.

Asimismo, los costos que contabilizan en sí mismos dentro de una red pueden dividirse en costos fijos y variables. Los costos fijos, es decir aquellos que deben abonarse independientemente del uso de la red, comprendían aproximadamente el 80% de los costos totales de la red<sup>2</sup> mientras que los variables comprenden el resto. Los costos fijos representan básicamente el mantenimiento de líneas y enrutadores (mantenimiento técnico, sueldos, etc.). Los costos variables correspondían a reposiciones de material por el uso de la red, demoras en la recepción de información y otros costos relacionados (McKie-Mason y Varian, 1994)

La tecnología de conmutación de paquetes, de todos modos, no es la más eficiente, dado el desaprovechamiento de la red por el uso extensivo de encabezados en los paquetes. Esto deriva también en un uso intensivo de enrutadores para el direccionamiento. Existen alternativas actuales y futuras para mejorar la carga relativa de la red. Entre ellos se encuentra el uso del ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) por el cual puede acelerarse el envío de paquetes dado que establece conexiones *end-to-end* (circuitos virtuales dedicados) entre usuarios<sup>3</sup> lo que acelera el tiempo de recálculo de direcciones de los enrutadores.

### 3. El problema de la calidad de servicio

En un mercado con competencia entre empresas se espera que la calidad de los servicios ofrecidos por las firmas se autorregule. Es decir, que la puja de las firmas por obtener mayores cuotas de mercados ó el mantenimiento de las ya alcanzadas cree un incentivo para que las empresas mejoren continuamente en los niveles de prestación del servicio. Se intenta por este modo capturar la disposición a pagar de los consumidores por cada tipo de servicio y la competitividad asegura que este objetivo se mantenga presente en las empresas. Sin embargo, en estructuras de mercado como el monopolio dichos incentivos suelen estar menguados, por lo que la calidad del servicio puede ser afectada. Este es el caso, en cierta medida, de Internet, dado que la posesión legal de la red es única. Es decir, no existen redes alternativas a la Internet para que los usuarios puedan optar por cual operar.

La congestión de usuarios de Internet es un problema que surge principalmente del gran aumento de la cantidad de conectados a la red y la naturaleza compartida de los recursos<sup>4</sup>. La evolución de la red original en una red de banda ancha de dos vías ha representado una evolución de un proyecto originalmente pensado como orientado a la educación e investigación, el cual se ha transformado en otro dedicado a un perfil eminentemente comercial. Como destaca Faulhaber (1997), lo increíble de Internet no es que este congestionada, lo cual efectivamente está, sino que no haya colapsado bajo un increíble peso de un volumen de tráfico sin precedentes. Se arguye que el problema reside en que la inversión en capacidad de la red no se ha mantenido paralela con el crecimiento de la demanda, lo que ha derivado en la ralentización de los servicios. En servicios transoceánicos, como *telnet* ó transmisión de video en tiempo real, la calidad de servicio en algunos casos puede ser extremadamente baja.

Distintas soluciones han sido sugeridas desde el ámbito gubernamental en los Estados Unidos para lidiar con este problema. Existe cierto consenso en que la solución futura a los problemas de congestión debe considerar alguna de las tres alternativas siguientes:

(1) *Revisar la estructura de gobierno de Internet*: la red no debiera olvidar su origen como medio de conexión entre universidades y centros de investigación, pero al mismo debiera dar cabida adecuadamente al predominante sector comercial.

(2) *Desarrollo e integración de nuevas redes*: Es probable que puedan desarrollarse y coexistir muchas multi-redes del tipo Internet, interconectadas con portales (*gateways*) que limiten el impacto del congestionamiento. En Octubre de 1996 un grupo de universidades americanas anunció su decisión de crear una Internet II, de alta velocidad, para usos específicos de educación e investigación. Es probable que las empresas piensen en crear un paralelo para fines comerciales. Actualmente se puede apreciar esta tendencia en las

empresas que utilizan intranets para conectar los distintos departamentos. Así, se benefician de la tecnología de Internet pero evitan los costos por congestión.

(3) *Fijación de tarifas y distribución de ganancias*: Esta es probablemente la necesidad más inmediata de Internet en orden para que aquellos que administran infraestructura básica de la red (servidores, enrutadores, cableados) posean los incentivos para invertir en nueva infraestructura a fin de atender los altos volúmenes de tráfico. Los aportes en este último aspecto serán los que se desarrollarán a continuación.

#### 4. Esquemas de tarifación

Un modo de valoración simple de los servicios es emplear el ampliamente conocido sistema de tarifa en dos partes. Es decir una tarifa en la que una parte comprenda los cargos fijos de conexión y otra parte comprenda los cargos por externalidades al resto de la red (análoga a la usual factura de teléfonos, donde se especifica costos fijos de conexión más los costos variables por llamadas dentro de un esquema horario). Con ello se recuperaría inmediatamente el costo fijo del sistema, pero quedan dudas sobre el método eficiente para calcular los efectos externos provocados por la utilización puntual de la red con respecto a otros servicios. De hecho, se ha estimado que el esquema horario de carga de la red sirve de poco para medir los gastos incurridos por una demanda específica, dado que esta información no refleja necesariamente en forma clara el hipotético estado de algún nodo en particular que pueda estar inactivo ó con baja congestión puntual. Recuérdese que, al contrario de una red telefónica, las conexiones *peer to peer* (entre computadoras a un mismo nivel de jerarquía) no utilizan un canal directo de conexión sino uno virtual, por lo que la red puede ser utilizada por otros usuarios mientras se realiza la comunicación entre dos máquinas.

Un resumen sobre diversas posturas esgrimidas para medir el costo de la externalidades provocadas a otros usuarios de la red puede obtenerse de Key (1999a). Estos toman la denominación general de precios de congestión y la idea básica es la de señalar información derivada hacia el usuario (el multiplicador lagrangiano de los costos de congestión, el cual representa los costos marginales incrementales). De allí se pueden calcular los precios para cada recurso de forma simple: si el recurso (el *router*) está ligeramente ocupado, el precio es cero y si el nivel de ocupación del recurso aumenta, los precios se tornan positivos. La señal retroalimentada es proporcional al grado de ocupación del recurso, permitiendo un decrecimiento multiplicativo de su utilización. Estas señales deben ser reenviadas al usuario. Para las redes basadas en el protocolo IP se sugiere realizar una marcación (*marking*) de los paquetes al nivel de la capa IP, lo cual permitiría ejercer control sobre cualquier capa superior ó sobre la misma capa IP. Ello permite, a su vez, que coexistan aplicaciones ó dominios que no respondan a esta marcación con aquellas que si lo hacen (ello porque los primeros simplemente incurrirán en mayores cargas de la red y serán ignorados por el sistema de marcación).

En definitiva, se espera que los usuarios del sistema reaccionen como mejor les parezca, de modo que los usuarios dispuestos a pagar más, reciban más. Lo único que se pide es que éstos perciban alguna penalización asociada a la retroalimentación de señales y marcaciones. Key (1999a) describe para ello dos posibles escenarios:

1. Los usuarios puede comportarse como quieran, con lo que la red actuará bajo congestión dado que la demanda agregada es menor que capacidad. Esto ocurrirá si la suma de la disposición a pagar de los usuarios es menor que la tasa de carga máxima del sistema. El proveedor del servicio puede aumentar los precios para alcanzar este objetivo, el cual es apropiado para un sistema operativo, pero en una red competitiva existe un incentivo para el proveedor del servicio de incrementar la capacidad hasta que el equilibrio sea alcanzado.
2. El usuario puede tener restricciones a su libertad y puede existir un algoritmo de control impuesto que asigna recursos según los parámetros del usuario. Se cita el ejemplo de que un ISP (*Internet Service Provider*) ó una intranet podrían otorgar a algún usuario un algoritmo de control de flujo particular, el cual tiene definido

parámetros del usuario ó del proceso, el cual reacciona a señales emitidas por el ISP (este es el caso de los protocolos tipo TCP).

Ahora bien, en el primer caso, si las preferencias del usuario pueden ser modeladas a través de funciones de utilidad, y los usuarios buscan maximizar su utilidad neta, entonces el sistema puede comportarse como una optimización distribuida y converger a un óptimo global si los precios son los correctos, igualando oferta y demanda. En el segundo escenario, solo puede obtenerse este resultado si consideramos que los parámetros asignados a los usuarios representan buenas aproximaciones de sus funciones de preferencia reales. En este escenario se optimiza a partir de los agregados del sistema. Es decir, la señal ó marcación estará referida a ciertos canales/conexiones de la red para lo cual el ISP puede redistribuir la carga entre los conexiones/usuarios de acuerdo a alguna política corporativa. Tanto en el primero como en el segundo escenario las políticas de tarifas ó precios pueden llevar a un óptimo social de la red.

La modelación de las preferencias por medio de funciones de utilidad y la búsqueda de puntos óptimos en la utilización de los recursos escasos disponibles remite a conceptos teóricos fundamentales en el estudio de la economía. Es por ello que diversos autores intentaron encarar el estudio de este problema sobre la base de un cuerpo teórico ampliamente utilizado para evaluar asignaciones de recursos óptimas con información incompleta. De este modo diversos aportes han utilizado herramientas de la microeconomía, como la teoría del equilibrio general, de la teoría de juegos y la economía del bienestar. A continuación se describen someramente aportes en estas áreas.

#### **4.1 Esquemas de tarificación basados en teoría económica**

Siendo que muchas de las herramientas para la asignación de recursos ya estaban habían sido desarrolladas, diversos autores enfocaron sus esfuerzos a la determinación de precios para la Internet basados en la teoría económica. Se pueden distinguir tres áreas, hasta el momento, de la microeconomía que han sido profundizadas. En primer lugar existen aportes del equilibrio general, las cuales contemplan a la red como un mercado de oferta y demanda de calidades de servicios sujetas a retrasos. Lo que se obtiene de este procedimiento es un equilibrio de *second best*. Bajo este marco, los agentes pactan la provisión de cierto bien ó servicio, suponiendo para ello este será suministrado con un retraso determinado. Cuando estos retrasos son superiores a lo esperado simplemente se cambia a una calidad de servicio superior. Las operaciones son acordadas ex-ante y siempre que los retrasos esperados coincidan con los realmente verificados se obtendrá un resultado de equilibrio.

En segundo lugar están los aportes basados en la teoría de juegos. Ahora los agentes plantean un juego contra la red (vista como niveles de congestión, servidores y enrutadores) en la cual individualmente buscan el mayor beneficio posible a través de la creación de sus propias estrategias ó algoritmos de descarga y envío. Ello da por resultado resultados más heterogéneos (y más aproximados a los observados en una red real) y alienta a los jugadores a encontrar sus propias estrategias óptimas, tal como se podría observar en experimentos repetidos del dilema del prisionero.

Por último, existen economistas que plantean que el enfoque de los precios de congestión deja de lado la cuestión del acceso público a la red. Es decir, para entrar en dicho análisis se debe suponer que todos pueden acceder a dicho servicio, siendo esta realidad muy distinta en el caso de los países en vías de desarrollo. Por ello, se desarrollan esquemas de fijación de tarifas en Internet que contemplan, en primer lugar, y con la menor pérdida de eficiencia posible, un mayor número de conectados a la red. El análisis se asienta en aportes de la economía del bienestar.

A continuación se desarrollarán brevemente los aportes correspondientes a cada rama de la microeconomía.

##### **4.1.1 Aportes basados en la teoría de equilibrio general**

El enfoque teórico de la economía del equilibrio general se sustenta sobre supuestos de comportamiento optimizador de los agentes de la economía, los cuales cumpliendo con sus

objetivos de supervivencia asignan recursos de una manera eficiente tanto para cada uno individualmente como para toda la sociedad en su conjunto. Ampliamente utilizado para derivar precios y costos sociales, este marco de trabajo requiere de gran cantidad y calidad de datos para que dichas estimaciones registren la escasez relativa de cada recurso (precios sombra) a fin asignarlo de una manera óptima. En términos de estimar precios de servicios en la red, esto resulta altamente costoso en tiempo y utilización de recursos. La demanda de servicios por cada usuario debiera ser analizada con relación a la afectación que el cumplimiento de esa demanda tendrá sobre el resto de la red. Ello en forma dinámica e individual, lo que resultaría en el envío de datagramas y *pings* constantemente por cada operación que se realiza a fin detectar el estado de la red, con el consiguiente aumento de la congestión y aumento del tiempo de procesamiento de la información. Gupta, Stahl y Whinston (1994, 1995a) describen entonces alternativas para el estudio de condiciones más factibles de ser implementadas a través de la red, sin perder de vista los objetivos de asignación eficiente de recursos.

Para solucionar el problema de la calidad del servicio se pueden proporcionar diferentes niveles de calidad asociados a diferentes tarifas, de manera que el usuario demande según su disposición a pagar y sus necesidades específicas. Ello requiere un sistema de provisión de servicios por jerarquías ó clases de servicios, es decir que se despachan servicios según su clase más urgente (más caro a pagar y con más necesidad de ancho de banda, por ejemplo, video en tiempo real), quedando en espera los servicios de clases inferiores (más baratos, con menor necesidad de ancho de banda, como por ejemplo un mensaje de correo electrónico). Con esto se crea un mecanismo que regula la congestión de red, encareciendo el precio de su utilización cuando esta se encuentra más congestionada y abaratándola cuando se encuentra más liberada. Por ejemplo, Gupta, Stahl y Whinston (1995b) esquematizan en la Tabla 1 diversas aplicaciones y su relación entre las características del retraso de información y la predicción de dicho retraso necesaria para asegurar el equilibrio del consumidor:

**Tabla 1. Relación entre características del retraso y su predicción**

| Aplicación          | Características del retraso | Comentarios  |
|---------------------|-----------------------------|--|
| Email               | No sensitivo                | Predicción del retraso no es importante.                         |
| Descarga de archivo | Moderadamente sensitivo     | Monto razonable de variación es tolerable.                       |
| Transmisión de voz  | Muy sensitivo               | La variación en la predicción del retraso no puede ser tolerada. |

Fuente: Gupta, Stahl y Whinston (1995b, pág. 4)

De estas características diferenciales en los tiempos necesarios para que cada tipo de servicio sea efectivo se pueden crear las clases que ajusten el tráfico de la red. Este ajuste contemplará las prioridades de uso según la necesidad de cada servicio específico, haciendo esperar la ejecución de servicios más tolerantes a los retrasos y despachando inmediatamente a aquellos muy sensitivos a los retrasos. De este modo se sugiere que las clases se compongan de la siguiente manera (Tabla 2), a modo de ejemplo:

**Tabla 2. Un caso hipotético asociando clases de prioridad a servicios**

| Clase de prioridad    | Clase de servicio   |
|-----------------------|---|
| 1. Más alta prioridad | ATM   |
| 2.                    | TCP/IP con aplicaciones en tiempo real, <i>Frame relay</i> , SMDS |
| 3.                    | UDP y TCP/IP con el mayor del <i>mejor esfuerzo posible</i>       |
| 4. Más baja prioridad | TCP/IP puro, con el menor del <i>mejor servicio posible</i>       |

Fuente: Gupta, Stahl y Whinston (1995b, pág. 5)

Entonces, a través de la este esquema de prioridades se puede dar base a un sistema que asigne rutas preferenciales a clases de servicios de alta prioridad, haciendo esperar a los servicios menos prioritarios hasta tanto sean cumplimentados los primeros. A mayor prioridad del servicio, mayor costo debería cargarse.

El cálculo de los costos por congestión debe en primer lugar, estimar la demanda a partir de la cual se intentará determinar el precio óptimo. Como ya se advirtió, para estimar dicha demanda por un servicio determinado, se debiera calcular el estado actual de la red total (sería necesario ello para entender el costo relativo de brindar un servicio en relación a su afectación en la calidad de otro servicio). Sin embargo, un mecanismo semejante es altamente costoso. Con este procedimiento se acarrearían pérdida de tiempo y mayor congestión aún, aspecto éste citado anteriormente. Esta razón ha hecho que se sugirieran esquemas óptimos de tasación basados en cálculos de demanda de actividad de corto plazo *por nodo específico*. Es decir, el mecanismo trabaja sólo con uno de los tantos nodos de la red, del cuál estima sus niveles de actividad pasado de corto plazo (unas horas antes). Con ello el mecanismo de tarificación de los servicios estaría completamente descentralizado dado que solo estaría focalizado a un nodo por vez, lo que haría más efectiva su utilización. A partir de esta estimación se evalúan los costos asociados al grado de congestión observado. Los resultados de simulaciones realizadas dan muestras de las mayores beneficios<sup>5</sup> para el usuario y para toda la red de este tipo de implementación (Gupta, Stahl y Whinston, 1999).

Gupta, Stahl y Whinston (1997) muestran que las condiciones para que se dé una asignación óptima de recursos en una red vasta con Internet pueden ser modelado a través de un sistema económico de equilibrio general. Los usuarios tienen funciones de utilidad que representan sus preferencias con respecto a un servicio que desean obtener de la red (descargar un programa ó enviar un archivo), servicios a su vez que están distribuidos en clases según de necesidad de ancho de banda, más un tiempo de espera estocástico, los servidores y *routers* proporcionan dicho flujo también con un cierto retraso estocástico.

Dada la modelación efectuada se demuestra que

(i) Los pedidos de servicios por parte de un usuario son óptimos para cada usuario dados los precios renta y los tiempos de espera anticipados.

(ii) Los tiempos de espera observados son los correctos tiempos de espera anticipados *ex-ante* dadas las tasas promedios de flujos

(iii) Las tasas promedios agregadas de flujos son iguales a las tasas de maximización del bienestar.

Al contrario de los altos requerimientos de información solicitados por formaciones teóricas más complejas como las posturas de Arrow-Debreu bajo incertidumbre ó los equilibrios de Nash, en este aporte se trabaja con un equilibrio estocástico que no obtiene un *first best* (es decir el único y mejor equilibrio de todo el sistema). Los resultados son de *second best* y consideran retrasos promedios en la recepción de la información, trabajando con precios *spot* (precios de incertidumbre correctamente anticipados a que se revele la incertidumbre) y considerando solo conocimiento común entre los agentes (los agentes no saben el estado total de la red sino sólo el de los nodos a los que acceden).

Este esquema genera unas necesidades de información suficientes para ser simuladas. Bajo distintos escenarios, nuevamente, los autores generan resultados en los que se observan mejoras en el bienestar de los usuarios (es decir mejoran los niveles de tráfico promedio disminuyendo la congestión a un mínimo). Dichos resultados pueden extenderse obteniendo resultados análogos en el caso de la redes virtuales privadas (*Virtual Private Network*), la cual consiste en la utilización de la Internet para crear conexiones entre redes privadas distantes; véase a Lin, Stahl, Ow y Whinston (1999).

#### **4.1.2 Aportes basados en la teoría de juegos**

Gibbens y Key (1999) modelan el comportamiento estratégico de un usuario enfrentado a un mecanismo de control de flujo del tipo TCP. Los usuarios mantienen la única estrategia de generar y enviar paquetes de datos (conteniendo información de diversos orígenes) por lo



cual la variable importante para el usuario es la tasa de envío de paquetes por unidad de tiempo. Por lo demás, el mecanismo de envío, recepción, reconocimiento y rearmado de paquetes es análogo al TCP.

Los paquetes circulan a través de las líneas de comunicación y a través de ruteadores. En cualquiera de estos puntos los paquetes se pueden perder debido a la escasez de recursos en algún nodo determinado. Quien envía un paquete puede darse cuenta de su pérdida por la falta de arribo de un paquete de reconocimiento.

El mecanismo de control de flujo ejercido por los usuarios depende de la relación entre la cantidad de paquetes perdidos y los reconocimientos recibidos. Es decir, cuánto mayor sea la cantidad de paquetes que el usuario pueda enviar sin perder paquetes (envío y recepción exitosa de los paquetes), mayor será en envío ulterior de paquetes. Es decir, mayor será la tasa de envío de paquetes. En el caso de que los paquetes se pierdan en el camino, dicha tasa disminuirá.

Dadas estas pautas iniciales, los autores plantean las estrategias el usuario como si se estuviera enfrentando a un juego en el cual el objetivo consiste en transmitir archivos a través de la red al menor costo posible, es decir, minimizando el número de paquetes de reconocimiento marcados. El usuario es analizado a través de la consideración de tres estrategias se juego:

(a) *estrategia de tasa constante*: el usuario decide ignorar el marcado de los paquetes y envía, uno con un retraso respecto del siguiente, paquetes de tamaño uniforme. Esta es una estrategia básica que depende del grado de congestión de la red. Aún así puede obtenerse situaciones óptimas de envío de paquetes si la duración del marcado de paquetes es una función convexa de la carga para la duración de la transferencia y si, en adición, la probabilidad de marcación observada por el usuario es independiente entre el envío de cada paquete.

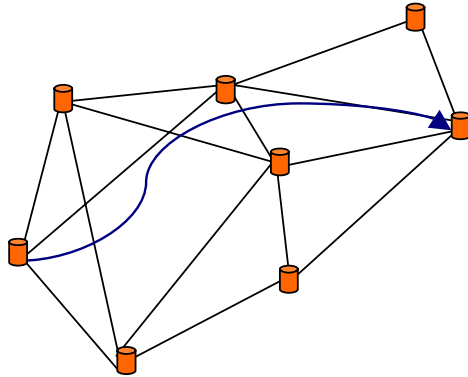
(b) *estrategia del último*: el usuario tiene dos estados de operación, o se envía periódicamente paquetes a una tasa de envío alta,  $r^H$ , o se envían a una tasa de envío baja,  $r^L$ . Aquí este usuario envía los paquetes a una tasa determinada, por ejemplo  $r^H$ , y si recibe como respuesta paquetes marcados entonces el próximo envío será a la tasa  $r^L$ . Es decir depende de que indica el último paquete marcado es como será la tasa de envío para el próximo envío. De ese modo el usuario ajusta el envío a lo largo de todo el tiempo de transferencia.

(c) *estrategia de los últimos dos*: es similar a la anterior pero ahora las últimas dos reconocimientos son guardados y la tasa de emisión baja,  $r^L$ , es usada a menos que los últimos reconocimientos fuesen ambos sin marcación. Esta es la manera más simple de detectar un período de transferencia sin marcación (es decir sin alertas de congestión).

Los experimentos realizados por los autores determinan algunas conclusiones interesantes. Los mejores resultados obtenidos se dan cuando los usuarios tienen conocimiento del estado de congestión de la red. Es decir, cuando actúan como tomadores de precios de la red. Ello al contrario del estado actual de los usuarios quienes intervienen en la red estableciendo ellos los precios a pagar por el envío (fijadores de precios) sin tener noticias del estado de congestión de la red. Esta retroalimentación de información permite que cada usuario administre mejor el flujo de datos que desea manejar. Key y MacCauley (1999) profundizan este experimento, definiendo nuevamente la actitud de los usuarios como un juego contra la red, la cual lleva a los mismos a un óptimo. Al igual que en el caso anterior, la condición necesaria y suficiente para ello es que los usuarios deben tener la información del grado de congestionamiento de la red para optar por la mejor vía de canalizar sus demandas rescribiendo sus estrategias iniciales si estas no fuesen óptimas<sup>6</sup>.

A continuación se expondrá un esquema de presentación de este tema diseñado por Peter Key (1999b) que resume parte de las ideas expuestas hasta el momento sobre sus aportes. Allí puede apreciar el tipo de modelación empleada para el análisis de este tema, siendo estas la base teórica de las simulaciones.

## Recursos del sistema (la Red)



Recurso  $j \in \xi$   
 Capacidad de la red  $C_j$   
 Usuario / ruta  $r \in P$   
 Enlace de usuarios a los recursos:  $A_{jr}$   
 Tasa de envío/recepción de bytes:  $x$

## Idea Básica del problema

- Los usuarios generan la congestión de la red (a través de paquetes)
- La red envía señales hacia atrás (éstas dependen del nivel de congestión de la red)
- Las señales son proporcionales al nivel de congestión de la red
  - Actúan como indicadores de retroalimentación
  - Representan señales de precios
    - Costos marginales incrementales
    - Costos de congestión
    - Dinero virtual ó real / de origen distribuido

## Planteo del problema de optimización

Óptimo del sistema (donde  $U$  representa la utilidad)

y donde  $C_j$  es la función de costos

$$\begin{aligned} \text{Max } U &= \sum_r U(x_r) \\ \text{s.a. } Ax &\leq C \\ \text{Max } U &= \sum_r U(x_r) - \sum_j C_j(y) \\ y &= \sum_r A_j x_r \end{aligned}$$

El usuario maximiza

$$\begin{aligned} \text{Max } U(x_r) - t x_r \\ t = \text{demora por congestión} \end{aligned}$$

## Solución

Un conjunto de impuestos (precios) y estados de carga existen sujeto a: →

(Es decir, la Red elige ciertos precios ó impuestos, los usuarios eligen el nivel de carga: la solución es el óptimo para la red, para los usuarios y para el sistema, siempre dependiendo de las funciones de utilidad)

$$U'(x_r) = \sum_{j \in r} \mu_j \quad \text{si } x_r > 0, \text{ donde}$$

$$\mu_j = \frac{\partial U}{\partial C_j} \quad \text{operando bajo restricción}$$

$$\mu_j = \frac{\partial C_j}{\partial y} \quad \text{operando sin restricción}$$

$$U'(x_r) = t_r$$

## Igualando precios a carga de la red

En el caso de precios acotados, se deben igualar los precios de carga con la capacidad de la red (es decir, se requiere que el monto máximo que los usuarios estas dispuestos a

Si  $x_r$  satisface  $U'_r(x_r) = 1$  entonces ser requiere que

pagar sea menor que la carga máxima que la red puede soportar).

$$\sum_r x_r < C$$

Una vez desarrollado el modelo se simulan diversas alternativas de congestión de la red. Bajo los tres tipos de estrategias definidas por los autores, un número finito de agentes utiliza los servicios, interactúa y recibe información del sistema y readecuan sus estrategias a fin de maximizar su utilidad. La demanda y oferta de servicios se observa a través del envío de paquetes, los cuales cuando encuentran nodos congestión (es decir el buffer es superado en su capacidad de procesamiento) son marcados y reenviados al usuario, el cual decide su nueva estrategia de operación en la red. Estas simulaciones se extienden bajo diversos escenarios de tasas de arribo a fin de cotejar los resultados con la realidad. La existencia de agentes heterogéneos ilustra resultados muy similares a los realmente observados. Nuevamente, la información que los agentes reciben de la red les permite adecuar sus estrategias a fin de mejorar el servicio recibido.

#### 4.1.3 Una posición desde la economía del bienestar

Nogueira y Cavalcanti (1996b) aportan una posición más acorde al caso de los países en vías de desarrollo. Plantear esquemas de precios que reflejen la congestión de la red puede derivar en que el precio final del servicio mínimo sea demasiado alto como para ser solventado por las familias con menores ingresos. Este último puede ser el escenario predominante en los países menos desarrollados, como los latinoamericanos. Asimismo, la existencia predominante de monopolios en las empresas telefónicas de estos países así como el mayor costo relativo de las computadoras personales con respecto a los países industrializados encarece de por sí el costo de conexión básico de la población a la red (con lo cual se limita también el valor de la red según la llamada ley de Metcalfe<sup>7</sup>). Es por ello que los autores plantean un precio que contemple la intervención pública a través de permitir un mayor acceso de todos los estratos sociales a la red. Las recomendaciones para este caso son las de establecer subsidios a fin de crear condiciones más equitativas de acceso. Es decir el sistema de precios es fijado externamente al comportamiento de la red. Los autores exploran dos enfoques de la economía del bienestar: el enfoque de Feldstein y el enfoque de la red de seguridad. Ambos serán brevemente tratados a continuación.

##### 4.1.3.1 El esquema de Feldstein

Feldstein (1972) propone introducir consideraciones de equidad en el análisis de precios, teniendo en cuenta para ello la característica distribucional del bien ó servicio. La misma se define en términos de

$$d_i = \frac{\int \theta q_i(p, \theta) \alpha(\theta) f(\theta) d\theta}{\int \theta q_i(p, \theta) f(\theta) d\theta},$$

donde  $\theta$  representa a un tipo de consumidor,  $f(\theta)$  representa la función de distribución de frecuencias que indica el número de este tipo de consumidor,  $q_i$  es el monto del servicio demandado y  $\alpha$  es la utilidad marginal social del ingreso del grupo de consumidores  $\theta$ . Esta fórmula permite definir la utilidad marginal social del ingreso por grupos de individuos. Si tomamos en cuenta que  $\alpha$  mantiene una relación inversa con  $\theta$ , es decir que la utilidad marginal social del ingreso es mayor según se pertenezca a un grupo de menores ingresos, entonces se puede esperar que  $d_i$  va a ser mayor para un bien *necesario* que para un bien de *lujo*. Esta diferenciación se hace difícil de encuadrar dentro del marco de Internet. Pero alguna idea se puede extraer de la clasificación por clases de servicio esbozada en la Tabla 2. En el caso de la congestión de la red, por ejemplo, el caso que se presenta es el de usuarios que utilizan servicios de alto ancho de banda, como video en tiempo real, lo que perjudica a los usuarios que utilizan servicios de bajos ancho de banda (email) en su recepción. Ahora, si se asume que la demanda por servicios de gran ancho de banda son

inelásticos al precio mientras que los servicios de bajo ancho de banda son elásticos al precio, entonces aplicando el esquema de Feldstein los primeros deberían ser gravados en forma más alta que los segundos.

De todos modos, como aclaran los autores, se puede presentar el caso de organizaciones sin fines de lucro ó servicios públicos que utilicen servicios de alto ancho de banda para cumplir con sus fines sociales y que por este mismo esquema sufrirían de mayores precios de conexión.

#### 4.1.3.2 El enfoque de la red de seguridad de Brown y Sibley

Brown y Sibley (1986) proponen un esquema que permita a todos los consumidores acceder a un mínimo nivel de consumo de un bien público. Este procedimiento comprende dos etapas: (i) el servicio, los niveles deseados de contribución para los consumidores y la red de seguridad se determinan sobre la base del bienestar social; (ii) el resto de los precios y consumidores son valuados a niveles de eficiencia. Con ello se provee de un esquema de red de seguridad regulada para algunos consumidores con el mínimo de pérdida de eficiencia posible.

El procedimiento formal comprende la maximización de una función de bienestar social sujeta a la restricción dada por la red de seguridad. Es decir, dada la restricción de esta red, se busca el resultado de *second best* que maximiza el bienestar social (es decir que asegura la provisión del servicio) con la menor pérdida por peso muerto.

Remitiéndonos a la descripción de Nogueira y Cavalcanti (1996b) podemos esquematizar un ejemplo de la siguiente manera: supongamos que existe un sistema de dos tarifas. Tarifa plana  $A^0$  ó Tarifa de acceso público  $A_i$ , siendo  $A_i = A^0 - m_i q_s$  donde

$m_i$  = costo marginal de suministrar el servicio, el cual se supone es igual  $p_i$  = precio de servicio

$q_s$  = nivel deseado de un cierto nivel dado por la red de seguridad

Es decir, existe una tarifa plana  $A^0$  para todos y existe una tarifa subsidiada  $A_i$  para aquellos que se desea incluir como usuarios al sistema, el cual es menor que la tarifa plana ( $A^0 > A_i$ ) pero que contempla los ingresos y costos marginales de acceso al servicio. La introducción de una red de seguridad y un nuevo esquema optativo de precios hace que los usuarios que consuman una cantidad  $q_i < q_s$  del servicio estén mejor sin pérdida de utilidad para el resto de los consumidores dado que los ingresantes solventan el costo marginal de su utilización. En el caso de Internet se podría definir algún servicio como socialmente relevante con lo que el precio de acceso sería inferior al caso de tarifa plana  $A^0$ . Luego se puede alcanzar un óptimo de Pareto porque se obtendrán más usuarios a la red por la menor tarifa impuesta, minimizando al mismo tiempo el costo dado que se le carga a los mismos por el precio marginal de la cantidad consumida.

#### 5. Propiedades deseables de un mecanismo de precios en Internet

Gupta, Stahl y Whinston (1999) estiman que las necesidades de un mecanismo efectivo de determinación de precios en Internet requieren que éste no establezca una tarifa única. Ello por la diversidad de usuarios y necesidades a cubrir. Asimismo, los autores concuerdan en algunas características deseables en un sistema de fijación de precios en la red:

- Los precios deberían provocar cambios en la demanda en el tiempo de los usuarios a fin de utilizar la red cuando esta se encuentra menos congestionada.
- Los precios deberían tener en cuenta el impacto del precio actual en la demanda futura
- El esquema de precios debería ser lo suficientemente amplio y simple a fin de ser fácilmente implementable tanto en costos como en tecnología. En un aporte anterior los mismos autores (Gupta, Stahl y Whinston, 1995a) concuerdan que el sistema de precios no debiera implicar un cambio en la tecnología de conmutación de paquetes

dado que esto sería tecnológicamente más complicado y económicamente más costoso.

- Los precios deberían reflejar el estado de carga de los nodos de la red (enrutadores y portales)
- El diseño de precios debería ser implementado de una manera totalmente descentralizada dado que de otro modo los cálculos de precios al considerar todo el estado de la red en un momento dado harían menos eficiente y dinámico al sistema.
- Los precios deberían ser capaces de desagotar nodos de la red altamente cargados hacia otros con menos uso en el mismo instante, redundando en mayor efectividad general en la administración de la red.
- Debería haber un sistema de prioridades a fin de abastecer de forma eficiente a las demandas por distintas calidades de servicios.
- Los precios deberían alentar a los usuarios a tomar decisiones basados en los precios pagados y los proveedores de servicios a suministrar una calidad de servicio determinada según el valor percibido.

Peter Key y el grupo de Microsoft Research resumen sus conclusiones coincidentes respecto a la situación actual de la valoración de los servicios de Internet de la siguiente manera:

- La gente que podría pagar más por un mejor servicio no lo puede hacer actualmente. A este respecto, el autor aventura como una especulación personal que un esquema simple con solo dos niveles de servicio proveería un mecanismo de asignación de recursos efectivo (es decir operando sólo con dos clases de servicios, alta velocidad y gran ancho de banda vs. baja velocidad y bajo ancho de banda)<sup>8</sup>.
- Asimismo, los nuevos mecanismos tecnológicos y esquemas de precios deberían ir mano a mano para proveer una amplia gama de niveles de servicios. Un punto central es que el sistema debe ser implementado de una manera que permita a los usuarios tomar las decisiones correctas (solución descentralizada).
- Un incremento en el despliegue de tráfico que no contemple un control de congestión puede derivar en un colapso de la Internet. La red debe participar ahora en el control de la utilización de sus recursos a través de la implementación de mecanismos de realimentación. Para controlar las tasas de envío, uno debe controlar la retroalimentación de alerta por congestión recibida en el origen de los datos.
- Nuevamente, los flujos de alto ancho de banda deberían ser regulados haciendo que su uso de ancho de banda esté restringido al enrutador (solución descentralizada). La experiencia usando redes provee un sentido pragmático de cual será la respuesta ante varios pedidos de servicios de diversos tamaños en los distintos períodos del día. Entonces, la idea de *expectativas* de servicio como opuesto a *garantía* de servicio resulta una distinción importante a la hora de ofrecer calidades de servicio.

Previsiblemente, Nogueira y Cavalcanti (1996) sugieren, a su vez, que la profundización de las investigaciones anteriores sobre los temas de congestión presuponen un acceso casi universal a la red. Esta circunstancia se hace difícil de imaginar en estratos sociales bajos de países no desarrollados, en los cuales los niveles de ingreso y, por consiguiente, de alfabetización son bajos. Si bien McKie Mason y Varian (1994) sugieren que el problema distributivo del acceso a Internet debe ser contemplado como exógeno al sistema de precios de la red, los autores brasileños sugieren en cambio alternativas distributivas basadas en precios regulados internamente. Pero para ello, deben tenerse en cuenta precios subsidiados de conexión, como los estudiados en el inciso anterior.

Aquí debe prestarse atención, porque esta posición puede llevar implícitamente a un empeoramiento de la congestión. Es decir, si se subsidian precios de conexión se permitirá una mayor equidad social, a costa de un nivel de congestión superior (calidad de servicio inferior). Ello hace pensar en la urgencia en desarrollar estos sistemas de precios que

descongestionen el sistema ó en el replanteo del estudio de equidad de acceso a la red sobre las bases de mayores niveles de congestión posteriores (menores niveles de calidad de servicio).

Poca evidencia existe de la aplicación de estos esquemas e investigación de las consecuencias de la misma a usuarios reales. Sólo se puede citar un ejemplo esbozado por Varian (1999), aporte que será esquematizado a continuación.

### 5.1 Una experiencia de fijación de tarifas diferenciales. El proyecto Index

Hacia 1998 se desarrolló en la sede Berkeley de la Universidad de California un proyecto denominado Index, cuya función era la de proveer de diferentes calidades de servicio de Internet a pedido. El sistema funcionaba de la siguiente manera. Una vez solicitado el servicio, este era automáticamente suministrado y cargado por un valor de un esquema tarifario propuesto. Las calidades de servicio ofrecidas se relacionan al ancho de banda disponible. En este experimento se ofrecen 6 anchos de bandas con distintos precios asociados. Era posible cambiar de ancho de banda a discreción, asumiendo el cargo de conexión correspondiente. Las calidades de servicio comprenden anchos de banda parten de los 8 Kbs, el cual era gratuito, siguiendo con 16 Kbs hasta los 128 Kbs, los cuales se cobraban escaladamente desde 0.1 centavos hasta los 12 centavos el minuto de conexión. Asimismo se realizaba un seguimiento de diversas características de los demandantes ante cada calidad de servicio suministrada. Este seguimiento permitía estimar la voluntad de los usuarios para pagar por diferentes calidades de servicio de Internet y de ese modo estimar la demanda de los usuarios por dichos servicios; véase Varian (1999).

Los resultados de dicha investigación revelan algunos resultados esperados y otros no tanto. Por ejemplo, cuando se analizan la elasticidad precio de sustitución de las calidades de servicios. Las elasticidades precio de sustitución reflejan los cambios de demanda porcentuales cuando varía el precio del servicio ofrecido y cuando varía en el precio de los otros servicios (Tabla 3).

**Tabla 3. Elasticidades precio por ancho de banda**

| Ancho de banda | p128        | p96         | p64         | p32         | p16         |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| P128           | <b>-2.0</b> | + .80       | + .25       | -.02        | -.16        |
| P96            | +1.7        | <b>-3.1</b> | + .43       | + .19       | + .18       |
| p64            | + .77       | +1.8        | <b>-2.9</b> | + .59       | + .21       |
| p32            | + .81       | -1.0        | +1.0        | <b>-1.4</b> | + .15       |
| p16            | + .20       | -.29        | + .04       | +1.2        | <b>-1.3</b> |

Fuente: Varian (1999)

La Tabla 3 muestra los resultados de las estimaciones hechas en este experimento. Las elasticidades propias de precios (es decir, el diagonal de la matriz, en negritas) son todas negativas y mayores que uno. Ello quiere decir que un aumento en el precio de un ancho de banda repercute en una caída de la demanda del mismo por un porcentaje superior a la variación del precio. Por ejemplo, en el caso del ancho de banda de 96 Kbs, un aumento del 1% en el precio de dicha calidad de servicio deviene en una caída del 3.1% en la demanda por dicho ancho de banda. Asimismo las elasticidades precio cruzadas (es decir, el cambio en la demanda por un ancho de banda cuando varía el precio de otro ancho de banda) para las calidades de servicio contiguas son positivas y mayores ó iguales a uno (en la Tabla 3 están marcadas en *italicas*). Ello quiere decir que un aumento en el precio de una calidad del servicio deviene en un traspaso de la demanda a la calidad de servicio inmediatamente inferior. Nuevamente, el aumento de un 1% en el precio de la calidad de servicio del 96 Kbs repercute en un aumento de la demanda por la calidad de servicio de 64 Kbs del 1.8%.

Otro ítem explorado por el autor es del costo en tiempo de los usuarios al estar conectados. Es decir, cuanto sacrifican los usuarios de su tiempo por cada calidad de servicio y como este sacrificio ó costo afecta el nivel de demanda. Para ello se supone que

los usuarios tienen diferentes valoraciones del tiempo dependiendo de cada circunstancia en particular. Existen momentos en los cuales estamos apurados y cualquier demora en la recepción de nuestros requerimientos de servicios nos resulta costosa en términos de bienestar. En otros momentos, la paciencia ó la falta de presión nos permite observar la misma situación como algo menos problemático. El autor empieza por derivar una función de utilidad de los usuarios con respecto a la demanda de servicios. En dicha función se incluye el beneficio de obtener determinadas cantidad de bytes (es decir el requerimiento de información solicitada a la red), los costos efectivos por subscribirse a un determinado ancho de banda y los costos subjetivos dependiendo de la circunstancia específica en que estamos operando en la red. Este último ítem se despeja de los dos primeros, que son con los que se cuentan datos específicos, a partir del cual el autor deriva bandas superiores e inferiores de costos; véase Varian (1999, pág. 4). A partir de esto, se estiman frecuencias de conexión por cada centavo adicional de costos que componen la estructura de calidades de servicio ofrecidas. De la interpretación de dicha información se concluye que el costo subjetivo de conexión por minuto es bajo. Más precisamente, un 80% de la muestra estimada (unos 70 usuarios) revelaban un costo inferior a un centavo por minuto de conexión. Es decir que cada minuto de conexión adicional les costaba en términos monetarios a los usuarios apenas superior al de la calidad de servicio inferior (la gratuita de 8 Kbs).

Esta información, desagregada por tipo de ocupación de los mismos (profesionales, técnicos, administrativos ó estudiantes), da una mejor idea del costo subjetivo por tipo de empleo de los usuarios empleado en esta muestra en la siguiente estimación por mínimos cuadrados:

$$c = 0.86 \cdot \text{professional} + 2.4 \cdot \text{technical} + 7.02 \cdot \text{admin} + 0.91 \cdot \text{student}$$

Todos los tests son significativos estadísticamente (no se publican tampoco en el original). De los resultados se expone que los costos más altos son los incurridos por usuarios que requieren de una conexión fiable y permanente como parte de su empleo (administrativos y técnicos), mientras que aquellos que usan la conexión con propósitos más puntuales incurrir en menores costos (profesionales y estudiantes). Debe tenerse cuidado en la interpretación de estos resultados por el tamaño y origen de la muestra original. La misma corresponde a una distribución muestral que no necesariamente corresponde al de la población en general; estos resultados son meramente orientativos.

Ahora bien, intentando dar respuestas posibles a la estimación de tan bajo costo, el autor enuncia algunas posibles causas:

- Los usos del tiempo del usuario son amplios y variados. Los usuarios no necesariamente dan prioridad principal al tiempo que tarda en descargarse un programa ó archivo. Al mismo tiempo, la función multitarea de los programas actuales permite al usuario descargar archivos en *background*, es decir mientras se observan otras pantallas ó ejecutan otras tareas, por lo que dicho tiempo puede ser aprovechado de otra manera.
- El control que se ha realizado durante esta experiencia no comprende la calidad del servicio del resto de la Internet. Es decir, un usuario puede acceder a un servidor remoto con alta congestión, y el precio pagado por el servicio local de provisión de ancho de banda no refleja dicha situación.

En síntesis, este experimento confirma, si bien de forma parcial y con datos de carácter exploratorios, ciertos resultados previstos por los modelos anteriormente analizados. En primer lugar, el aumento de precios en un ancho de banda lleva a los usuarios a disminuir el tráfico por dicho ancho de banda y a trasladarse, en mayor medida, al ancho de banda (ó clase de servicio) inmediatamente inferior. Es decir que los usuarios reaccionan a los precios de una manera palpable y efectiva, modificando su demanda. Sin embargo, en este experimento toma al costo por clase como una variable aproximada (*proxy*) del costo de congestión al que se enfrentarán los usuarios una vez conectados a la red. No está especificado en el experimento ningún procedimiento particular de detección de congestión

como los sugeridos por los aportes anteriores. Asimismo, no se profundiza en el tema de una mayor demanda para la clase de servicio gratuita (8 Kb) con lo que se pierde de buscar explicaciones para más del 50% de la demanda del servicio de conexión total.

## 6. Conclusiones y agenda de investigación

Los servicios brindados en Internet debieran ser dirigidos hacia sistemas autorregulables que lidien con los problemas de congestión actualmente observados. Las razones de estos problemas son básicamente estructurales: los usuarios crecen en mayor medida que la infraestructura necesaria para brindar calidades de servicios aceptables. Las dos posturas que analizan soluciones teóricas al respecto basados en herramientas económicas coinciden en afirmar que si los usuarios tienen información respecto al estado de congestión de la red, entonces éstos actuarán de una manera que lleve a que se aprovechen mejor los recursos propios y de red. Es decir se propone una solución descentralizada al problema de tarifación. Los niveles de bienestar de cada usuario serán mejores (es decir recibirán un ratio de [(cantidad de bytes traficados)/tiempo de tráfico] superior) mientras que los niveles de congestión serán menores comparados con el caso en el que no se posee dicha información.

La postura de mayor equidad en el acceso a la red plantea también una necesidad que debe ser contemplada por las autoridades reguladoras. Asimismo, ambas posiciones deberían aunar esfuerzos para considerar el efecto de un posterior aumento en el tráfico que se presentaría ante el mayor número de usuarios conectados bajo dicho esquema de subsidios.

Las posiciones expuestas a lo largo de esta investigación no dejan de ser en sus alcances más que propuestas potenciales. Una de las grandes preguntas será sin duda determinar qué herramienta tecnológica se implementará efectivamente. A tal efecto se postulan modificaciones al protocolo TCP (protocolo de transporte) ó al protocolo IP (protocolo básico de empaquetamiento). Sin dudas, que un debate clave del futuro de la apreciación de los servicios de redes recaerá en como efectivamente se interpretarán y se solucionarán el problema de congestión al nivel de protocolo de las capas inferiores de la red, dado que activar las soluciones sobre estas capas de operación redundará en mayor velocidad en la toma de decisiones y en la mayor descentralización de las mismas. Éstos dos ítems deben considerarse siempre que se busquen soluciones eficientes.

Asimismo la extensiva experiencia en el uso de las redes demuestra que los problemas de congestión se pueden solucionar estableciendo barreras inteligentes dentro de una red para aislar dominios de colisión. En el caso de Internet, una solución plausible a largo plazo es la de crear redes que compitan en servicios con ésta, pero que se mantengan interconectadas a través de portales (*gateways*) que aislen la congestión de red respecto a la otra. Aquí un sistema de precios podría seguir funcionando como herramienta secundaria de descongestión.

## Notas al final

<sup>1</sup> A este respecto debe destacarse que aportes como los de McKie-Mason y Varian (1994b,c), Cocchi y otros (1993), Edell y otros (1995) y McKie-Mason (1997), entre otros, formarán parte de un análisis posterior a este trabajo.

<sup>2</sup> En este caso se refiere específicamente a los costos insumidos en el mantenimiento de la NSFNET.

<sup>3</sup> Debe destacarse que también ATM adosa 5 bytes de encabezamiento adicional al de TCP/IP.

<sup>4</sup> Esto remite usualmente al denominado caso de la *tragedia de los campos comunales* en la Inglaterra de principios del siglo XIX (véase Gupta, Stahl y Whinston, 1995c). En ella se



recuerda el caso del otorgamiento de campos de propiedad comunal a los granjeros ingleses de un determinado condado para su explotación conjunta. Esta propiedad en común de los recursos llevó a una sobreexplotación de la tierra con su consiguiente degradación. Finalmente, nadie podía obtener ni siquiera niveles de rendimiento mínimo para su producción. En Internet, el paralelismo se traza a través de la sobreutilización de la red, que deriva en grandes congestiones con la consiguiente baja calidad de los servicios para todos los usuarios.

<sup>5</sup> Los beneficios se estiman a través de comparar la cantidad de bits solicitados por el usuario ante una demanda asignada a una clase específica multiplicada por la probabilidad de ser recibida la cantidad solicitada de bytes menos el tiempo de espera probable al que se ve enfrentado dicho pedido.

<sup>6</sup> Estos autores desarrollaron un software de simulación bajo entorno Java en los cuales se pueden observar estos resultados. El archivo puede descargarse gratuitamente desde <http://www.microsoft.com/users/pbk/pbk.htm>.

<sup>7</sup> La denominada ley de Metcalfe determina que el valor de una red puede ser estimado en base al cuadrado del número de conectados a la misma (véase a Shapiro y Varian, 1999, págs. 183-184). Ello porque se presentan dos externalidades de red: el efecto accesibilidad (a medida que aumenta el número de usuarios, aumenta el número posible de puntos de acceso a la red) y el efecto economías de escala (a mayor cantidad de usuarios, mayor conectividad e intercambio de información).

<sup>8</sup> De hecho este esquema de dos anchos de banda fue utilizado para las simulaciones descritas anteriormente.

## Referencias

- Brown, S., y D. Sibley**, *The Theory of Public Utility Pricing*, Cambridge, Gran Bretaña: Cambridge University Press, 1986, citado por Nogueira y Cavalcanti (1996b, 1997).
- Cocchi, Ron, Scott Schenker, Debora Estrin y Lixia Zhang**, "Pricing in Computer Networks: Motivation, Formulation, and Example", *reporte técnico*, University of Southern California, Octubre 1993.
- Edell, Richard J., Nick McKeown and Pravin P. Varaiya**, "Billing Users and Pricing for TCP", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 13, No. 7, Septiembre 1995.
- Faulhaber, G.R.**, "Public Policy for a Networked Nation", *Working Paper 97/55/EPS*, INSEAD, Fontainebleau, Francia, 1997.
- Feldstein, M.**, "Distributional equity and the optimal structure of public prices", *American Economic Review*, 1972.
- Gibbens, R.J. y P.B. Key**, "The Use of Games to Assess User Strategies for Differential Quality of Service in the Internet", *working paper*, Microsoft Research Limited, noviembre 1999.
- Gillett, Sharon Eisner**, "The Internet", extraído de *Connecting Homes to the Internet: An Engineering Cost Model of Cable vs. ISDN*, Capítulo II, disertación doctoral, M.I.T., Cambridge, Massachusetts, 1995.
- Gupta, Alok, Dale O. Stahl y Andrew Whinston**, "An Economic Approach to Networked Computing with Priority Classes", manuscrito, Center for Research in Electronic Commerce, University of Texas at Austin, diciembre 1994.
- 
- \_\_\_\_\_, "Pricing of Services on the Internet", manuscrito, Center for Research in Electronic Commerce, University of Texas at Austin, 1995a.

- \_\_\_\_\_, "Priority Pricing of Integrated Services Networks", manuscrito, Center for Research in Electronic Commerce, University of Texas at Austin, marzo 1995b.
- \_\_\_\_\_, "The Internet: A Future Tragedy of the Commons?", *Conference on Interoperability and the Economics of Information Infrastructure Papers*, Rosslyn, Virginia, EE.UU., julio 5-6, 1995c.
- \_\_\_\_\_, "A Stochastic Equilibrium Model of Internet Pricing", *Journal of Economic Dynamics And Control* (21) 4-5 (1997), págs. 697-722.
- \_\_\_\_\_, "The Economics of Network Management", *Communications of the ACM*, Vol. 42, N° 9, septiembre 1999, págs. 57-63.
- Key, Peter**, "Service Differentiation: Congestion Pricing, Brokers and Bandwidth Futures", working paper, Microsoft Research Limited, 1999a.
- \_\_\_\_\_, "Distributed Admission Control and Congestion Pricing", *Workshop on Pricing and Quality of Service* ENST, Paris, Francia, 23-24 septiembre 1999b; <http://research.microsoft.com/research/network/talks/parisqospk.ppt>
- Key, Peter y Derek R. McAuley**, "Differential Quality of Service and Pricing in Networks: where flow-control meets game theory", *Institute of Electrical Engineering Proceedings Software*, Vol. 146, No 2, marzo 1999.
- Lin, Zhan, Dale O. Stahl, Peng Si Ow y Andrew Whinston**, "Exploring Traffic Pricing for the Virtual Private Network", manuscrito, Center for Research in Electronic Commerce, University of Texas at Austin, 1999.
- McKie-Mason, Jeffrey**, "A Smart Market for Resource Reservation in a Multiple Quality of Service Network", Dept. of Economics and School of Information, University of Michigan, marzo 1997.
- McKie-Mason, Jeffrey y Hal Varian**, "Some Economics of the Internet", manuscrito, University of Michigan, febrero 1994a.
- \_\_\_\_\_, "Pricing the Internet", manuscrito, University of Michigan, febrero 1994b.
- \_\_\_\_\_, "Pricing Congestible Network Resources", manuscrito, University of Michigan, noviembre 1994c.
- Nogueira, José Ricardo y J.C. Cavalcanti**, "Social Externalities and the Internet: the Public Access Question", manuscrito, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 1996a.
- \_\_\_\_\_, "Pricing Network Services: The Case of the Internet", *XIV Latin American Meeting of the Econometric Society Papers*, Rio de Janeiro, Agosto, 1996b.
- \_\_\_\_\_, "The Safety Net Approach to Internet Pricing", manuscrito, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 1997.
- Shapiro, Carl y Hal R. Varian**, *Information Rules*, Harvard University Press, 1999.
- Varian, Hal R.**, "Estimating the Demand for Bandwidth", working paper, University of California at Berkeley, agosto 1999.