

Los costes de la carretera y el peaje de congestión^(*)

Por ANGEL URIARTE GONZALEZ

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático de Economía de la E.T.S. de C.C.P. Santander.

Las grandes inversiones que exige la infraestructura viaria de un país hacen necesario buscar la optimización económica de la utilización de los cuantiosos recursos que implican. Para ello se requiere un análisis de costes y beneficios donde se contemple la mayor cantidad de factores posible, a lo cual se dedica el siguiente artículo, que presenta asimismo conclusiones de aplicación al caso español.

En la prestación de un servicio de transporte por carretera colaboran dos bienes de carácter complementario: la **carretera**, o infraestructura fija, bien de utilidad pública y propiedad, por lo general, también pública y los **vehículos**, o estructura rodante, de propiedad, en su mayor parte, privada.

Esta separación de la propiedad entre vehículos y carretera hace que cuando se habla de costes y beneficios de una carretera haya que considerar, según el sujeto que soporta tales costes, o recibe dichos beneficios, los costes y los beneficios de los usuarios, los costes y beneficios que la carretera origina a la colectividad como conjunto de usuarios, los costes y beneficios del ente propietario de aquella y, finalmente, los costes y beneficios que la carretera origina a la colectividad como conjunto de usuarios, propietarios y terceras personas y que constituyen los costes y beneficios colectivos o sociales.

a) Costes y beneficios de una carretera

Los usuarios de una carretera soportan los **costes de circulación de los vehículos** compuestos, a su vez, por los **costes de funcionamiento**, o de **operación**, de los vehículos, por el **valor del tiempo** empleado en los recorridos y por los posibles **peajes**, en el caso que se recurra a esta forma de explotación de la carretera. A su vez, los distintos costes parciales

que integran el coste de funcionamiento de los vehículos se dividen en dos grupos: un primer grupo, constituido por aquellos costes que, como son los correspondientes a los conceptos de garaje, seguro, amortización y mantenimiento (engrase, lavado, pintura, etc), son independientes del tráfico, y un segundo grupo, formado por los costes derivados del consumo de combustible y lubricantes y del desgaste de cámaras y cubiertas en los cuales influye el tráfico.

La entidad, pública o privada, propietaria de la carretera debe atender a los **costes de servicio del capital** empleado en su construcción y a los **costes de conservación y explotación** de la misma. Dentro de estos costes se puede hacer también una diferenciación entre costes que, como son los de reparación de los daños causados por los elementos atmosféricos y el paso del tiempo, no dependen del tráfico y coste que varían con el tráfico, si bien en esta posible dependencia influye la clase de firmes y, más que el volumen de tráfico, su composición.

Todos estos elementos de coste se pueden valorar con **precios al coste de los factores**, o **precios reales**, que reflejarán el verdadero valor que tienen para la colectividad los factores productivos utilizados, o a **precios de mercado** que, fuera de los casos de precios «oficiales», se obtendrán añadiendo a los anteriores la diferencia neta entre impuestos indirectos y subvenciones.

De acuerdo con esto, si consideramos un tramo de carretera que tiene un coste real de construcción, esto es, estimado al coste de los factores, igual a K y un tráfico, que suponemos constituido por vehículos homogéneos, de Q

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de septiembre de 1987.

LOS COSTES DE LA CARRETERA Y EL PEAJE DE CONGESTION

vehículos/día, los **costes diarios de circulación de los vehículos** a precios de mercado vendrán expresados por una función de la forma

$$C_{VH} = C(Q, K) + (t - s)Q + pQ, \quad [1]$$

donde $C(Q, K)$ representa los costes reales diarios de circulación de los vehículos que recorrerán el tramo y t , p y s , respectivamente, las cantidades que, en concepto de impuestos indirectos, peajes y subvenciones, gravan, o priman, a dichos vehículos.

Estos usuarios, por otra parte, obtendrán un beneficio diario de la utilización de la carretera que, dentro de los supuestos del equilibrio parcial, vendrá dado por

$$B_{VH} = V(Q) - C(Q, K) - (t - s)Q - pQ, \quad [2]$$

donde $U(Q)$ representa la utilidad derivada de la carretera expresada en unidades monetarias de utilidad marginal constante.

En cuanto a los costes de la propiedad de la carretera, o **costes específicos de la carretera**, se podrán expresar en términos reales por

$$\begin{aligned} C_C(Q, K) &= aK + bQ + rK + T - S = \\ &= (r + a)K + bQ + T - S, \end{aligned} \quad [3]$$

donde aK representan los costes de conservación y explotación que no dependen del tráfico; bQ los citados costes dependientes del tráfico; rK ; donde r es el tipo de interés diario asociado a la inversión, los costes diarios del servicio del capital invertido en la carretera y, finalmente, T y S las cantidades que, en concepto de impuestos indirectos y subvenciones sobre la construcción y la conservación de la carretera, pueden imputarse diariamente a ésta.

Por su parte, la propiedad de la carretera obtendrá de la misma un beneficio diario igual a la diferencia entre los ingresos percibidos en concepto de peaje y los arriba citados costes de la carretera y, por lo tanto, expresado por

$$B_C(Q, K) = pQ - (r + a)K - bQ - (T - S) \quad [4]$$

Para obtener ahora el beneficio que recibe la colectividad como consecuencia de la existencia de la carretera, o **beneficio social de la ca-**

rrertera, habrá que añadir a la suma de los beneficios de los usuarios y de la propiedad de la carretera, por un lado, la diferencia neta entre impuestos indirectos y subvenciones que gravan, o priman, a la carretera y, por otro, la diferencia entre las **economías externas** que, como puede ser una posible contribución al desarrollo de la zona, genera la carretera y las **de-seconomías externas** que, en forma de daños derivados de accidentes, contaminación atmosférica y acústica, deterioro del paisaje, etc, se derivan de aquella.

Por lo tanto, el beneficio social de la carretera vendrá expresado por

$$\begin{aligned} B_1(Q, K) &= B_{VH}(Q, K) + B_C(Q, K) + \\ &+ (t - s)Q + T - S + E_{EX}(Q, K) - D_{EX}(Q, K) = \\ &= [U(Q) + E_{EX}(Q, K)] - [(r + a)K + bQ + \\ &+ C(Q, K) + D_{EX}(Q, K)] \end{aligned} \quad [5]$$

donde, el minuendo, representa las utilidades de todo tipo, directas e indirectas, que recibe la colectividad de la utilización de la carretera y, el sustraendo, que expresamos por

$$\begin{aligned} C_S(Q, K) &= (r + a)K + bQ + C(Q, K) + \\ &+ D_{EX}(Q, K), \end{aligned} \quad [6]$$

los **costes sociales diarios de circulación de la carretera**, que representan el verdadero valor de los bienes y servicios de todo tipo sacrificados directa e indirectamente como consecuencia de dicha utilización.

Es de observar como en las expresiones (5) y (6) del beneficio y de los costes sociales de la carretera no aparecen cantidades algunas en concepto de impuestos indirectos, subvenciones o peajes ya que, dado su carácter de transferencias entre usuarios y colectividad, los impuestos y las subvenciones, y entre usuarios y propiedad de la carretera, los peajes, se anulan al proceder a las correspondientes agregaciones. Sin embargo, aunque estos elementos no figuran en la expresión de los costes y beneficios sociales, al formar parte de la función de oferta del tráfico, influyen decisivamente en el ní-

LOS COSTES DE LA CARRETERA Y EL PEAJE DE CONGESTION

vel de utilización de la carretera y, a partir de éste, en la cuantía final de dichos costes y beneficio.

b) Los costes medios y marginales de circulación por carretera

En el estudio de la variación de los costes marginales y medios de circulación por carretera, así como en la posterior determinación de su nivel óptimo de utilización, supondremos que los costes fijos de circulación de los vehículos son nulos. Además, y en lo que se refiere a la colectividad, prescindiremos, dada la dificultad de su evaluación, de los efectos externos de todo tipo que ésta recibe como consecuencia de la existencia de la carretera.

Con esta base de partida y si además, en una primera aproximación, suponemos que los costes de explotación y conservación de la carretera son independientes del tráfico y no existen impuestos, peajes o subvenciones que graven, o primen, la construcción o la utilización de la infraestructura, los costes de circulación de los vehículos, de la carretera y sociales en una carretera de valor capital K_0 se podrán expresar de la forma

$$C_{VH} = C(Q, K_0), \quad [7]$$

$$C_C = (r + a) K_0, \quad [8]$$

$$C_S = (r + a) K_0 + C_{VH}(Q, K_0) \quad [9]$$

con lo que los costes medios de circulación de los vehículos y los costes marginales y medios sociales de circulación vendrán dados por

$$C^*_{VH} = \frac{C^*(Q, K_0)}{Q} = C^*(Q, K_0), \quad [10]$$

$$\frac{d C_S}{d Q} = \frac{d C(Q, K_0)}{d Q} = \frac{d C_{VH}(Q, K_0)}{d Q} \quad [11]$$

$$C_S = \frac{r + a}{Q} K_0 + C^*_{VH}(Q, K_0). \quad [12]$$

Para entrar ya en el análisis de la variación de los costes diarios de circulación de los vehículos con el tráfico en una carretera dada, conviene tener presente que, en condiciones de flui-

dez en la circulación, la entrada de un nuevo vehículo no afecta a las condiciones de circulación de los vehículos existentes con lo que, en consecuencia, los costes totales de circulación crecerán de forma proporcional con el tráfico. Este comportamiento se mantendrá hasta un cierto volumen de tráfico a partir del cual, debido a la menor fluidez de la circulación y a la consiguiente pérdida de velocidad de los vehículos, la incorporación a la carretera de nuevos vehículos dará lugar a una elevación de los costes unitarios de circulación de los vehículos existentes y, con ello, a un crecimiento más proporcional de los costes totales diarios de circulación del conjunto de los vehículos con el tráfico que, por su parte, seguirá aumentando hasta alcanzar un valor límite que ya no podrá ser superado por impedirlo la propia limitación de la carretera.

De acuerdo con lo expuesto, y tal como se ofrece en la figura 1, los costes medios y marginales de circulación de los vehículos vendrán representados por una recta paralela al eje OX y a una distancia a éste igual a $\overline{OA_0}$ hasta un cierto volumen de tráfico $\overline{OA'_0} = Q_0$ a partir del cual se separarán, siguiendo los costes medios la línea A_0AX y los costes marginales la A_0BY . En cuanto a los costes medios sociales de circulación, su variación con el tráfico seguirá la gráfica C_0CZ .

De esta forma, para un tráfico $\overline{OA'} = Q$, la entrada en la carretera de un nuevo vehículo dará lugar a un incremento en los costes sociales de circulación diarios, o coste marginal social de circulación, que vendrá representado por $\overline{A'B}$ y que cumplirá la condición

$$\begin{aligned} \overline{A'B} &= \frac{d C_S}{d Q} = \frac{d(Q C^*_{VH})}{d Q} = \\ &= C^*_{VH} + Q \frac{d C^*_{VH}}{d Q} = \overline{A'A} + \overline{AB}, \end{aligned} \quad [13]$$

lo que pone de manifiesto como el incremento producido en los costes diarios de circulación de una carretera como consecuencia de la incorporación al tráfico de un nuevo vehículo se compone de dos sumandos: uno, representado por $\overline{A'A} = C^*_{VH}$, igual al coste de circulación del vehículo incorporado, y otro, representado

LOS COSTES DE LA CARRETERA Y EL PEAJE DE CONGESTION

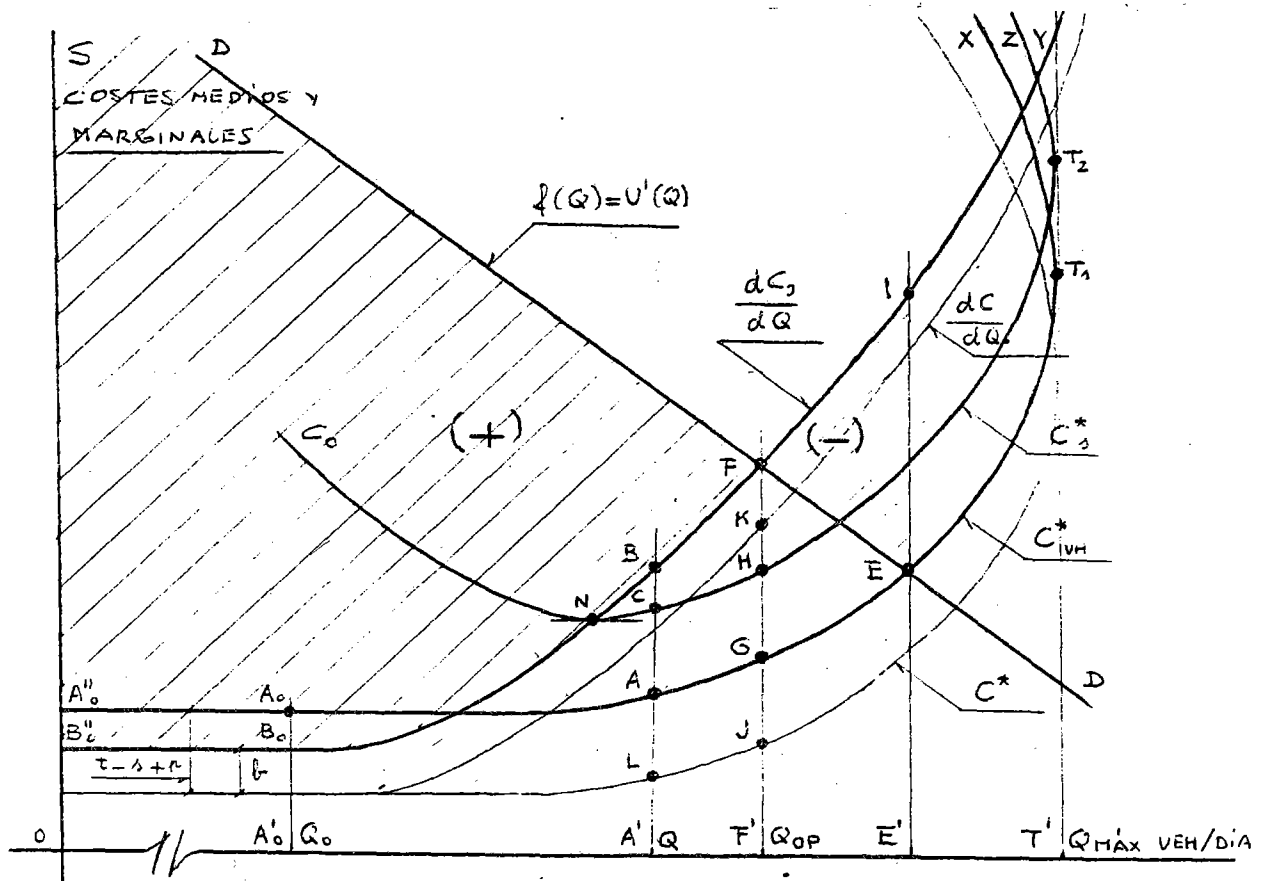


Figura 2

$$= C^*(Q, K_0) + t - s + p, \quad [14]$$

$$\frac{d C_s}{d Q} = b + \frac{d C(Q, K_0)}{d Q} = b + \frac{d C_{VH}(Q, K_0)}{d Q} - (t - s + p), \quad [15]$$

$$C^*_s = \frac{r + a}{Q} K_0 + b + C^*(Q, K_0). \quad [16]$$

En la figura 2 se representa la variación de los costes medios de circulación de los vehículos (a.p.m.) y de los costes marginales sociales de circulación. Se observa que hasta un volumen de tráfico representado por $OA'_0 = Q_0$, al circular los vehículos en condiciones de fluidez, dichos costes son constantes e iguales a OA''_0 y OB''_0 , respectivamente, empezando a crecer unos y otros a partir de dicho tráfico, los primeros, esto es, los costes de circulación de los vehículos, según la curva A_0AX y los segun-

dos, esto es, los costes marginales sociales de circulación, siguiendo la curva B_0BY . En cuanto a los costes medios sociales, su variación seguirá la curva C_0CZ .

Por lo tanto, para un volumen de tráfico $OA' = Q$, el incremento que experimentan los costes sociales de circulación diarios como consecuencia de la entrada de un vehículo adicional en la carretera, o coste marginal social de circulación, vendrá representado por $A'B$ y podrá descomponerse de la forma

$$\begin{aligned} \overline{A'B} &= \frac{d C_s}{d Q} = b + \frac{d C(Q, K_0)}{d Q} = \\ &= b + \frac{d(QC^*)}{d Q} = \\ &= C^* + \left[b + Q \frac{d C^*}{d Q} \right] = \overline{A'L} + \overline{LB} = \end{aligned}$$

$$= C^*_{vh} + \left[b + \frac{d \cdot C^*_{vh}}{d Q} - (t - s + p) \right] =$$

$$= \overline{A'A} + \overline{AB}, \quad [17]$$

lo que permite distinguir dentro de dicho incremento de coste dos partes: una, representada por $\overline{A'L} = C^*$, esto es, igual al coste de circulación real del vehículo incorporado, y, otra, representada por $\overline{LB} = b + Q \frac{d C^*}{d Q}$, que expresa los costes que la citada incorporación origina a la carretera y a los costes reales de circulación de los vehículos existentes.

c) Utilización óptima de una carretera

Para estudiar la utilización óptima de una carretera seguiremos prescindiendo de los efectos externos que produce, esto es, de las economías y deseconomías externas que tienen su origen en dicha infraestructura.

Si además, y al igual que se hizo en el apartado anterior, consideramos una primera fase en la que no existen costes de conservación dependientes del tráfico, ni impuestos indirectos, peajes o subvenciones que graven, o primen, a los vehículos, el beneficio social de la carretera, expresado con carácter general por [5], quedará reducido a

$$B_s(Q, K) = U(Q) - C_s(Q, K) =$$

$$= U(Q) - \left[(r + a)K + C(Q, K) \right] \quad [18]$$

con lo que el volumen de tráfico y el valor capital óptimo de la carretera podrán obtenerse a partir de las ecuaciones

$$\frac{\partial B_s}{\partial Q} = U'(Q) - \frac{\partial C_s(Q, K)}{\partial Q} =$$

$$= U'(Q) - \frac{\partial C(Q, K)}{\partial Q} = 0$$

$$\frac{\partial B_s}{\partial K} = -(r + a) - \frac{\partial C(Q, K)}{\partial K} = 0$$

que pueden expresarse de la forma

$$U'(Q) = \frac{\partial C(Q, K)}{\partial K} \quad [19]$$

$$-(r + a) = \frac{\partial C(Q, K)}{\partial K} \quad [20]$$

y que indican, la primera, que el volumen óptimo de tráfico de una carretera vendrá dado por aquel valor del tráfico Q para el que el coste marginal de circulación de los vehículos será igual a su utilidad marginal y, la segunda, que el valor capital óptimo de una carretera vendrá determinado por el valor de K para el que la reducción experimentada en los costes de circulación como consecuencia de un incremento infinitesimal de dicho capital sea igual a las cargas diarias soportar en concepto de intereses y conservación por unidad de capital.

Si particularizamos las conclusiones anteriores para una carretera concreta de valor capital K_0 , la ecuación [19] se convierte en

$$f(Q) = U'(Q) = \frac{dC(Q, K_0)}{dQ} =$$

$$= \frac{dC(Q, K_0)}{dQ}, \quad [21]$$

que pone de manifiesto que, tal como se representa en la figura 1, el volumen de tráfico óptimo vendrá determinado por la abscisa OF' del punto F de intersección de las gráficas representativas de la función de demanda del tráfico en el supuesto considerado de equilibrio parcial, $f(Q) = U'(Q)$, y de la de variación del coste marginal social que, en el caso particular que venimos considerando, coincide con el coste marginal de circulación de los vehículos.

El volumen óptimo de tráfico genera un beneficio social máximo que, de acuerdo con la función [18], vendrá dado por

$$B_s(Q_{OP}, K_0) = U(Q_{OP}) - C_s(Q_{OP}, K_0) =$$

$$= U(Q_{OP}) - \left[(r + a)K_0 + C(Q_{OP}, K_0) \right]$$

y que conforme se deduce de la figura 1 vendrá representado por

$$B_s(Q_{OP}, K_0) = \int_0^{OF'} f(Q) dQ - Q_{OP} \times$$

$$\times C_s(Q_{OP}, K_0) =$$

$$= \text{AREA } OF'FS - \text{AREA } OF'H'H'' =$$

$$= \text{AREA } H''HFS.$$

LOS COSTES DE LA CARRETERA Y EL PEAJE DE CONGESTION

En cuanto al excedente social de la carretera, que se obtendrá restando del beneficio social los costes fijos de circulación de los vehículos y de la carretera, en el supuesto que venimos considerando de prescindir de los primeros, vendrá expresado por

$$E_s(Q_{OP}, K_0) = U(Q_{OP}) - C(Q_{OP}, K_0)$$

y estará representado por

$$\begin{aligned} E_s(Q_{OP}, K_0) &= \int_0^{\overline{OF'}} f(Q) dQ - Q_{OP} \times \\ &\quad \times C^*(Q_{OP}, K_0) = \\ &= \text{AREA } \underline{OF'FS} - \text{AREA } \underline{OF'GG''} = \\ &= \text{AREA } \underline{G''GFS} = \\ &= \int_0^{\overline{OF'}} f(Q) dQ - \int_0^{\overline{OF'}} \frac{dC}{dQ} dQ = \\ &= \text{AREA } \underline{OF'FS} - \text{AREA } \underline{OF'FA''_0} = \\ &= \text{AREA } \underline{A''_0A_0FS}. \end{aligned}$$

Ahora bien, en el caso que se viene considerando de una carretera explotada en régimen libre, la curva de oferta del tráfico coincidirá con la gráfica representativa de la variación de los costes medios de circulación, ya que dicho coste es el precio que pagan los vehículos por circular por la carretera. Esto dará lugar a un grado de utilización de la carretera medido por la abscisa $\overline{OE'}$ del punto E de la figura 1 donde dicha curva corta a la gráfica representativa de la función demanda del tráfico $f(Q) = U'(Q)$ y a un excedente social que vendrá expresado por

$$\begin{aligned} E_s(\overline{OE'}, K_0) &= \int_0^{\overline{OE'}} f(Q) dQ - \int_0^{\overline{OE'}} \frac{dC}{dQ} dQ = \\ &= \text{AREA } \underline{OE'ES} - \text{AREA } \underline{OE'IA''_0} = \\ &= \text{AREA } \underline{A''_0A_0FS} - \text{AREA } \underline{FEI}, \end{aligned}$$

lo que pone de manifiesto como, en una carretera explotada en régimen libre, al no tener los vehículos en cuenta más que su propio coste y no considerar el incremento de costes que su entrada en la carretera origina a los restantes vehículos, se produce un exceso de tráfico que

provoca unas pérdidas sociales medidas por el área del triángulo curvilíneo FEI de la figura 1.

Esta pérdida social podría evitarse imponiendo a los usuarios de la carretera un gravamen, o **peaje de congestión**, en cuantía $\underline{GF} = \overline{F'F} - \overline{F'G}$, esto es, igual a la diferencia entre los valores del coste marginal social y del coste medio de circulación de los vehículos para el tráfico óptimo $\overline{OF'} = Q_{op}$. De esta forma, al disuadir de entrar en la carretera a todo vehículo cuyas ganancias netas de utilidad, medidas por la diferencia entre las ordenadas de las curvas de demanda del tráfico y de coste medio de circulación, fueran inferiores al citado peaje \underline{GF} , se reduciría el volumen de tráfico al nivel óptimo deseado $\overline{OF'}$.

La imposición de un peaje de congestión, expresado, de acuerdo con [13], por

$$\begin{aligned} GF &= \frac{dC_s(Q_{OP}, K_0)}{dQ} - C^*(Q_{OP}, K_0) = \\ &= Q_{OP} \frac{dC^*(Q_{OP}, K_0)}{dQ} \end{aligned} \quad [22]$$

supone unos pagos de los usuarios de la carretera a la colectividad en una cuantía medida por el área $\underline{G''GFF''}$. Estos pagos, que reducen el excedente de los usuarios de su valor primitivo, representado por el área $\underline{G''GFS}$, a un valor representado por el área $\underline{F''FS}$ se descomponen en dos partes: una primera parte, medida por el área $\underline{G''GHH''}$, igual a los costes de interés del capital y de conservación y explotación de la carretera y que, por ello, debería dedicarse a estas atenciones y, una segunda parte, representada por el área $\underline{H''HFF''}$, que constituye una transferencia de los usuarios a la colectividad y que, en buena teoría, deberá destinarse para aumentar la utilidad de dichos usuarios mejorando el nivel de servicio de la carretera.

Si introducimos ahora en nuestro análisis los gastos de conservación dependientes del tráfico y los impuestos indirectos, peajes y subvenciones que gravan, o priman, la circulación de los vehículos, el beneficio social de la carretera de valor capital K_0 vendrá expresado por

$$\begin{aligned} B_s(Q, K_0) &= U(Q) - C_s(Q, K_0) = \\ &= U(Q) - [(r+a)K_0 + bQ + C(Q, K_0)] \end{aligned} \quad [23]$$

con lo que el volumen de tráfico óptimo vendrá dado por el valor de \underline{Q} que verifique la ecuación

$$\begin{aligned} \frac{dB_s}{dQ} &= U'(Q) - \frac{dC_s(Q, K_0)}{dK} = \\ &= U'(Q) - \left[b + \frac{dC(Q, K_0)}{dQ} \right] = 0, \end{aligned}$$

esto es,

$$\begin{aligned} f(Q) &= U'(Q) = \frac{dC_s(Q, K_0)}{dQ} = \\ &= b + \frac{dC(Q, K_0)}{dQ} \quad [24] \end{aligned}$$

lo que, conforme se observa en la figura 2, se cumplirá para el volumen de tráfico definido por la abscisa $\overline{OF'}$ del punto F de la intersección de la curva de demanda del tráfico \underline{DD} y la gráfica representativa de la variación del coste marginal social $\underline{B''_0BY}$.

Este volumen óptimo, por otra parte, dará lugar a un excedente social que vendrá expresado por

$$\begin{aligned} E_s(Q_{OP}, K_0) &= \int_0^{\overline{OF'}} f(Q) dQ - \int_0^{\overline{OF'}} \frac{dC_s}{dQ} dQ = \\ &= \text{AREA } \underline{OF'FS} - \text{AREA } \underline{OF'FB_0B''_0} = \\ &= \text{AREA } \underline{B''_0B_0FS}. \end{aligned}$$

Ahora bien, dado que, al igual que sucedía en el caso anterior la curva de oferta del tráfico coincide con la gráfica representativa de la variación de los costes medios de circulación de los vehículos, el volumen de tráfico que circulará por la carretera vendrá dado por la abscisa $\overline{OE'}$ del punto E donde la citada curva de oferta del tráfico $\underline{A''_0AX}$ corta a la curva de demanda \underline{DD} .

Esto dará lugar a un excedente social que, de acuerdo con la citada figura 2, estará representado por

$$\begin{aligned} E_s(\overline{OE'}, K_0) &= \int_0^{\overline{OE'}} f(Q) dQ - \int_0^{\overline{OE'}} \frac{dC_s}{dQ} dQ = \\ &= \text{AREA } \underline{OE'ES} - \text{AREA } \underline{OE'IB_0B''_0} = \\ &= \text{AREA } \underline{B''_0B_0FS} - \underline{FEI}. \end{aligned}$$

lo que pone de manifiesto como, al igual que sucedía en el caso anterior, al considerar los vehículos únicamente sus costes de circulación y no tener en cuenta los costes originados a la administración de la carretera y a los restantes vehículos, la carretera acaba soportando un tráfico superior al óptimo lo que, en consecuencia, produce unas pérdidas sociales medidas por el área \underline{FEI} de la figura 2.

Para evitar estas pérdidas habrá que disuadir de entrar en la carretera a todos aquellos vehículos para los que la utilidad recibida como consecuencia de su incorporación a la misma fuera inferior al coste adicional que dicha incorporación originaría a la colectividad. Esto, de forma análoga al caso anterior, se podrá conseguir imponiendo un peaje adicional igual, de acuerdo con [17], a

$$\begin{aligned} \overline{GF} &= \overline{F'F} - \overline{F'G} = \frac{dC_s(Q_{OP}, K_0)}{dQ} - \\ &= C^*_{VH}(Q_{UP}, K_0) = \\ &= b + \frac{dC(Q_{OP}, K_0)}{dQ} - C^*(Q_{OP}, K_0) - \\ &= [t - s + p] = \\ &= Q_{OP} \frac{dC^*(Q_{OP}, K_0)}{dQ} + b - [t - s + p] = \\ &= Q_{OP} \frac{dC^*_{VH}(Q_{OP}, K_0)}{dQ} + b - [t - s + p] \quad [25] \end{aligned}$$

esto es, igual a la diferencia para el volumen de tráfico óptimo entre el incremento de coste que la incorporación de un nuevo vehículo origina a la colectividad y la parte de dicho coste pagada por el propio vehículo incorporado e igual, también, a la diferencia para el mismo volumen de tráfico entre los incrementos de costes originados a los demás vehículos y a la propia administración de la carretera, representados en la figura 2 por $\underline{FJ} = \underline{JK} + \underline{KF} = Q_{OP} \frac{dC^*(Q_{OP}, K_0)}{dQ} + b$, y las cantidades pagadas por el vehículo a la colectividad en concepto de impuestos indirectos,

Por ello, y para evitar esta pérdida social, habrá que animar a utilizar la carretera a aquellos usuarios que recibieran de la misma una utilidad superior al coste adicional que dicha incorporación originase a la colectividad lo que podrá conseguirse concediendo al tráfico una bonificación igual a

$$\overline{FG} = C^*_{VH}(Q_{OP}, K_0) - \frac{d C_s(Q_{OP}, K_0)}{d Q} =$$

$$= [t - s + p] - \left[b + Q_{OP} \frac{d C^*_{VH}(Q_{OP}, K_0)}{d Q} \right] \quad [27]$$

esto es, igual a la diferencia, para el volumen de tráfico óptimo entre el coste medio de circulación de los vehículos y el coste marginal social e igual, también, al exceso en la cantidad pagada por los usuarios en concepto de impuestos, netos de subvenciones, y peajes y el coste adicional que la entrada de un nuevo vehículo en la carretera origina a los restantes vehículos y a la propiedad de aquella.

Esto reduce el peaje original de la carretera a un nivel óptimo igual a

$$p_{OP} = p + \overline{FG} =$$

$$= Q_{OP} \frac{d C^*_{VH}(Q_{OP}, K_0)}{d Q} + b - (t - s) \quad [28]$$

expresión que coincide con la [26] y que, al igual que aquella, indica que, con vistas a una óptima utilización de una carretera, el peaje a establecer debe ser igual a la diferencia entre el coste adicional originado por el vehículo marginal a los demás usuarios de la carretera y a la propiedad de ésta y las cantidades pagadas por dicho vehículo en concepto de impuestos menos subvenciones.

De la expresión [28] se deduce que cuando el citado coste adicional es igual a la cantidad pagada por el nuevo usuario en concepto de impuestos menos intereses, esto es, cuando se cumple

$$Q_{OP} \frac{d C^*_{VH}(Q_{OP}, K_0)}{d Q} + b = t - s$$

resulta $P_{OP} = p - \overline{FG} = 0$ y, en consecuencia, la optimización de la utilización de la carretera exigirá suprimir el peaje original p .

En el caso que el coste adicional original por el último vehículo incorporado al tráfico a los demás vehículos sea inferior a la carga soportada por aquel en concepto de impuestos indirectos menos subvenciones, esto es, cuando se verifica que

$$Q_{OP} \frac{d C^*_{VH}(Q_{OP}, K_0)}{d Q} + b < t - s$$

el peaje óptimo será negativo y, por lo tanto, para optimizar la utilización de la carretera habrá que reducir la cantidad pagada por los vehículos en concepto de impuestos indirectos menos subvenciones, $t - s$, lo que se podrá conseguir bien reduciendo los impuestos indirectos a pagar, bien elevando las subvenciones para aquellos transportes considerados de interés social o combinando una y otra política.

d) Conclusiones

La regla de una buena práctica económica de establecer el nivel óptimo de utilización de un servicio en el punto donde la utilidad de la última unidad recibida por los usuarios iguale al coste que implica su prestación, cuya tradición se remota a los estudios del ingeniero francés Dupuit sobre la utilidad de las obras públicas, publicados en los Annales de Ponts e Chaussées en 1844 y 1849, ofrece algunos problemas de aplicación en el caso de la carretera.

Estos problemas tienen su origen en la existencia de distintas curvas de oferta y demanda de los servicios de la carretera para los usuarios y para la colectividad.

Así, incluso en el supuesto más sencillo en que se prescinde de las economías y deseconomías externas de la carretera, si bien la utilidad social viene a coincidir, la función de oferta de los usuarios se diferencia de la función de oferta social, representada, como se ha visto, por la curva de costes marginales sociales, en que los primeros, salvo en casos especiales, no tienen en cuenta los costes que su incorporación a la carretera origina a los restantes usuarios ni los costes de conservación dependientes del tráfico.

Esta infravaloración de los costes de la carretera que, en principio, conduciría a una utilización de la misma por encima del óptimo desea-

ble, se encuentra corregida por el retraimiento que los impuestos, tasas y peajes que gravan la posesión y el uso de los vehículos producen a los usuarios de la carretera. De aquí que, con carácter general, puede afirmarse que la utilización de nuestra deficiente red viaria es inferior a la óptima y que la supresión de peajes y la reducción de impuestos mejoraría su rentabilidad económico-social.

Sin embargo existen casos en que la anterior afirmación es discutible. Uno de ellos es el de aquellas vías urbanas con gran densidad de tráfico y en las que el alto valor que tienen los costes marginales sociales, muy por encima de los costes medios de circulación de vehículos, da lugar a niveles de ocupación de la carretera por encima del nivel óptimo. Pero, en este caso, la imposición de una fiscalidad adicional que, en principio, podrá estar justificada, tropieza con la objeción de los impuestos y tasas que normalmente pagan los usuarios de las carreteras son más altos que los servicios que reciben.

Otro caso especial es el de los vehículos pesados. En efecto, sí, con carácter general y debido a la fuerte fiscalidad que soportan, los costes medios de los vehículos son mayores que los costes marginales sociales, en el caso particular de los vehículos pesados la situación suele ser opuesta ya que, por razón de su mayor volumen y peso, dan lugar a unos costes marginales sociales mucho más elevados que sus costes medios de circulación. Por esto, en este tipo de tráfico, la imposición de un gravamen complementario en función de la carga máxima autorizada, podría mejorar la circulación de las carreteras al desviar este tráfico pesado hacia otros medios de transporte que, por su bajo nivel de utilización, trabajan en condiciones sub-óptimas.

La consideración de las economías y deseconomías externas de la carretera, por lo general,

constituye un apoyo adicional a las conclusiones anteriores. Así, cuando una carretera genera unas economías externas, la función de demanda social está por encima de la función de demanda de los usuarios con lo que, en este caso, cualquier estímulo a una mayor utilización de aquella por medio de una reducción, e incluso supresión, de peajes, o de una disminución de los impuestos indirectos, o un aumento de las subvenciones, mejoraría el excedente social. Por el contrario, cuando, en lugar de economías externas, aparecen unos efectos externos no deseados, como puede ser la contaminación ambiental que en forma de polución atmosférica, ruido o intrusión visual acompaña a las congestiones de tráfico urbano, la mejora del excedente social exigiría establecer una fiscalidad adicional que, al reducir el volumen de tráfico de la carretera, aproximaría su grado de utilización al nivel óptimo deseable.

Angel Uriarte González



Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, (Promoción 1957), y Licenciado en Ciencias Económicas. Ha trabajado en la empresa privada y en los servicios periféricos y centrales del Ministerio de Obras Públicas. Desde 1977 es Catedrático Numerario de Economía de E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander. Ha publicado diversos trabajos sobre

temas económicos de carácter general y relacionados con la planificación y la explotación de las Obras Públicas.

