

La política económica óptima de coordinación de los transportes interiores

LUIS RODRIGUEZ SAIZ
Universidad Complutense

1. LA COORDINACIÓN DE LOS TRANSPORTES DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO

Los problemas de política sectorial, de la que la política de transportes constituye una muestra de notable relevancia, es preciso encuadrarlos bajo la óptica de la óptima asignación de los recursos.

En un mundo caracterizado por la escasez de energía, la preocupación por los problemas ecológicos y el acrecentamiento de los costes sociales, un objetivo primordial de los Gobiernos consiste en asegurar que las inversiones realizadas por el sector público, así como las inducidas en el sector privado, den origen a un máximo de beneficios para la sociedad a que van dirigidas; beneficios que se extienden no sólo al acrecentamiento de la producción y el empleo, sino también al logro de unos objetivos sociales, a veces de difícil cuantificación en términos monetarios, por los que el Estado benefactor debe velar.

La coordinación, desde el punto de vista económico, entendida como «La acción dirigida a promover el funcionamiento del sistema de transportes, con un coste económico y social mínimo, teniendo en cuenta los imperativos de adaptación permanente a la realidad cambiante, como consecuencia de la evolución económica y técnica de los diferentes medios» (*), se convierte en el principal objetivo de la política de transportes y plantea problemas de asig-

(*) Véase Bibliografía, nota 12, pp. 125-126, y nota 14, p. 188.

nación de recursos en una perspectiva dinámica, cuya solución adopta diversas formas, en función del propio sistema económico y de la consecución de otros objetivos de la política económica, tanto a nivel global como sectorial o regional.

Desde esta perspectiva, la coordinación es un problema complejo que se refiere al conjunto del sistema de transportes, esto es, a la totalidad de medios alternativos susceptibles de cumplir la misma función. En este sentido, la coordinación ha de ser unitaria, es decir, ha de referirse a todos los medios que forman parte del sistema considerados de forma simultánea y nunca de forma aislada. La necesidad de este tratamiento unitario surge como consecuencia de las repercusiones que cualquier medida o proyecto que afecte a un medio de transporte, tiene sobre todos los demás (12).

Por otra parte, la consideración simultánea de los demás objetivos de la política económica obliga a tener en cuenta los efectos que la adopción de determinadas decisiones en materia de transportes puedan tener sobre otras ramas de la actividad económica, como consecuencia de la íntima conexión entre éstas y el sector de transportes. Esta conexión se hace patente tanto a nivel de ramas específicas de actividad, como al de magnitudes agregadas tales como nivel de empleo, tasa de inflación o saldo de la balanza de pagos, por la vía de la balanza de servicios.

Prescindiendo por ahora del caso de las economías planificadas, en que la asignación se realiza directamente por el organismo planificador, se trata de probar la necesidad de la coordinación en los países con economía de mercado, donde el equilibrio no se produce espontáneamente, y de considerar los medios de que dispone el Sector Público (medidas de política económica), para lograr el objetivo propuesto.

El funcionamiento del mercado, sin ningún tipo de intervención, de acuerdo con las teorías de la más pura ortodoxia liberal, requiere la existencia de competencia perfecta, lo que supone transparencia total y movilidad perfecta de los factores. Evidentemente, esta situación ideal no existe y menos en el mercado de transportes, donde se mezclan relaciones de poder monopolístico y oligopolístico, los demandantes no tienen acceso a todas las posibles ofertas, y los precios suelen estar intervenidos. La situación es de imperfección del mercado, produciéndose desequilibrios y costes

excesivos para la colectividad, que el Sector Público tiene la obligación de corregir.

Esta corrección se manifiesta en la adopción de una serie de medidas, encuadradas en el marco de respeto a un conjunto de principios de carácter general, que hagan compatible la intervención coordinadora del Estado con el funcionamiento del sistema de mercado.

Estos principios pueden resumirse, de acuerdo con las recomendaciones de los Organismos Internacionales con competencia sobre el tema, y conforme a la opinión de los expertos en los siguientes (1) (11):

1.º Libertad de elección por parte de los usuarios del medio o medios de transporte a utilizar.

2.º Coste mínimo para la colectividad, compatible con el avance de los medios técnicos en busca de la máxima seguridad, regularidad, rapidez y comodidad.

3.º Autosuficiencia financiera de las empresas de transporte que compitan en el mercado. Principio que es preciso compatibilizar con el anterior, a pesar de su dificultad. Autosuficiencia implica imputación a cada medio de transporte de todos los recursos que consume y de los costos sociales que genere (gastos de infraestructura, accidentes, contaminación, ruido, etc.), algunos de difícil valoración.

4.º Intervención de la Administración, con el fin de orientar o inducir la demanda, a través del conjunto de medidas que resulten más adecuadas hacia el medio de transporte que represente, en cada circunstancia, el menor coste para la colectividad, haciendo que costes privados y costes sociales coincidan. Esta intervención se puede instrumentar a través de los siguientes mecanismos:

A) Regulación tarifaria, como medio para obtener el reparto deseado. Si las tarifas cubren el coste total que representa el transporte para la colectividad, se podrá conseguir el equilibrio presupuestario y se cumplirá simultáneamente el principio de autosuficiencia financiera de las empresas.

B) Igualación de las condiciones de partida para los medios de competencia, que se concreta en: a) Establecimiento de las mismas

obligaciones como Servicio Público (transportar, explotar, cumplir los horarios, etc.). *b*) Reparto igualitario de otras cargas ajenas a la explotación. *c*) Si no es posible el cumplimiento de *a*) y *b*), establecimiento de subvenciones u otras compensaciones al medio perjudicado. *d*) Identidad de trato fiscal de forma que cada medio pague impuestos en función de los bienes sociales que utilice o destruya. *e*) Igualdad en las obligaciones sociales y laborales para todas las empresas en competencia.

C) Coordinación de las inversiones en transporte, con arreglo al principio de que el beneficio social que generen sea no inferior a los gastos de instalación, amortización y gestión actualizados.

D) Limitación de la oferta, para evitar el despilfarro de recursos infrautilizados.

2. LA DEMANDA DE TRANSPORTES Y LA UTILIZACIÓN DE LOS DIVERSOS MEDIOS

La mejora de los niveles de vida de las sociedades, el aumento de la producción y de la renta, la extensión del comercio nacional e internacional y el progreso tecnológico, son un conjunto de factores determinantes de una demanda creciente de servicios de transportes por parte de los usuarios, tanto en la modalidad de viajeros como de mercancías (11).

La demanda total de servicios de transportes de una colectividad será pues una función agregada de este conjunto de variables. Ello no obstante, se suele analizar de forma desagregada el transporte de viajeros con respecto al de mercancías y el transporte urbano con respecto al interurbano, por ser diferente el peso específico de las diferentes variables en la demanda de uno u otro, así como, diferentes también, las motivaciones que inducen a la elección, por parte del usuario, de un medio de transporte frente a otro.

En general, se han realizado estimaciones para la previsión del transporte global, tanto de pasajeros como de mercancías, utilizando para ello funciones de forma lineal, con una o más variables explicativas.

Las relaciones funcionales, de la forma:

$$y = a + bx_1 + cx_2$$

han servido para hacer buenas previsiones de transporte global a medio plazo.

Las variables explicativas más utilizadas han sido (*) (10):

- PA : Población activa total.
- PAI : Población activa industrial.
- PAS : Población activa servicios.
- PNB: Producto Nacional Bruto.
- GC : Gastos de los consumidores.

Con datos de la Primera Encuesta Nacional del Transporte de Mercancías por Carretera, así como los proporcionados por RENFE, en el año 1973, realizamos una estimación del transporte público interprovincial de mercancías.

Se planteó entonces la siguiente relación funcional:

$$TMt = f(r, p, P, v) \quad [2.1]$$

En la que:

TMt = tonelaje total con origen en una provincia y destino todas las demás.

r = renta «per cápita provincial» en pesetas.

p = población de cada provincia en miles.

P = tipo de producto predominante.

v = perturbación aleatoria.

La variable P es de tipo cualitativo y difícilmente cuantificable pero, no obstante, de gran importancia para medir la incidencia que en el tonelaje global de mercancías transportadas tienen determinados productos tales como los minerales o los combustibles sólidos.

(*) *Incidencia del transporte en el desarrollo regional*, Subsecretaría Planificación (Madrid), 1977, pp. 453-455.

Siguiendo un procedimiento utilizado por Malinvaud (*), se procedió a la cuantificación de dicha variable consistente en asignarle el valor 1 cuando en la provincia afectada se diera la característica de ser «exportadora neta» de minerales o combustibles sólidos y el valor 0 en caso contrario. *PAI*, se convertía así en una variable auxiliar que tomaba el valor 1 si la provincia (*i*) pertenecía a la categoría «*r*» y el valor 0 en caso contrario.

Los resultados obtenidos fueron (12):

$$TM_r = -580,56 + 0,026r + 0,088p + 1.503,16P \quad [R^2 = 0,849]$$

Un tipo de modelos de amplia utilización para realizar previsiones de demanda de transporte entre dos áreas o regiones, son los modelos gravitatorios, utilizados asimismo con fines de óptima localización industrial (**).

La forma general de este tipo de modelos es:

$$Y_{ij} = \frac{f(P_i, P_j)}{d_{ij}} \quad [2.2]$$

donde Y_{ij} representa el volumen de transporte de la región *i* a la región *j*, P_i y P_j son variables para medir, en cada región, aquellos factores que contribuyen a generar demanda de transporte y d_{ij} una variable que mide la distancia, expresada en tiempo, coste o recorrido físico, entre las dos regiones.

Con frecuencia se utilizan modelos complejos en los que, los exponentes de las variables explicativas son distintos de la unidad, con el propósito de medir factores tales como la existencia de economías de aglomeración, grado de integración social, etc. El modelo tomaría la forma (13):

$$Y_{ij} = K \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad [2.3]$$

(*) Véase MALINVAUD, E.: *Métodos estadísticos de la econometría*, Edit. Ariel, Barcelona (1967), p. 255.

(**) W. Isard señala, con respecto al contenido de las variables explicativas del modelo gravitatorio: «Evidentemente, la medición de la masa que se emplee depende del problema a estudiar, de los datos disponibles y de las consideraciones conexas. El conjunto de posibles medidas de masa incluye magnitudes tales como el total de inversiones en ayudas, el número de familias, las mercaderías producidas, el producto regional bruto, etc.» Véase nota 6, pp. 519-520.

en la que α , β y γ son las elasticidades respectivas de Y_{ij} respecto a P_i , P_j y d_{ij} .

En efecto, tomando logaritmos neperianos tenemos:

$$1_n Y_{ij} = 1_n K + \alpha 1_n P_i + \beta 1_n P_j - \gamma 1_n d_{ij}$$

lo que permite calcular, por los procedimientos de la regresión múltiple, los parámetros $1_n K$, α , β y γ , siendo además

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{P_i}{Y_{ij}} \frac{\delta Y_{ij}}{\delta P_i} \\ \beta &= \frac{P_j}{Y_{ij}} \frac{\delta Y_{ij}}{\delta P_j} \\ \gamma &= - \frac{\alpha_{ij}}{Y_{ij}} \frac{\delta Y_{ij}}{\delta d_{ij}} \end{aligned} \quad [2.4]$$

como habíamos indicado.

Si agregamos ahora todo el transporte con origen en i y cualquier destino tenemos:

$$\sum_{j=i}^n Y_{ij} = Y_{i1} + Y_{i2} + \dots + Y_{in} = T_{ij} \quad [2.5]$$

donde T_{ij} es el volumen total de transporte con origen en i , siendo Y_{ii} el transporte intrarregional. Por tanto, eliminando Y_{ii} (13):

$$T_{ij} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n Y_{ij} = K \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{\gamma d_{ij}} = K P_i^\alpha \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \frac{P_j^\beta}{\gamma d_{ij}} \quad [2.6]$$

que representa el volumen total de transporte con origen en la región i , y destino cualquier otra región. La suma de las T_{ij} expresará el volumen total de transporte interregional en el país de que se trate. Es decir:

$$TIT = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m T_{ij} \quad [2.7]$$

siendo:

TI_T = transporte interprovincial total.

m = número de regiones.

3. UN MODELO PARA LA COORDINACIÓN ÓPTIMA

Una vez determinada la demanda global de transporte, en conexión con las variables del modelo macroeconómico, al grado de desagregación regional necesario, se trata de dividir el volumen global de transporte, presente y previsto para el futuro, entre los diversos medios existentes, o que puedan establecerse, de forma que la asignación de los recursos sea óptima desde el punto de vista social.

Será preciso determinar, en el seno de las economías de mercado, donde rige el principio de libertad de elección por parte del usuario del medio de transporte a utilizar, cuáles son los factores que determinan la demanda de una u otra forma de transporte.

No se trata ya de una demanda simple, como en el caso anterior, sino compleja, al poder el usuario elegir entre diversas alternativas. En principio, cada medio tiene diversas ventajas e inconvenientes frente al medio sustitutivo, que dependen de factores tales como la distancia, el coste, el tiempo, la comodidad y la seguridad.

Así pues, con independencia de los factores ya señalados para la demanda global, será preciso incluir otros que señalan la preferencia individual en la elección de un medio frente al alternativo.

Algunos de estos factores pueden ser cuantificados, otros pueden ser englobados bajo una rúbrica común; en general, cuando se trata de comparar dos medios competitivos pueden usarse modelos de la forma (9):

$$(T_{Aij}, T_{Bij}) = K \cdot e^{\delta_t} P_i^{\alpha_1} P_j^{\alpha_2} Y_i^{\alpha_3} Y_j^{\alpha_4} T_a A^{\alpha_5} T_a B^{\alpha_6} t_i A^{\alpha_7} t_i B^{\alpha_8} \quad [3.1]$$

En donde:

T_{Aij}, T_{Bij} = Demanda de transporte por el medio A, o por el medio B, entre las regiones i y j .

e^{δ_t} = variable utilizada para medir el progreso tecnológico

en cada medio, que será diferente si se trata de estimar en *A* o en *B*.

P_i, P_j = Población respectiva en las regiones *i* y *j*.

Y_i, Y_j = Renta en las regiones *i* y *j*.

T_aA, T_aB = Tarifas respectivas de los medios *A* y *B*.

t_iA, t_iB = Tiempos respectivos de transporte en *A* y *B*.

e = Base de los logaritmos neperianos.

K = Constante.

α_i = Elasticidades respectivas de la demanda respecto a las diferentes variables explicativas.

t = Tiempo.

La difícil cuantificación de factores como la seguridad y la comodidad, lleva a la inclusión de una variable para medición del progreso tecnológico en cada medio, similar a los utilizados en los modelos de tipo Cobb-Douglas. En cuanto a la distancia, ha sido subsumida en la variable tiempo, que resulta más representativa.

La estimación de los parámetros de la función de demanda para cada medio se haría por los procedimientos de la regresión múltiple. Es decir:

$$\begin{aligned} \ln T A_{ij} = & \ln k + \delta t + \alpha_1 \ln P_i + \alpha_2 \ln P_j + \\ & + \alpha_3 \ln Y_i + \alpha_4 \ln Y_j + \alpha_5 \ln (T_a A) + \\ & + \alpha_6 \ln (T_a B) + \alpha_7 \ln (t_i A) + \alpha_8 \ln (t_i B) \end{aligned} \quad [3.2]$$

debiendo ser los signos respectivos:

$\delta > 0$ aumento del grado de utilización del medio *A*, al mejorar su tecnología (comodidad, seguridad).

$\alpha_i \underset{i=1}{\overset{i=4}{>}} > 0$ por aumentar la demanda del medio al aumentar la población y la renta de las regiones de origen y destino.

$\alpha_5 < 0$ debe disminuir la demanda de *A*, al aumentar la tarifa.

- $\alpha_6 > 0$ al aumentar la tarifa de *B*, debe crecer la demanda de *A*.
- $\alpha_7 < 0$ por razones idénticas a las expuestas para las tarifas.

Si se tratara de un mercado perfecto, en el que el incremento de la oferta de cada medio pudiera crecer de forma continua, como consecuencia del aumento de la demanda, y donde los costes para los usuarios, representados por la tarifa (*), coinciden con los costes para la colectividad, con inclusión de los sociales, no sería precisa la acción modificadora del Gobierno con el fin de lograr una asignación óptima de cada transporte por el medio más idóneo.

Pero en realidad se trata de un mercado no competitivo, de carácter oligopolístico, con oferta discontinua y donde los costes sociales, originados por cada medio, no están reflejados, por diversas causas, en las tarifas de transporte (**). Y es por ello que la intervención del Sector Público resulta imprescindible, pudiendo utilizarse diversas formas para lograr la asignación óptima, o al menos para aproximarse a dicha asignación.

Desde el punto de vista teórico se puede plantear un modelo de asignación óptima, de un volumen dado de transporte global, entre diversos medios de competencia.

Una consideración adicional es que no se trata de crear un nuevo sistema de transporte, sino de utilizar unos medios de transporte ya existentes, adaptándolos, en su caso, a las nuevas exigencias, mediante la transformación de la infraestructura y tecnología que sea posible y necesaria. El tratamiento del problema a nivel desagregado parece el más conveniente, como base de partida, puesto que cada transporte tiene unas características diferentes según la orografía del trayecto, trazado actual y posible de las rutas, volumen global a transportar y naturaleza del transporte.

En virtud de lo anterior, supongamos que se trata de transportar un cierto volumen anual de mercancías y/o pasajeros entre dos regiones *i* y *j*, pudiendo utilizar para ello dos medios de transporte competitivos *A* y *B*.

(*) Hacemos la hipótesis de que se trata de transportes públicos competitivos, prescindiendo de la utilización de medios de transporte privado, donde los elementos del coste para el usuario son diferentes.

(**) Para una mayor amplitud en el tratamiento de los costes para el usuario frente a los costes para la colectividad, véase nota 12.

La asignación óptima del volumen total entre ambos medios, es aquella que representa un menor coste para la colectividad. Así si denominamos (13):

x_{ij} = Volumen total de transporte por el medio A.

z_{ij} = Volumen total de transporte por el medio B.

c_{ij} = Coste social unitario por el medio A.

b_{ij} = Coste social unitario por el medio B.

tendremos:

$$C_t = x_{ij}c_{ij} + z_{ij}b_{ij} \quad [3.3]$$

siendo C_t el coste total para la colectividad y donde:

$$x_{ij} + z_{ij} = Y_{ij} \quad [3.4]$$

$$c_{ij} = f_1(x_{ij}) \quad [3.5]$$

$$b_{ij} = f_2(z_{ij}) \quad [3.6]$$

por ser los costes sociales por unidad transportada una función del volumen global de transporte asignado a cada medio.

La asignación óptima será aquella que minimiza el coste total. Es decir:

$$\text{Min } C_t = \text{Min } (x_{ij}c_{ij} + z_{ij}b_{ij}) \quad [3.7]$$

con las restricciones:

$$x_{ij} + z_{ij} = Y_{ij} \quad [3.8]$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \neq j \quad [3.9]$$

$$z_{ij} \geq 0 \quad \forall i \neq j$$

gráficamente podemos representar las funciones de coste medio social (*) por unidad transportada en cada uno de los medios de

(*) Coste para la colectividad y coste social se utilizan aquí como sinónimos.

transporte. OM será el transporte asignado al medio A y ON el asignado al medio B siempre que se cumpla a la condición de que las superficies $OMDH$ y $ONCI$ sean las de menor suma entre todas las que pueden construirse con la condición de que $OM + ON = Y_{ij}$, es decir, igual al volumen global a transportar (véase figura 1).

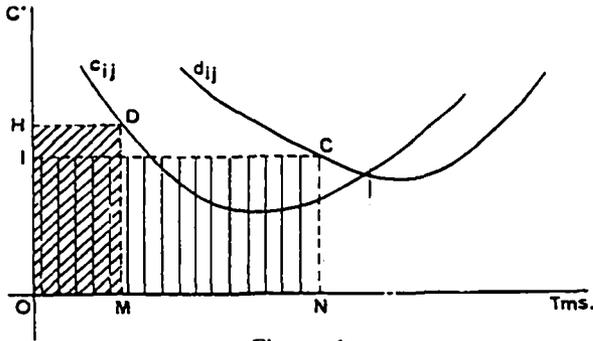


Figura 1

Analíticamente, tomando el langragiano:

$$Z = [x_{ij}f_1(x_{ij}) + z_{ij}f_2(z_{ij})] - \lambda (Y_{ij} - x_{ij} - z_{ij}) \quad [3.10]$$

y calculando las derivadas parciales e igualando a cero:

$$\frac{\partial Z}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial [x_{ij}f_1(x_{ij})]}{\partial x_{ij}} - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial z_{ij}} = \frac{\partial [z_{ij}f_2(z_{ij})]}{\partial z_{ij}} - \lambda = 0 \quad [3.11]$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \lambda} = Y_{ij} - x_{ij} - z_{ij} = 0$$

y despejando λ , nos queda:

$$\frac{\partial [x_{ij}f_1(x_{ij})]}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial [z_{ij}f_2(z_{ij})]}{\partial z_{ij}} \quad [3.12]$$

Ahora bien y dado que:

$x_{ij}f_1(x_{ij})$ es el coste total social del transporte por el medio A.

$z_{ij}f_2(z_{ij})$ es el coste total social del transporte por el medio B.

las derivadas parciales de [3.12] representan los respectivos costes marginales sociales de ambos medios, con lo que la asignación óptima corresponde a aquella distribución para la que se igualan los costes marginales sociales de los medios en competencia.

Obviamente, la evaluación de los costes sociales plantea una serie de problemas de no fácil solución, por la dificultad de definición y de cuantificación para alguno de ellos. Por otra parte, la mayor o menor utilización de cada medio de transporte representa un conjunto de beneficios sociales que es preciso evaluar para restarlos de los costes totales con el fin de obtener los costes sociales netos. Tanto unos como otros son, según hemos dicho, función del volumen de transporte asignado al medio de que se trate.

Podemos considerar que, para cada volumen de transporte, existe un coste social neto y por tanto un coste social unitario neto, por cada unidad de transporte asignada, que nos permite construir las funciones anteriormente utilizadas (*).

Entre los costes a incluir es preciso mencionar:

- Costes de consumo y amortización de infraestructura.
- Costes de amortización de vehículos.
- Costes de energía.
- Costes de accidentes.
- Costes de congestión, contaminación y ruido.
- Costes de aglomeración.

Entre los beneficios:

- Excedente de los productores y los consumidores, a consecuencia de la disminución de los costes de transporte a consecuencia de la inversión.

(*) Para una enumeración de costes y beneficios sociales, así como para algunos métodos de evaluación útiles, véase la bibliografía citada en nota 8.

- Beneficios derivados del desplazamiento de factores hacia usos más productivos.
- Beneficios originados como consecuencia de la utilización de recursos, antes no utilizados.
- Economías de concentración.
- Beneficios indirectos.

4. LAS FORMAS ALTERNATIVAS DE ASIGNACIÓN. MERCADO «VERSUS». PLANIFICACIÓN

Una vez determinados los volúmenes de transporte para cada medio que representan una asignación óptima, se trata de conseguir que el reparto de las unidades de transporte entre ellos sea efectivamente el que corresponde a dicha asignación.

En los sistemas de planificación centralizada, es al Centro Planificador al que corresponde decidir, en cada caso, qué medio debe utilizarse para cada operación de transporte, con lo que podrá realizarse la asignación directamente, de acuerdo con los resultados del modelo (*) (4).

En la práctica, el Centro Planificador no realiza una asignación única, sino que el proceso tiene lugar de forma descentralizada e iterativa. El Centro asigna a las diferentes unidades (empresas) unos medios iniciales para realizar el transporte. Las empresas incluyen estas asignaciones como un factor más de producción y envían al Centro Planificador unos precios ficticios que éste utiliza para el cálculo de los costes marginales sociales. Con estos datos el Centro Planificador va modificando las asignaciones iniciales, por un procedimiento iterativo, hasta que, para cada medio de transporte se igualen los costes marginales sociales en todas las utilizaciones posibles (**) (2).

Si se pretende que la asignación corresponda al mercado, pue-

(*) En realidad, los modelos utilizados en los procedimientos de planificación sin precios son similares al que hemos utilizado en el epígrafe anterior. Una amplia descripción de las propiedades de los mismos puede verse en G. M. HEAL: *Teoría de la planificación económica*, Edit. Bosch, Barcelona, 1977, cap. 7.

(**) (Boissieu, pp. 164 y ss.), que se refiere no sólo a la asignación de medios de transporte, sino de todos los recursos productivos, razonando en términos de utilidad, en vez de en términos de coste.

den usarse dos procedimientos: El primero corresponde al mercado dirigido, es decir, con precios (tarifas) fijados administrativamente, con el fin de lograr la distribución del transporte deseado. El segundo corresponde al mercado libre, en el que las tarifas se forman como consecuencia del juego de la competencia entre las diversas empresas que concurren en el mercado.

De acuerdo con el primer procedimiento, el problema consiste en la determinación de la tarifa, para cada medio de transporte, que consigue que la demanda se oriente en el sentido deseado para lograr la asignación óptima.

Se parte del supuesto de que se conoce el volumen global a transportar, así como su deseable distribución entre los dos medios de transporte A y B, tal como se indicaba en el epígrafe anterior.

Conociendo las curvas de demanda y de demanda inducida de cada medio, ante variación de las tarifas se puede resolver el problema de determinación de las tarifas de ambos medios para las que se logra el reparto deseado. Veámoslo a través de la explicación proporcionada por el profesor Inza (5):

Se supone inicialmente que la tarifa del medio B permanece constante en un valor T_{B1} , y se construye la curva de demanda para el medio A, ante variaciones de su propia tarifa (sea esta curva la A_1 de la figura 2). La curva B_1 es la curva de demanda inducida para el medio de transporte B, en los mismos supuestos de constancia de la tarifa B y variación de la A.

Con otra tarifa constante de B, por ejemplo T_{B2} , se obtendrán

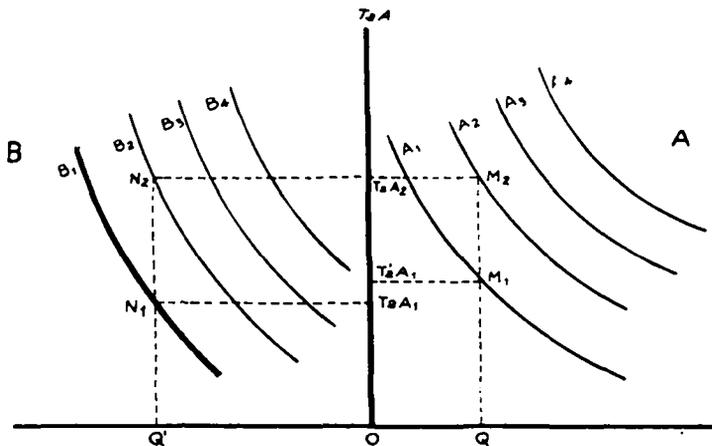


Figura 2

igualmente las curvas de demanda del medio A (A_2), y de demanda inducida en el B (B_2) al variar las tarifas de A ($TaA_1, TaA_2, \dots, TaA_n$).

De esta forma se obtienen las familias de curvas de la figura 2 de demanda y de demanda inducida en los medios de transporte A y B respectivamente, al variar la tarifa del primero, permaneciendo constante, en valores sucesivos crecientes, la del segundo.

Supongamos ahora que el volumen total a transportar sea QQ' , y que según los principios del coste económico mínimo, calculado en el epígrafe anterior, el reparto óptimo sea el que asigne al medio A el tráfico Q y al medio B el tráfico Q' . El problema reside pues en la instrumentación de una adecuada política tarifaria que consiga este reparto. Para ello, se llevan, a derecha e izquierda de 0 , segmentos iguales a Q y Q' , respectivamente, y levantando sobre Q y Q' perpendiculares al eje de abscisas se obtienen los puntos:

$M_1, M_2, M_3 \dots$ de intersección con las curvas
 $A_1, A_2, A_3 \dots$ y los
 $N_1, N_2, N_3 \dots$ de intersección con las
 $B_1, B_2, B_3 \dots$

Así tenemos que, para las curvas A_1 y B_1 correspondientes a la tarifa TaB_1 , no queda definida la tarifa de A , que toma los valores TaA_1 y $Ta'A_1$. Lo mismo sucederá para las sucesivas tarifas de B ($TaB_2, TaB_3 \dots$), con lo que podemos, por puntos, construir las curvas de la figura 3 que nos indican la relación que debe existir entre las tarifas respectivas para el reparto de tráfico deseado. Sólo en el punto L de intersección de ambas curvas se da una combinación de tarifas única (TaA_2, TaB_2), mediante las cuales se producirá, en cada medio de transporte, una demanda igual a las cantidades establecidas como base, en virtud del criterio de la óptima asignación.

En el segundo caso, es decir, si se pretende que exista libertad de tarifas, con el fin de que sea el mercado el que consiga, a través del mecanismo de «tâtonnement» la asignación óptima, será necesario utilizar una política de transportes orientada a la consecución de un equilibrio entre los distintos medios, de tal forma que las tarifas, formadas en el mercado, reflejen auténticos costes sociales originados por cada medio de transporte.

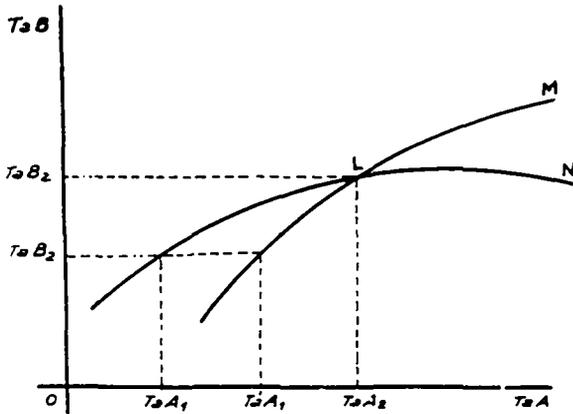


Figura 3

Dado que son las tarifas y los tiempos de transporte, junto a los elementos de comodidad, seguridad, los que determinan la elección del usuario de uno u otro medio, las acciones del Sector Público deberán dirigirse, de una parte, a mejorar cada medio, en su seguridad, comodidad y tiempo, a través de una adecuada política de inversiones públicas y de los incentivos precisos para que se desarrollen las privadas. La incidencia sobre las tarifas, para que representen los costes para la sociedad y no sólo los costes privados, podrá realizarse por la vía de la instrumentación de una adecuada política impositiva que grave a cada medio en función de los costes sociales (accidentes, contaminación, congestión, etc.) que origine y que lo prime en función de los beneficios (enumerados en el epígrafe 3) que genere.

Un esquema del funcionamiento del sistema en su conjunto, planteado en términos de equilibrio dinámico, puede servir como resumen a cuanto acabamos de indicar. El mecanismo de *feedback*, a través de la incidencia de la política impositiva y de inversiones sobre los costes, es el que confiere al sistema su carácter dinámico (véase figura 4) (10).

5. LA POLÍTICA DE CONTROL ÓPTIMO APLICADA A LA COORDINACIÓN DE LOS TRANSPORTES

Los modelos de coordinación planteados en los epígrafes anteriores conducen a la asignación óptima, puesto que queda deter-

En términos generales, el planteamiento del problema sería el siguiente (15).

Sea el vector $X(t)$, formado por n componentes: $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$, que se denominan variables de estado y que representan en nuestro caso los volúmenes de transporte, asignados o a asignar, a los diversos medios en competencia. Cada uno de ellos es función del tiempo, debiendo cumplirse que:

$$\sum_{i=1}^{i=n} x_i(t) = T(t) \quad [5.1]$$

siendo $T(t)$ el volumen global de transporte, asimismo función del tiempo.

Sea el vector $U(t)$, constituido por m componentes: $U_1(t), U_2(t), \dots, U_m(t)$, que se denominan variables de control o variables de decisión, por medio de las cuales puede intervenir en la evolución del sistema. En nuestro caso, los $U_i(t)$ serían los instrumentos a utilizar, esto es, política tarifaria, impositiva y de inversiones.

Este conjunto de variables de control no pueden tomar valores cualesquiera, sino que deberá pertenecer a un dominio realizable. Es decir:

$$U(t) \in [U] \quad \forall t \quad [5.2]$$

denominándose trayectoria de control al conjunto de valores de las variables $U(t)$ a lo largo del tiempo.

La relación existente entre el vector de estado en un instante, el vector de control y la evolución del sistema, puede expresarse matemáticamente por medio de una serie de funcionales denominadas ecuaciones de estado:

$$\dot{x}_i(t) = F_i[x(t), U(t), t] \quad (i = 1, \dots, n)$$

donde:

$$\dot{x}_i(t) = \frac{dx_i(t)}{dt} \quad [5.3]$$

Si suponemos que el estado inicial o actual es el momento t_0 ,

en el que se da un determinado reparto del transporte, entre los diversos medios, por ejemplo:

$$x_1(t_0) + x_2(t_0) + x_3(t_0) = T(t_0) \quad [5.4]$$

el problema consiste en determinar la trayectoria de control óptimo para los $X(t)$ y los $U(t)$, de forma que se alcance el estado final deseado en un tiempo final (t_f), es decir:

$$x_1(t_f) + x_2(t_f) + \dots + x_3(t_f) = T(t_f) \quad [5.5]$$

Matemáticamente se trata de hallar la trayectoria de los vectores $X(t)$ y $U(t)$, tales que (7):

$$OPT \cdot J = OPT \cdot \int_{t_0}^{t_f} L[x(t), U(t), t] dt \quad [5.6]$$

sujeto a:

$$\dot{x}(t) = F_i[x(t), U(t), t]$$

$$\sum_{i=1}^n x_i(t) = T(t) \quad \forall t \quad [5.7]$$

$$U(t) \in \mathcal{U} \quad \forall t$$

$$t_0, t_f, x(t_0) \quad \text{dados.}$$

Gráficamente, y en la hipótesis de existencia de sólo dos medios de transporte, la trayectoria de las $X(t)$ podría venir representada por la línea ABC de la figura 5, en la que se parte de una situación actual, representada por el punto A , con un reparto del transporte:

$$[x_1(0), x_2(0)]$$

siendo:

$$x_1(0) + x_2(0) = T(0)$$

y se pretende llegar a un punto C , que se supone que representa el reparto óptimo, en el momento t_f .

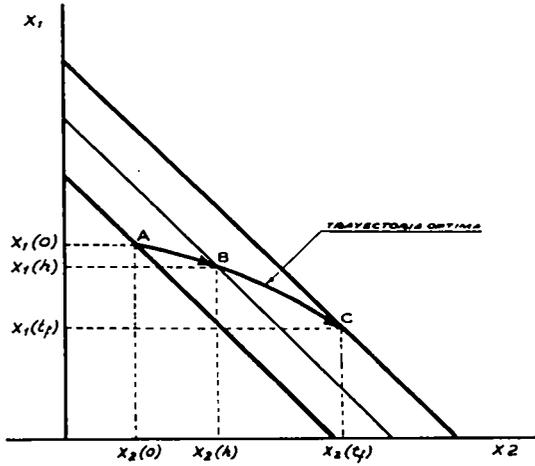


Figura 5

El camino de A a C es la hipotética trayectoria óptima, seguida por la combinación de las variables X_1 y X_2 a lo largo de un período de tiempo (t_f), en el que se aplica el conjunto de instrumentos $U(t)$.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ADIER, H. A. (1968): *La Planification des Transports*, Ed. Dunod, Paris.
- (2) BOISSIEU, Ch.: (1978): *Principes de Politique Economique*, Ed. Economica, Paris.
- (3) FERNÁNDEZ DÍAZ, A. (1980): *La evolución del transporte de viajeros en España*, Conferencia Europea de Ministros de Transportes, Paris.
- (4) HEAL, G. M. (1977): *Teoría de la planificación económica*, Ed. Bosch, Barcelona.
- (5) INZA, C. DE (1967): «Quelques Aspects théoriques de la coordination des transports», *Annales Suisses d'Economie des Transports*, Zurich.
- (6) ISARD, W.: *Análisis regional*, Ed. Ariel, Barcelona.
- (7) LASDON, L. S. (1975): *Design and Testing of a GRG Code for Non-Linear Optimization*, Report TM-353 Case Western University.
- (8) LITTLE, I. M. D., y MIRRIESS, J. A. (1968): *Manual of Industrial Project Analysis in Developing Countries*, O. C. D. E., Paris.
- (9) MEYER, J. R., y STRASZHEIM, M. R. (1971): *Techniques of Transport Planing*, vol. I, The Brookings Institution, Washington.
- (10) PRESIDENCIA DEL GOBIERNO (Subsecretaría de Planificación) (1977): *Incidencia del transporte en el desarrollo regional*, Madrid.
- (11) PREST, A. R. (1969): *Transport Economics in Developing Countries*, Weidenfed & Nicolson, Londres.
- (12) RODRÍGUEZ SAIZ, L. (1973): «La política económica de coordinación de transportes: El caso de España», *Rev. de Economía Política*, núm. 64, Madrid.
- (13) RODRÍGUEZ SAIZ, L. (1974): «Un caso de planificación sectorial: La aplicación de modelos en la planificación del transporte», *Rev. Anales de Economía*, n.º 20, Madrid.
- (14) TIEN PHUC, N. (1969): *Les Transports: T.1 Analyse Economique*, Ed. Eyrolles, Paris.
- (15) VEGARA, J. (1976): *Programación matemática y cálculo económico*. Ed. Vicens-Vives, Barcelona.