

EL VALOR DEL TIEMPO EN EL TRANSPORTE (*)

Por EDUARDO NUEZ CAÑIBANO

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

El tiempo es oro (dinero), pero ¿qué valor le atribuimos? El autor sintetiza brevemente la metodología de más reciente empleo en este tema, utilizada en los estudios económicos de transporte.

En los estudios económicos coste-beneficio, que sirven para demostrar la necesidad de una determinada infraestructura de transporte, o para recomendar la prioridad en la elección entre varias soluciones posibles, nos encontramos en la mayoría de los casos con que el mayor beneficio obtenido es social y consiste en un ahorro de tiempo en el transporte (público o privado). Por otra parte, en los más recientes estudios de reparto modal (*modal split*), que sirven para hacer una distribución teórica de viajes generados entre las diferentes modalidades de hacer el viaje, se usa cada vez más el binomio coste del viaje-tiempo del viaje, para determinar el comportamiento del viajero en la elección de medio de transporte y trayecto.

En este breve artículo trataremos de sintetizar, primero en forma deductiva puramente teórica y después con procedimientos prácticos, diversas maneras de obtener en forma suficientemente aproximada el valor que el viajero atribuye al tiempo.

Este valor, asignado subjetivamente por el viajero, varía con las personas, como es lógico, dependiendo de sus ingresos, nivel social, etc., etc., pero si asignamos al tiempo un valor relacionado con el salario medio, y lo aplicamos a la suma de

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio de 1972.

tiempos ahorrados por todos y cada uno de los viajeros afectados por la mejora, obtendremos, si bien de una manera aproximada, el valor monetario que puede atribuirse a las ventajas sociales obtenidas.

UTILIDAD MARGINAL DE UNA REDUCCION DEL TIEMPO DE VIAJE

Según la conocida ley económica de las utilidades ponderadas, la forma en que una persona distribuiría sus disponibilidades entre diferentes bienes será aquella en que la utilidad que le reporta la última unidad monetaria en cada uno de los bienes sea la misma; es decir, que si definimos una función índice de utilidad:

$$u = f(t_0, t_w, \gamma), \quad (1)$$

siendo:

t_0 = tiempo dedicado.

t_w = tiempo dedicado al trabajo.

γ = salario percibido por trabajo.

Según la ley enunciada anteriormente:

$$\frac{1}{P_0} \frac{\partial u}{\partial t_0} = \frac{1}{P_w} \frac{\partial u}{\partial t_w}, \quad (2)$$

Siendo P_w y P_0 los valores aplicables al tiempo dedicado a trabajo y ocio.

Es decir, que las deducciones que en las líneas siguientes hagamos sobre utilidades marginales pueden ser traducidas a los precios. Por otra parte, la utilidad no es una propiedad completamente objetiva de los bienes, ya que sin que éstos varíen cada individuo les atribuye diferente valor.

Pero aun no conociendo la función utilidad o índice de utilidad, es lícito emplear las relaciones entre derivadas parciales que representan las utilidades marginales.

Volviendo a la función de utilidad (1) y sus variables (2), observamos que éstas no son independientes, ya que evidentemente:

$$\begin{aligned} \gamma &= p t_w \\ t_w + t_0 &= T, \end{aligned} \quad (3)$$

siendo p el salario hora y T el tiempo total disponible (descontado tiempo para comidas, sueño y transporte) para ser empleado en trabajo u ocio según las necesidades o apetencias de cada individuo.

Para optimizar la función u apliquemos a (1) y (3) el procedimiento de los multiplicadores de Lagrange, creando la función auxiliar:

$$S = u + \mu \gamma + \lambda T,$$

que será máxima cuando se cumplan las condiciones:

$$\begin{aligned}\frac{\partial S}{\partial t_w} &= \frac{\partial u}{\partial t_w} + \lambda \frac{\partial T}{\partial t_w} + \mu \frac{\partial \gamma}{\partial t_w} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial t_0} &= \frac{\partial u}{\partial t_0} + \lambda \frac{\partial T}{\partial t_0} + \mu \frac{\partial \gamma}{\partial t_0} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \gamma} &= \frac{\partial u}{\partial \gamma} + \lambda \frac{\partial T}{\partial \gamma} + \mu \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma} = 0,\end{aligned}$$

o sea, sustituyendo y simplificando:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t_w} + \lambda + \mu p &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t_0} + \lambda &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial \lambda} - \mu &= 0,\end{aligned}\tag{4}$$

y eliminando λ y μ en (4) obtenemos la ecuación entre derivadas parciales:

$$\frac{\partial u}{\partial t_0} = p \frac{\partial u}{\partial \gamma} + \frac{\partial u}{\partial t_w},\tag{5}$$

que expresa que la utilidad marginal del tiempo dedicado al ocio es igual a la utilidad marginal del dinero ganado empleando el tiempo trabajando, más la utilidad (desutilidad) del tiempo empleado en trabajo o expresado en otros términos, que la utilidad marginal del tiempo dedicado al ocio es igual al beneficio neto marginal del trabajo. Hasta ahora hemos considerado:

$T = t_w + t_0$ como constante, ya que como dijimos,

$T = 24 \text{ h}$ — tiempo empleado en sueño o comidas — tiempo empleado en viaje.

Ahora bien, el tiempo T disponible para repartir entre ocio y trabajo puede ser variado por:

1. Un aumento en la duración del día (que parece poco probable).
2. Reducción (con su desutilidad consiguiente) del tiempo dedicado a comidas o sueño.
3. Una reducción del tiempo de viaje.

La utilidad marginal de un aumento de tiempo disponible para ocio y trabajo T es:

$$\frac{du}{dT} = \frac{\partial u}{\partial t_w} \frac{dt_w}{dT} + \frac{\partial u}{\partial t_0} \frac{dt_0}{dT} + \frac{\partial u}{\partial \gamma} \frac{d\gamma}{dT},\tag{6}$$

y si tenemos en cuenta que $T_0 = T - t_w$, y que:

$$\frac{d\gamma}{dT} = \frac{d\gamma}{dt_w} \cdot \frac{dt_w}{dT} = p \frac{dt_w}{dT},$$

la expresión (6) queda:

$$\frac{du}{dT} = \frac{\partial u}{\partial t_w} \cdot \frac{dt_w}{dT} + \frac{\partial u}{\partial t_0} - \frac{\partial u}{\partial t_0} \cdot \frac{dt_w}{dT} + p \frac{\partial u}{\partial \gamma} \cdot \frac{dt_w}{dT},$$

y si tenemos en cuenta (5):

$$\frac{du}{dT} = \frac{\partial u}{\partial t_0} + \frac{dt_w}{dT} \left(p \frac{\partial u}{\partial \gamma} + \frac{\partial u}{\partial t_w} - \frac{\partial u}{\partial t_0} \right) = \frac{\partial u}{\partial t_0}. \quad (7)$$

Es decir, que la utilidad marginal de un incremento exógeno en el tiempo T disponible para ocio y trabajo es igual a la utilidad marginal del ocio.

Vistas estas relaciones y reteniendo principalmente (5) y (7) demos un paso más, considerando la función índice de utilidad:

$$u = F(t_w, t_0, t_v, \gamma),$$

en la que introducimos t_v = tiempo empleado en viajes. En este caso:

$$T = t_w + t_0 + t_v,$$

es una verdadera constante que ya no podremos aumentar o disminuir a no ser que se cumpliese el supuesto 1 y el día pasase por disposición divina a tener veinticinco horas.

De esta forma tendremos:

$$\frac{du}{dt_v} = \frac{\partial u}{\partial t_w} \cdot \frac{dt_w}{dt_v} + \frac{\partial u}{\partial t_0} \cdot \frac{dt_0}{dt_v} + \frac{\partial u}{\partial \gamma} \cdot \frac{d\gamma}{dt_v}. \quad (8)$$

Pero:

$$\frac{dt_w}{dt_v} = -\frac{dt_0}{dt_v} - 1,$$

al ser $T = t_w + t_0 + t_v$ = constante, y como $\gamma = p t_w$:

$$\frac{d\gamma}{dt_v} = \frac{d\gamma}{dt_w} \cdot \frac{dt_w}{dt_v} = p \left(-\frac{dt_0}{dt_v} - 1 \right)$$

con lo que la ecuación (8) se reduce a:

$$\frac{du}{dt_v} = \frac{dt_0}{dt_v} \left(\frac{\partial u}{\partial t_0} - \frac{\partial u}{\partial t_w} - \frac{\partial u}{\partial \gamma} \cdot p \right) + \left(\frac{\partial u}{\partial t_v} - \frac{\partial u}{\partial t_w} - p \frac{\partial u}{\partial \gamma} \right)$$

y teniendo en cuenta (5) el primer sumando se anula, con lo cual:

$$-\frac{du}{dt_v} = \frac{\partial u}{\partial t_w} + p \frac{\partial u}{\partial \gamma} - \frac{\partial u}{\partial t_v} \quad (9)$$

Relación muy importante que nos dice que:

$$-\frac{du}{dt_v} = \frac{\partial u}{\partial t_0} - \frac{\partial u}{\partial t_v}; \quad (10)$$

es decir, que la utilidad marginal de una reducción del tiempo de viaje no es igual a la utilidad marginal del ocio (o beneficio marginal neto del trabajo), sino que viene disminuido por la utilidad marginal del tiempo empleado en el viaje, contradiciendo la expresión (7), en la que el aumento de T era exógeno.

El lector pudiera preguntarse perplejo después de esta algo compleja aplicación de la teoría económica, ¿pero cuál es el valor del tiempo empleado en el transporte?

Pues bien, la relación (10) explica en forma matemática fenómenos que más adelante veremos y que se obtienen por métodos estadísticos y econométricos.

Estos fenómenos son principalmente:

- a) Diversa valoración del tiempo según el medio empleado y según la comodidad o la congestión (mayor o menor utilidad o desutilidad del viaje).
- b) Diversa valoración del tiempo empleado en el viaje y el empleado en transbordos, esperas, acceso al medio y obtención del título de transporte, etc.

En resumen, de una manera subjetiva el viajero estima su tiempo de viaje "como si lo valorase a una fracción de su salario hora", y esta valoración depende también de la utilidad marginal del viaje en la que influyen tiempo de acceder, espera, viaje con todos sus elementos positivos o negativos, accesibilidad, transbordos, etc.

ESTIMACION DEL VALOR MONETARIO DEL TIEMPO DE TRANSPORTE

Supongamos que dos medios diferentes de transporte pueden utilizarse desde los mismos orígenes hasta los mismos destinos, es decir, son medios paralelos.

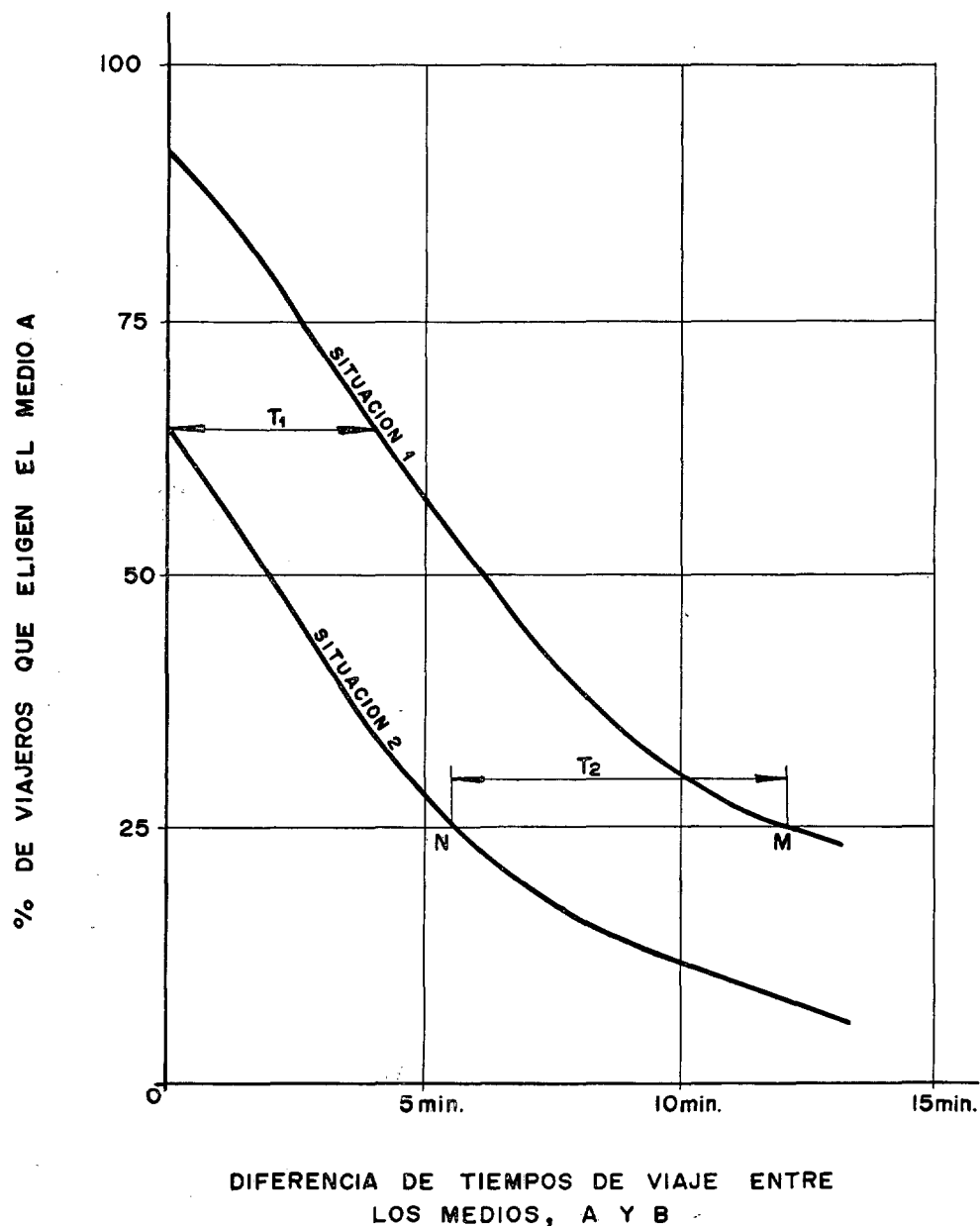
Supongamos una situación 1 en la que el medio A tiene un precio p_a y el medio B un precio p_b , con una diferencia de precio $\Delta p = p_b - p_a$. Mediante encuestas adecuadas pueden obtenerse los porcentajes de viajeros que sobre el total de los mismos toman el medio A o el medio B. De esta manera obtenemos lo que se llama "curva de diversión entre dos modos de transporte".

Esto quiere decir (situación 1) que, por ejemplo, para una diferencia de tiempos de transporte entre los medios A y B de doce minutos, el 25 por 100 de los viajeros toma el medio A (más barato), mientras que el 75 por 100 tomará el medio B (más caro). En cambio, si la diferencia de tiempos desciende a cuatro minutos, el 65 por 100 tomará el medio A y sólo el 35 por 100 el medio B.

Supongamos ahora que existe o se provoca una situación 2 en la que el medio A tiene un precio p'_a y el medio B el p'_b . La diferencia de precios será:

$$\Delta p' = p'_b - p'_a,$$

provocada, por ejemplo, por una subida de precios en el medio A o por una variación de ambos precios, pero desfavorable al medio A, que pasa, por ejemplo, de tener para una diferencia de cuatro minutos el 65 por 100 de los viajeros totales,



a tener en la nueva situación sólo el 30 por 100. Del mismo modo estadístico, y mediante las adecuadas encuestas, podremos encontrar la correspondiente curva de diversión (situación 2).

Si trazamos rectas paralelas al eje de abscisas obtendremos comportamientos del mismo porcentaje de viajeros en ambas situaciones 1 y 2. Por ejemplo, el punto M de la curva de diversión de la situación 1 y el N de la situación 2 corresponden al comportamiento de un 25 por 100 de viajeros que eligen el medio A . La distancia T_2 entre ambos puntos es el tiempo que el viajero prefiere perder antes que pagar la diferencia de precio ($\Delta p' - \Delta p$).

Por cada recta paralela al eje de abscisas que tracemos obtendremos diferentes tiempos T para cada porcentaje. De una forma aproximada podremos poner:

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2},$$

y el valor medio del tiempo será:

$$V_t = \frac{\Delta p' - \Delta p}{T_m}.$$

Este valor puede hallarse con diversas situaciones que se presentan en el transporte.

- a) Aumento del precio de uno de los medios.
- b) Existencia de un precio único en uno de los medios de transporte y de un precio por secciones en el otro.
- c) Si la comparación fuese transporte público-automóvil privado, una elevación del precio de la gasolina.
- d) En general cualquier situación que introduzca un cambio susceptible de ser comparado a la anterior situación.

Con este tipo de valoraciones se ha llegado a resultados diversos que varían según la ciudad, el país y la renta de la población, pero que, en definitiva, guardan cierta similitud.

Pierre Merlin, en su estudio "Les Transports Parisiens" (1961), llega, utilizando este método y comparando los viajeros en Metro (precio único) con los viajeros en autobús (precio por secciones), a evaluar en 3 Fr. hora el valor asignado al tiempo por viajero. Comparado con el jornal medio horario en aquella época, y que era de 5,50 francos, resulta que el viajero asignaba al tiempo empleado en el transporte un porcentaje algo mayor del 50 por 100 del salario-hora.

Quarmby y Collins, a partir de los estudios efectuados en Londres, estiman el precio del tiempo comprendido entre el 25 y el 30 por 100 del salario-hora.

Lisco, en 1967 ("A study of Urban Transportation"), estima el valor del tiempo del viaje suburbano al trabajo (*commuter*) en 2,5 dólares la hora, siendo el salario-hora de la población estudiada de aproximadamente el doble de esta cantidad.

Estos datos se refieren, por lo general, a viajes al trabajo desde el domicilio y regreso a éste: la valoración del tiempo con otros motivos es diferente y puede ser incluso de distinto signo cuando el viaje es de placer (turismo u ocio).

Así, por ejemplo, los estudios ingleses antes mencionados dan los siguientes valores monetarios para el tiempo:

Viaje al trabajo	16,5	new penny/hora
Recreo	14,5	» »
Negocios (ferrocarril)	116	» »

Este último valor se refiere a viajes interurbanos en ferrocarril y es evidentemente mucho más alto.

Al mismo tiempo se observa generalmente la tendencia de que aumente el porcentaje de salario-hora que se atribuye al precio del tiempo conforme aumenta el nivel de vida.

LA NOCION DE "TIEMPO GENERALIZADO"

Ahora bien, ¿puede contarse de una manera uniforme el tiempo empleado en el transporte sin tener en cuenta las diversas facilidades y comodidad que encuentra el viajero?

¿Cuenta lo mismo el tiempo empleado por el viajero en un vagón atestado que el viajado en un vehículo con disponibilidad de asientos?

¿Valora el viajero en la misma forma el viaje realizado prácticamente puerta-a-puerta con otro que necesite uno o más transbordos?

¿En qué forma valora el tiempo necesario para acceder a una parada de autobús o una estación del Metro?

Todas estas reflexiones nos llevan al concepto de "tiempo generalizado". Se llama así a la valoración objetiva del "tiempo virtual" que el viajero asigna a un cierto viaje. Cuando una faceta o característica física de un recorrido impone un cierto grado de incomodidad, el viajero afecta (o más bien adopta una conducta como si afectase) un aumento subjetivo de tiempo en su valoración del tiempo real. El estudio estadístico del comportamiento del público, al elegir entre recorridos o modos de transporte alternativos y equivalentes, permite la valoración objetiva del aumento de tiempo afectado por el público en general. Esto nos permite, a través del tratamiento estadístico de conductas individuales, determinadas de una forma subjetiva, llegar a modelos econométricos que analizan el conjunto de estas conductas en forma objetiva. El procedimiento más común, empleado ya en diversos estudios desde hace años, es el empleo del modelo de comportamiento (behaviour model), basado en la afectación de los viajeros a un itinerario que tenga un tiempo generalizado T_g . La forma de este modelo es:

$$T_g = t + a t_r + b n_r,$$

siendo:

t = tiempo físico del recorrido (incluido el de transbordos).

t_r = tiempo empleado en transbordos.

n_r = número de transbordos.

a, b = coeficientes empíricos determinados por regresión.

Es decir, que según este modelo el viajero afecta tiempos extra sobre el real del recorrido, penalizando de esta manera incomodidades tales como el tiempo empleado en transbordos y el número de éstos, ya que un segundo o tercer transbordo en el recorrido produce más fastidio que el producido por uno sólo.

Este modelo hace, sin embargo, abstracción de algo tan importante en el viaje como la aglomeración relativa del medio de transporte, o recorrido alternativo, dentro de los mismos medios o red de transporte.

Un modelo de comportamiento más perfeccionado, utilizado recientemente por la "Regie Autonome des Transports Parisiens", es el siguiente:

$$T_g = t + a t_r + b n_r + c (tcr + \alpha \cdot tcb) + d (nms + \beta nmc),$$

siendo:

t = tiempo total íntegro de recorrido.

t_r = tiempo físico de transbordador realizados.

n_r = número de transbordos.

tcr = tiempo pasado en un vehículo con carga superior al 110 por 100 de su capacidad.

tcb = ídem íd. 90 al 110 por 100 de su capacidad.

nms = número de veces que se ha montado durante el viaje en un vehículo con más del 90 por 100 de su capacidad.

nmc = número de veces que se ha montado durante el viaje en un vehículo con una carga del 35 al 90 por 100 de su capacidad.

a, b, c, α, β = coeficientes empíricos.

En el calibrado de este modelo matemático, efectuado para el Metro de París, se obtiene:

$$T_o = t + 0,25 t_r + 5 n_r + 0,20 (tcr + 0,15 tcb) + (nms + 0,7 nmb)$$

en el que vemos que se penaliza mediante tiempo extra y de forma acumulativa diferentes grados y conceptos de incomodidad.

Por ejemplo, la penalización por transbordo es un 25 por 100 más de tiempo más cinco por el número de veces que se ha hecho el transbordo (en minutos).

La penalización por el tiempo recorrido en un vehículo sobrecargado a más del 110 por 100 de la carga es del 20 por 100, mientras que sólo lo es del 3 por 100 entre el 90 y el 110 por 100, y así sucesivamente.

APLICACIONES

Al estudiar y valorar debidamente las necesidades de consagrar créditos a infraestructura de transportes, o al transporte público en sí mismo, no es posible en muchos casos la aplicación de criterios selectivos en función de la rentabilidad directa de la inversión.

Sin embargo, y al lado de criterios políticos y sociales, el aspecto económico puede tenerse en cuenta si valoramos adecuadamente las ventajas que el público

en general va a obtener de esas inversiones y una disminución del tiempo de viaje o una mayor comodidad de éste, son elementos que al menos en su importancia relativa pueden ser cifradas y comparadas en busca de la solución óptima.

Pero, además, en la predicción de una futura demanda de transportes tendremos siempre el problema de distribuir ésta según un reparto modal entre los diferentes medios de que el usuario va a disponer. Si definimos el coste generalizado del transporte como la suma del coste en dinero más el coste indirecto que el viajero atribuye a la desutilidad del tiempo empleado en el viaje:

$$C_g = C + V_t T_g,$$

en que:

C_g = coste generalizado del viaje.

C = coste monetario del viaje.

T_g = tiempo generalizado atribuido al viaje.

V_t = valor atribuido al tiempo.

la probabilidad de que un viajero elija el medio número 1 entre los 1, 2, 3, ..., n , será:

$$p_1 = \frac{e^{\lambda c_1}}{e^{\lambda c_1} + e^{\lambda c_2} + \dots + e^{\lambda c_n}}$$

siendo $c_1, c_2, \dots, c_n$, los costes generalizados correspondientes a los medios de transporte 1, 2, ..., n .

Es decir, dado el coste monetario de cada uno de los medios opcionales de transporte, el "valor atribuido al tiempo" y el "tiempo generalizado", podemos obtener el reparto de viajeros entre los diversos medios que el viajero tendrá a su disposición.