

Hernán de Solminihac
Jaime Retamal
Carlos Videla

Pontificia Universidad Católica de Chile

Administrar una red vial es una labor difícil y costosa. Por tal motivo, a partir de los años 60, las agencias o instituciones encargadas de dicha labor han desarrollado sistemas de apoyo a la gestión de diferentes tipos de infraestructura (sistemas de gestión de pavimentos y sistemas de gestión de puentes) y/o actividades particulares. El presente trabajo plantea que el uso independiente de estos sistemas no siempre acerca a la agencia al logro de sus objetivos, y se propone una herramienta de planificación integral de la red, que permite alcanzar los objetivos a través de evaluaciones técnicas y económicas. A dicha herramienta se le ha denominado Sistema de Gestión Vial (SGV). Este plantea una perspectiva alternativa en relación a la manera de entender la red y de actuar sobre ella. Respecto al modo de entender la red vial se plantea que la unidad básica de ésta es el arco (visión de arco-red) y no los diferentes elementos o tipos de infraestructura que se encuentran en ella (visión de subsistema). Por otro lado, a partir de los conceptos de economía de transpone, se postula que sobre la red es posible actuar tanto a nivel de la oferta como de la demanda (enfoque de equilibrio) para así alcanzar puntos de equilibrio más cercanos al óptimo desde la perspectiva de los objetivos de la agencia, evitando caer en prácticas que asumen que las herramientas de gestión son patrimonio exclusivo de la oferta o la demanda (enfoque unilateral). Sin embargo, esta nueva perspectiva requiere algunos conceptos para poder ser implementada. Estos apuntan a la cuantificación del aporte que hacen las distintas acciones apolíticas de gestión al logro de los objetivos de la agencia: costo social total por arco y probabilidad de falla de puentes y túneles. De lo anterior es posible definir la estructura del SGV a partir de los flujos de información que debieran existir en la agencia vial.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es definir, a modo conceptual, una herramienta de evaluación técnica y económica que apoye la planificación integrada de proyectos de infraestructura vial, evitándose las dualidades de funciones, así como también la realización de acciones que no necesariamente apuntan al logro del objetivo global de la agencia. A esta herramienta se le ha denominado Sistema de Gestión Vial (SGV). Hay que destacar que ese trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación realizado por los autores para la DNV del MOP, denominado: "Conceptualización y requerimientos para el desarrollo de un Sistema y Gestión Vial."

CONCEPTOS BÁSICOS

La Figura 1 esquematiza la multidimensión que deben enfrentar las agencias que administran la red vial. Ellas intentan satisfacer uno o más objetivos (multiobjetivo o multicriterio), tales como minimización de costos de la agencia, minimización de costos de usuarios, maximización de la seguridad. Para ello realizan una serie de actividades o funciones (multiactividad) como por ejemplo planificación, diseño, construcción y conservación. Estas se ejecutan sobre varios elementos o tipos de infraestructura (multielemento), entre los cuales se encuentran caminos, puentes y túneles^{1,2-3}. A estas tres dimensiones debe agregarse un cuarto aspecto a considerar, el cual está relacionado con el mercado de viajes que se produce en la red vial. En dicho mercado interactúan la oferta (infraestructura provista por la agencia) y la demanda (viajes que desean efectuar los usuarios), las cuales se equilibran, definiendo la cantidad de viajes que se producen en cada arco de la red, así como también el nivel de servicio con que dichos viajes se realizan⁴. En la Figura 2 se observa la forma típica de las curvas de oferta (disminución del nivel de servicio a medida que el flujo aumenta) y demanda (aumento del flujo o cantidad de viajes cuando el nivel de servicio percibido por los usuarios aumenta), así como también el equilibrio que se produce cuando éstas interactúan y que se define como un flujo operando a un cierto nivel de servicio.

La multidimensión y la gran cantidad de recursos que implican las labores de administración de una red vial, hizo que durante los años 60 comenzara a surgir una nueva especialidad dentro de la ingeniería civil, la que mirada con la perspectiva de los años 90, se le puede asignar el nombre de *gestión de infraestructura*. El objetivo de esta nueva disciplina es apoyar, de manera tecnicada y objetiva, la toma de decisiones respecto a las inversiones a realizar en los distintos tipos o elementos de infraestructura. Este apoyo se ha traducido en el diseño de diferentes sistemas de gestión de algún tipo de infraestructura específico. Sin embargo, hasta el

momento la mayoría de los esfuerzos han sido desarrollados en el área de la infraestructura vial, particularmente en lo que se refiere a caminos y puentes, dando origen a los Sistemas de Gestión de Pavimentos^{5,6} y Sistemas de Gestión de Puentes⁷ respectivamente.

Durante el último tiempo en Estados Unidos se están haciendo esfuerzos por coordinar el uso de estos sistemas⁸. Para ello ha sido necesario incorporar sistemas que se responsabilicen de otros aspectos relacionados con la operación vial (transporte público, emisiones de gases, aspectos intermodales, congestión de tránsito y seguridad). En la Figura 3, extraída de Hudson y Hudson (1994), se puede observar que todos los sistemas (o subsistemas) confluyen a los sistemas de congestión y seguridad, lo cual significa que la coordinación pasa por el monitoreo de la operación misma de los vehículos sobre la red.

A la luz de estos antecedentes, en lo que sigue se intentará responder las dos preguntas claves de la administración vial: ¿cómo entender la red?, y ¿cómo actuar sobre la red? Las respuestas vendrán de dos frentes: práctica tradicional de la administración vial y perspectiva alternativa para dicha administración.

PRACTICA TRADICIONAL EN LA ADMINISTRACIÓN VIAL

Se puede decir que la práctica tradicional en la administración vial entiende a la red como un conjunto de elementos, los cuales son gestionados por subsistemas específicos para cada elemento o actividad. Por otro lado, cada uno de estos subsistemas tienen sus propios objetivos, los que en ocasiones pueden ser diferentes a los de otro subsistema, por lo que las decisiones adoptadas por cada uno de ellos no necesariamente apuntan al logro del objetivo global de la agencia. A esta característica se le ha denominado *visión de subsistema*⁹.

A partir de esta visión, ocurre que los elementos compiten entre sí, para hacerse acreedores de una cierta cantidad de recursos, los que siempre son limitados y escasos. A continuación se ejemplifica un problema causado por esta visión.

La Figura 4 muestra un tramo cualquiera de la red, compuesto por tres elementos o tipos de infraestructura diferentes: caminos pavimentados (el, c2, c3), un puente (p) y un túnel (t). En el esquema de visión de subsistema, podría darse el caso que la agencia cuente con un sistema (o subsistema) de gestión de la conservación de pavimentos, otro de conservación de puentes y otro de conservación de túneles. Supóngase que todos los elementos estén en pésimas condiciones, y que luego del proceso de asignación de recursos a cada subsistema, éstos hayan dispuesto, según sus propios criterios y objetivos, entregar fondos a ciertos elementos específicos dentro de la red, dándose el caso que el, c2 y c3 hayan sido beneficiados con fondos para su conservación, mientras que p y t no. La pregunta que cabe hacerse es ¿qué sentido tiene contar con un tramo que posee excelentes pavimentos, pero con conexiones (puente y túnel) en malas, e incluso peligrosas, condiciones?

La situación descrita en el ejemplo anterior, es producto de la competencia que existe entre los distintos elementos al momento de asignar los recursos. Sin embargo, la razón fundamental del problema no está en la competencia, si no más bien en la manera de entender la red, asumiendo que ésta se compone de una serie de elementos o tipos de infraestructura sin interconexión lógica.

En resumen, la visión de subsistema supone que las unidades básicas de la red son los elementos o tipos de infraestructura presentes en ella.

Otro problema que surge de la visión de subsistema tiene que ver con la forma de enfrentar el tema de la multidimensión. La Figura 5 muestra de qué manera se generan las duplicidades a partir de la existencia de subsistemas aislados. En ella aparecen una serie de actividades que se encargan varios elementos. Puede darse el caso de que una agencia tenga un subsistema que gestione todas las actividades relacionadas con el elemento pavimento (Sistema de Gestión de Pavimentos, SGP), y que además posea otro subsistema que gestione todas las acciones de mejoramiento (Sistema de Gestión del Mejoramiento, SGM). En alguna ocasión tanto el SGP como el SGM tendrán que utilizar un Sistema de Gestión del Mejoramiento de Pavimentos (SGMP) que decida respecto a las acciones de mejoramiento del pavimento.

Respecto a la manera de actuar sobre la red, la práctica tradicional cae en lo que se ha denominado *enfoque unilateral*⁹, es decir, se asume que las herramientas de gestión son patrimonio exclusivo de la oferta (enfoque ofertista) o de la demanda (enfoque demandista).

El enfoque demandista considera que la oferta es un dato. Es decir asume que la infraestructura es un elemento del que "otros" se preocuparán, pero que en definitiva no presenta mayores cambios a menos que predeterminadamente se desee realizar una mejora de la oferta, a fin de atender los aumentos de la demanda. Las Figuras 6 y 7 ilustran de algún modo este enfoque. En ellas se aprecia una determinada oferta O_i , una cierta demanda D_i y un equilibrio, descrito a partir de un flujo q_i y de un nivel de servicio NS_i al cual opera dicho flujo. Según el enfoque demandista, si sobre este mercado no se hiciera nada, el único efecto percibible sería un crecimiento vegetativo de la demanda (generalmente por razones de aumento de la actividad económica), produciéndose un desplazamiento de la demanda hacia la derecha de su posición original, dando origen así a la curva \dot{U}_2 . Si se considerara que el nuevo equilibrio, (definido por un nuevo flujo q_2 y nuevo nivel de servicio NS_a), no es aceptable se tienen dos alternativas: aumentar la oferta desde O_i a O_a alcanzando un equilibrio (q_3 , NS_0) (ver Figura 3.3), o utilizar herramientas de gestión a fin de disminuir la demanda desde \dot{U}_2 a DB , llevando al equilibrio a un punto (q_4 , NS_4) (ver Figura 7). En resumen, se puede decir que el enfoque demandista intuye que las herramientas de gestión son sólo patrimonio de la demanda.

El enfoque ofertista, en cambio, considera que la demanda es un dato que puede ser determinado por conteos de vehículos y por tasas de crecimiento de dichos conteos. Con esto, el enfoque ofertista asume que el flujo de equilibrio (el que se verifica realmente en cada arco y que es susceptible de ser observado) corresponde a la curva de demanda, lo que significa que esta función es inelástica. Es decir, la cantidad de vehículos que utilizarán un determinado camino es constante, y por lo tanto independiente del nivel de servicio. Estos conteos son amplificados por una tasa de crecimiento, con lo cual se pretende estar captando el efecto del crecimiento vegetativo. A partir de esta concepción, el enfoque ofertista (ver Figura 8) cree que si sobre un camino no se efectúa ningún tipo de gestión, lo que ocurrirá es que, por *disminución vegetativa de la oferta* (producto de la cantidad y peso de los vehículos, del clima y de las características físicas de los materiales constituyentes del camino), la curva O_i se desplazará hasta O_a , mientras que la demanda, por crecimiento vegetativo (supuestamente constante y equivalente a la tasa de crecimiento), aumentará desde D_i a \dot{U}_2 , produciéndose un desplazamiento del equilibrio desde (q_i , NS_i) hasta (q_2 , NS_2). Si este nuevo equilibrio resultara poco satisfactorio, existen las herramientas de gestión como para retardar la caída de la oferta dejando a ésta en O_j . Esta última acción evitará que el equilibrio llegue hasta (q_2 , NS_2) de modo tal que el nuevo equilibrio sea (q_2 , NS_a). En resumen, el enfoque ofertista considera que sólo es posible gestionar la oferta, lo que en este caso equivale a gestionar la infraestructura.

En lo que sigue se intentará definir una nueva perspectiva desde la cual administrar la red vial. En ella se presenta una alternativa a cada uno de los aspectos aquí tratados, vale decir, una manera de solucionar los inconvenientes surgidos en la visión de subsistema y de la forma tradicional de abordar la multidimensión, y por último se plantea un enfoque alternativo al enfoque unilateral.

UNA PERSPECTIVA ALTERNATIVA PARA LA ADMINISTRACIÓN VIAL

Esta perspectiva alternativa da una nueva respuesta a la manera de entender la red vial y de actuar sobre ella. En este caso la red se entiende como un conjunto de arcos, cada uno de los cuales está definido por una serie de elementos. De este modo, los elementos de un mismo arco ya no son competidores entre sí, si no que son "compañeros de un mismo equipo". Sin embargo esta visión de arco es incompleta cuando la demanda es elástica, ya que en esos casos es conveniente analizar las acciones que emprenda la agencia en función del impacto que éstas provocan sobre la red. A esta visión se le ha denominado *arco-red*⁹.

Por lo anterior es que la coordinación necesaria entre las acciones que emprenden los distintos subsistemas la logra la misma red vial. Tal coordinación se produce a través del arco, cuando sea posible asumir demandas inelásticas, o a través de la subred que rodea al arco, cuando la demanda sea elástica. Para lograr que esta visión sea posible de implementar, es necesario que exista algún *indicador* que permita comparar la situación de los arcos en la red. Este indicador debe ser capaz de reflejar en qué medida un determinado arco contribuye al logro o cumplimiento de los objetivos globales de la agencia.

Otro aspecto interesante que se desprende de la visión arco-red es que hay funciones o actividades que necesariamente deben ser realizadas con esta perspectiva. Si se toma la Figura 5 por ejemplo, parece ser que al menos las actividades de planificación y evaluación, y de administración de la información, podrían ser efectuadas por alguna unidad que tenga visión sobre todos los elementos que conforman los distintos arcos de

la red. Por otro lado, el resto de las actividades o funciones no necesariamente exigen visión de arco-red; además hay que tener en cuenta que cada una de ellas requiere de ciertas potencialidades técnicas específicas para cada elemento o tipo de infraestructura, por lo que en este caso podría darse el caso que las herramientas de gestión estén en la dimensión de los elementos. La Figura 9 ilustra la idea recién expresada.

Sin embargo, la multidimensión no sólo involucra elementos y funciones, sino que también objetivos. En este caso se ha asumido que los objetivos perseguidos por la agencia son tres: asegurar la conectividad entre diferentes puntos; minimizar los costos sociales (costos de la agencia y de los usuarios) durante la provisión de la infraestructura y operación sobre ella; y maximizar la seguridad durante dicha operación. En resumen se puede decir la agencia persigue maximizar el beneficio social.

Respecto a cómo actuar sobre la red, la proposición consiste en que la agencia tiene que considerar todas las herramientas disponibles (técnicas, económicas y legales), a fin de mover los puntos de equilibrio de la red desde un cierto nivel a otro más óptimo desde la perspectiva de los objetivos que espera alcanzar. Tal movimiento se puede lograr a través de modificaciones a nivel de oferta y/o demanda. Este enfoque, denominado *enfoque de equilibrio*⁹, tiene la ventaja de considerar que tanto la oferta como la demanda pueden y deben ser manejadas o gestionadas, por cuanto ambas son parte de procesos dinámicos tales como el crecimiento vegetativo de la demanda (producto de cambios socioeconómicos), y disminución vegetativa de la oferta (originada en el deterioro de la infraestructura), los cuales generan variaciones en el equilibrio del mercado de viajes.

En este trabajo, la oferta se ha asumido descrita por tres elementos fundamentales: topología, estado de la infraestructura y geometría. La demanda por su parte se define por: entorno, flota y flujo vehicular. El equilibrio, como ya se señaló, queda determinado por flujo operando a un determinado nivel de servicio, producto de la interacción entre oferta y demanda. La Figura 10 muestra como la agencia, haciendo uso de herramientas de gestión tanto a nivel de oferta como de demanda puede desplazar los equilibrio desde un cierto punto (situación 1) a otro más apropiado, desde la perspectiva del logro del objetivo de dicha agencia (situación 2).

CONCEPTOS NECESARIOS PARA IMPLEMENTAR PERSPECTIVA ALTERNATIVA

Como se señaló, los objetivos de la agencia son: asegurar la conectividad de nodos; minimizar los costos sociales por la provisión y uso de la infraestructura; y maximizar la seguridad de los usuarios durante el viaje. Sin embargo, el logro de estos objetivos está limitado por la restricción presupuestaria que es impuesta a la agencia.

A partir de la visión arco-red es necesario definir en qué medida cada uno de los elementos o tipos de infraestructura vial, aportan al logro de estos objetivos.

Los caminos, por ejemplo, están estrechamente ligados con todos los objetivos. La presencia del camino provee la conexión entre nodos. Respecto a los costos sociales, el estado y geometría del camino determinan los costos que deberán enfrentar los usuarios, ya sea por concepto de consumo de tiempo (fenómenos de congestión) o de costos de operación. Sin embargo, éste no es el único costo social, por cuanto la construcción y mantención del camino involucran costos que deben ser enfrentados por la agencia. Por otro lado, la geometría del camino y el estado de las señales y demarcaciones del mismo están relacionados con la seguridad que un determinado arco puede proveer a los usuarios.

Por su parte, el estado y geometría de puentes y túneles también compromete aspectos de seguridad y consumo de recursos, tanto por parte de los usuarios como de la agencia. Sin embargo, en lo que se refiere a la conectividad de dos nodos o zonas, este tipo de elementos presenta una gran diferencia respecto a los caminos.

En general ningún arco cuyo único elemento sea un camino, verá amenazado el logro del objetivo de conectividad aún cuando dicho camino se encuentre en pésimas condiciones. Sin embargo, el estado de un puente o de un túnel está íntimamente ligado con el hecho de que el arco que lo contiene esté cumpliendo con su tarea de conectividad. Es decir, en un determinado momento el arco que incluya un puente o un túnel, puede dejar de existir debido al colapso de este elemento. En estos casos, los vehículos que tradicionalmente

hacían uso del arco colapsado deberán escoger una ruta alternativa para completar su viaje. Por este motivo la gestión de elementos tales como puentes y túneles requiere tener visión de red, con el fin de poder definir las rutas alternativas al arco colapsado.

Hasta el momento se han presentado los objetivos de la agencia, y la manera en que cada elemento se relaciona con el cumplimiento de éstos. Sin embargo, aún no ha sido definido un indicador que posibilite la implementación de lo que se ha denominado *perspectiva alternativa*, es decir que integre la visión arco-red con el enfoque de equilibrio. Respecto a cada uno de estos conceptos las preguntas pendientes son: ¿cuál es el indicador que permite comparar dos arcos, o dos situaciones a nivel de red, en función de su aporte al logro de los objetivos de la agencia? y ¿qué indica que un cierto punto de equilibrio (flujo operando a un determinado nivel de servicio) es más óptimo que otro?

Dado que el objetivo de la agencia es la maximización del beneficio social, el cual se traduce en el ahorro de costos por parte de los usuarios y de la agencia, parece ser que la respuesta a ambas preguntas es una sola: los *costos sociales totales por arco*⁹. A través de ellos es posible determinar en qué medida un arco contribuye a maximizar el beneficio social de una determinada acción.

Con el fin de estimar el beneficio social de una determinada acción, así como también el consumo de recursos que la implementación de dicha acción involucra, es necesario que el SGV (como herramienta de apoyo a la agencia) cuente con algún módulo que identifique y cuantifique los costos que percibirán tanto los usuarios como la agencia. Sin embargo, lo que al SGV debe interesarle, además de los costos mismos, es la causa de dichos costos, ya que a través de ellas es posible modificar los equilibrios del mercado de viajes, a fin de acercarlos al óptimo social buscado.

En el costo social total por arco se consideran los costos de la agencia, producto de la provisión de la infraestructura; los costos de los usuarios, divididos en consumo de tiempo de viaje y de recursos por la operación de los vehículos (generados por la topología, geometría, nivel de deterioro de la red vial y flujo vehicular); y de ambos debido a la ocurrencia de accidentes.

De este modo es posible determinar en qué medida una acción sobre la oferta y/o la demanda de una cierta red, aporta al logro de los objetivos de conectividad, minimización de costos sociales (costos de la agencia y de los usuarios) y seguridad que intenta cumplir la agencia que administra la red vial.

Si bien ya se ha definido el indicador que mide el grado de satisfacción del objetivo de la agencia, aún hay un aspecto que estudiar. Este es el relacionado con la eventual pérdida de conectividad de un par de nodos, producto del colapso de un puente o un túnel.

Respecto a los puentes, tal como se ha hecho en los sistemas de gestión de puentes, es posible definir un índice combinado, que exprese en qué medida el puente ofrece seguridad al paso de los vehículos. Este índice puede ser definido por la propia agencia en función de una serie de características estructurales del elemento.

Sin embargo la sola consideración de aspectos estructurales no basta (enfoque unilateral ofertista), por cuanto la completa efectividad de una estructura depende también de las cargas a que se vea sometida. De este modo, *sería posible*, asociar a cada puente una *probabilidad de falla*⁹, la cual sería función de las características estructurales del puente (oferta) y de las cargas que sobre él transitaran (demanda). De este modo se estaría siendo respetuoso del enfoque de equilibrio. Así, las acciones sobre puentes, túneles, y en general cualquier elemento colapsable, tanto a nivel de oferta como de demanda, se traducirían en cambios sobre la probabilidad de falla de dicho elemento. Así, la manera de evaluar acciones en puentes, por ejemplo, se haría en función del *costo social total esperado* de la subred que contiene al puente. A continuación se presenta un ejemplo que ilustra el modo de determinar si una acción específica sobre un puente es conveniente de realizar o no, desde la perspectiva del objetivo global de la agencia. Este ejemplo se gráfica en la Figura 11.

Supóngase que existe una subred (parte de la red) formada por dos arcos: arco 1 y arco 2; que unen dos nodos,

A y B. Supóngase además que en el arco 1 hay un puente cuya probabilidad de falla es P . Hay que recordar que esta probabilidad de falla es función de la capacidad estructural del puente, del flujo y de las características de la flota (pesos de vehículos) que hace uso del arco 1. En esta subred pueden ocurrir dos situaciones excluyentes: que el puente no colapse (situación ilustrada en la Figura 11 a) o que el puente si

colapso (situación ilustrada en la Figura 1 Ib). En la primera situación los costos sociales totales del uso de esta subred (es decir en los que incurren los usuarios y la agencia), es C1. Mientras que en la segunda situación el mismo costo alcanza a C2. Si el puente tenía alguna utilidad habrá que suponer que C2 es muchísimo mayor que C1. Este caso corresponde a la situación base. Si sobre el puente se ejecutara alguna acción, ya sea reforzando el puente o limitando los pesos de los vehículos que sobre él transitan, ocurrirá que la probabilidad de falla disminuirá a un valor P'. En este caso los costos sociales totales seguirán siendo C1, si es que no colapsa el puente, y C2 si es que si colapsa. Por otro lado, también hay que agregar los costos en que ha incurrido la agencia o los usuarios por concepto de implementar la acción (C3). Este caso equivale a la situación con proyecto.

Ahora bien, para definir si esta acción es conveniente desde la perspectiva del objetivo de la agencia, es necesario comparar la situaciones con y sin proyecto a la luz de los costos sociales totales de la subred. Sin embargo, primero hay que definir cuál es ese costo ante la presencia de la probabilidad de falla del puente. En este caso, el costo social total *esperado* es la suma de los costos sociales totales con puente y sin puente, ponderados éstos por la probabilidad de que el puente no falle y la probabilidad de que sí falle respectivamente. En este ejemplo el costo social total esperado (CSTE) se calcula como lo muestra la ecuación (1):

$$\text{CSTE} = \text{C1}*(1-\text{P}) + \text{C2}*\text{P} \quad (1)$$

donde: CSTE : costo social total esperado en la situación sin proyecto

C1 : costo social total en la situación con puente C2 : costo social total en la situación sin puente P : probabilidad de falla del puente

Una vez que la acción sea implementada, el nuevo costo social total esperado (CSTE') será el que indica la ecuación (2):

$$\text{CSTE}' = \text{C1}*(1-\text{P}') + \text{C2}*\text{P}' + \text{C3} \quad (2)$$

donde: CSTE': costo social total esperado en la situación con proyecto

C1 : costo social total en la situación con puente C2 : costo social total en la situación sin puente C3 : costo social de la acción de disminución de la probabilidad de falla del puente P' : nueva probabilidad de falla del puente

Luego, el beneficio social total esperado (BSTE) se mide como la diferencia entre el CSTE' (con proyecto) y el CSTE (sin proyecto), tal como lo indica la ecuación (3):

$$\text{BSTE} = \text{CSTE} - \text{CSTE}' \quad (3)$$

donde: BSTE : beneficio social total esperado

CSTE': costo social total esperado en la situación

con proyecto CSTE : costo social total esperado en la situación

sin proyecto

Por último, el tratamiento de los túneles puede ser abordado de manera similar, es decir definir una probabilidad de falla del túnel en función de las características estructurales de éste, ya que a simple vista no existe manera de incluir el tránsito o flujo vehicular dentro de la relación que defina a dicha probabilidad. Sin embargo, existe una forma de hacerlo a través del concepto de calidad del aire. Si un determinado túnel presenta indicadores de calidad del aire incompatibles con las necesidades mínimas de oxígeno para un ser humano, este túnel en definitiva está igualmente colapsado. Por lo tanto, la probabilidad de falla de un túnel debiera ser función, al menos, de las características estructurales del túnel y de la calidad del aire dentro de él. Luego, la manera de disminuir la probabilidad de falla del túnel pasa por mejoras estructurales y/o de la calidad del aire. Para esto último pueden realizarse acciones que mejoren la ventilación (oferta), o por otro lado limitar el número o tipos de vehículos que cruzan el túnel (demanda).

PROPOSICIÓN CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN VIAL

El Sistema de Gestión Vial (SGV) corresponde a una visión sistemática de las tareas que desarrolla la agencia. Por tal motivo, el SGV no es otra cosa que la misma agencia, razón por la cual los objetivos del

sistema son los mismos que persigue la agencia: asegurar conectividad, minimizar costos de usuarios y agencia durante la operación sobre la red y provisión de ella, y maximizar seguridad. En suma, el objetivo global del sistema y de la agencia es maximizar el beneficio social sujeto a restricciones técnicas y presupuestarias.

Para lograr su objetivo, el SGV recoge las características actuales que definen la oferta y la demanda de la red y sus solicitudes. Estas características son almacenadas en una base de datos única. Con esta información es posible conocer y predecir el estado actual y futuro de la oferta y la demanda, para así definir los equilibrios de corto y largo plazo, los que posteriormente son transformados en índices de comportamiento que permiten efectuar una evaluación técnica de cada arco de la red. De esta evaluación surgen un conjunto de políticas posibles de implementar, las que pueden afectar tanto la oferta como la demanda, y por lo tanto modificar el equilibrio en la red. Estos nuevos equilibrios son cuantificados por medio de los costos sociales totales por arco. Posteriormente se optimiza a nivel de red, proponiéndose un plan. Esta proposición es modificada por factores externos que dan origen al plan definitivo, el que es almacenado en la base de datos y ejecutado sobre la red y solicitudes. Además, con el fin de permitir evaluaciones ex post, se controlan las acciones efectivamente ejecutadas, las que posteriormente también forman parte de la base de datos. Todo este proceso se ilustra en la Figura 12⁹.

La Figura 13 muestra la información contenida en la base de datos: comportamiento de la oferta y la demanda, acciones efectivamente ejecutadas a la nivel de oferta y demanda, y plan definitivo. Con esta información, la agencia puede realizar evaluaciones ex post y mejorar la gestión interna por medio de comparaciones de las acciones efectivamente ejecutadas con el comportamiento de la oferta y la demanda, y con el plan definitivo respectivamente.

Como todo sistema, el SGV posee ventajas y desventajas. Entre las ventajas destacan la posibilidad de coordinar la gestión de diferentes tipos de infraestructura, la modularidad y flexibilidad y la base de datos única. La desventaja más grande es la cantidad de información que se requiere, y los esfuerzos que deben hacerse para administrarla.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presenta un listado con las principales conclusiones de este trabajo:

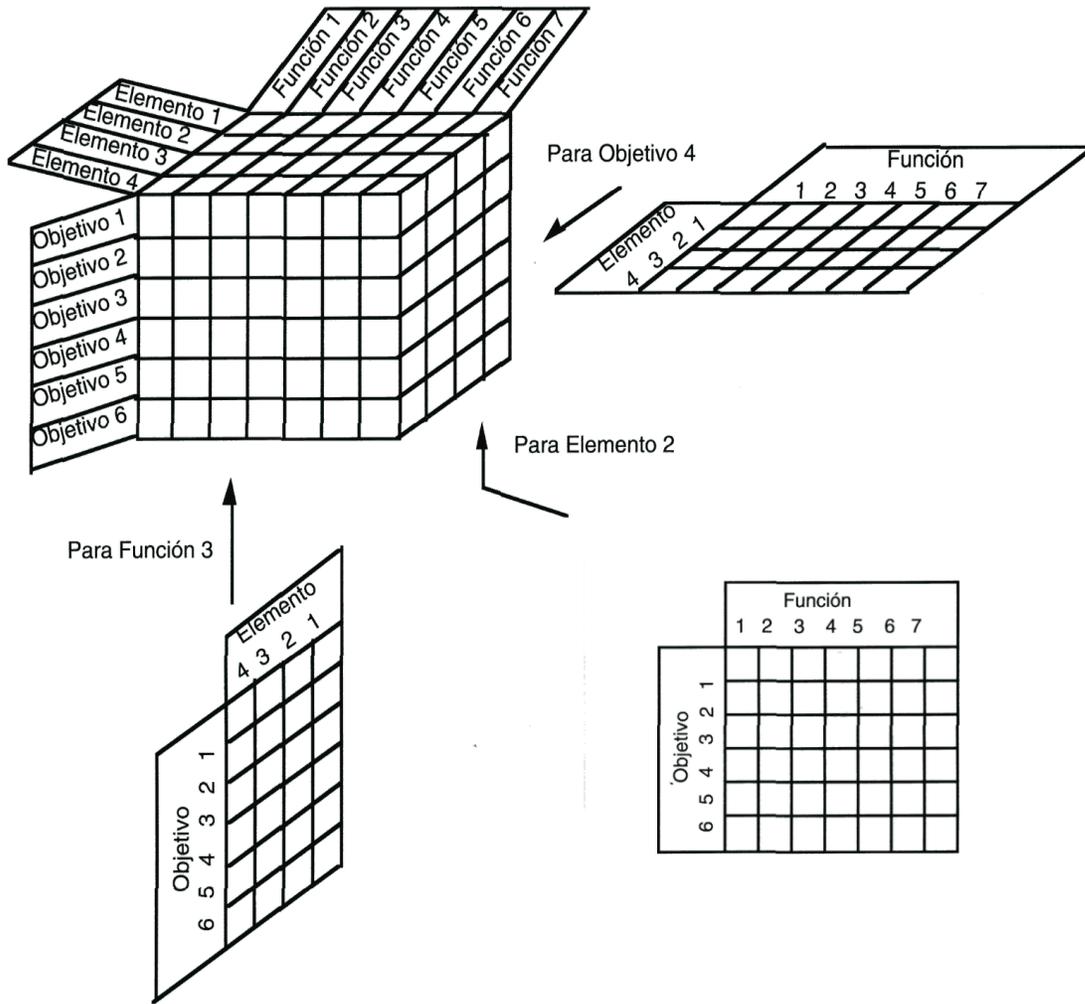
- a) Se ha conceptualizado una perspectiva alternativa para administrar una red vial. A ella se le ha denominado visión de arco-red con enfoque de equilibrio. Tal perspectiva requiere de algunos conceptos para poder ser implementada. Estos conceptos son el costo social total por arco y la probabilidad de falla de puentes y túneles.
- b) El SGV debe utilizar una visión de arco-red, es decir asumir que la unidad básica de la red vial es el arco, el cual a su vez se compone de varios elementos, pero sin olvidar que ellos se encuentran íntimamente relacionados a través de la continuidad física de cada arco.
- c) El conjunto de arcos da origen a la red. Esta debe ser el verdadero centro de la atención de la agencia.
- d) La coordinación entre los distintos subsistemas puede ser lograda por la misma red; por lo tanto, toda acción emprendida por la agencia, debe ser evaluada en función del impacto que dicha acción pueda causar sobre el arco intervenido y la red adyacente a éste.
- e) El SGV plantea que el carácter microeconómico del mercado de viajes permite utilizar herramientas de gestión tanto en la oferta como en la demanda, a fin de llevar al sistema a puntos de equilibrio más óptimos desde la perspectiva del objetivo global de la agencia. Detrás de este planteamiento está la idea de que el enfoque unilateral subestima las capacidades de la agencia.
- f) De las ideas anteriores surge una proposición conceptual para el SGV, la cual se presenta en términos del flujo de información que debe existir en la agencia. Este flujo
• está representado en Figura 14. En ella se aprecia como desde la red y sus solicitudes es posible obtener información tanto de la oferta (relacionada con la infraestructura) como de la demanda (relacionada con los usuarios).
- g) Es necesario contar con una base de datos única, la cual debe estar a disposición tanto de quien evalúa y toma decisiones, como de quien ejecuta las acciones sobre la red, ya sea a nivel de oferta como de demanda.
- h) Un buen control de las labores ejecutadas sobre la red, permite almacenar en la base de datos, las acciones efectivamente realizadas, a fin de monitorear en qué medida se ha materializado el plan de acciones y permitir evaluar la eficacia de las acciones implementadas (evaluaciones ex-post.)

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico y técnico brindado por la Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile, sin cuya concurrencia no habría sido posible llevar adelante esta investigación.

REFERENCIAS

1. Sinha, K. C y Fwa, T. F. (1987). *On the Concept of Total Highway Management. Transportation Research Record 1229*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
2. Sebastián, J. B (1994). *La Programación de Actuación en Carreteras de la Red de Carreteras del Estado. Revista Rutas N°41*. Madrid.
3. Sauras, J. M (1994). *Análisis Multicriterio para la Evaluación Económica de Proyectos de Carreteras. Revista Rutas N° 40*. Madrid.
4. Manheim, M. L (1979). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*. The MIT Press, Cambridge, Mass.
5. AASHTO (1990). *Guidelines for Pavement Management System*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C.
6. Haas, R., Hudson, W. R. y Zaniewski, J. (1993). *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Company Melbourne, Fla.
7. Hudson, S. W., Carmichael, R. F., Moser, L. O., Hudson, W. R. y Wilkes, W. J. (1987). *Bridge Management System*. National Cooperative Highway Research Program Report 300. Transportation Research Board, Washington D.C.
8. Hudson, W. R y Hudson, S. W (1994). *Pavement Management Lead the Wayfor Infrastructure Management System. Proceedings I Third International Conference on Managing Pavement*, Vol 2. May 22-26, 1994, San Antonio, Texas.
9. Retamal, J. (1995). *Desarrollo Conceptual de un Sistema de Gestión Vial*. Tesis de Magister, Escuela de Ing. P.U.C., Santiago.



7 - Estructura matricial de tres dimensiones de un sistema de gestión de carreteras.

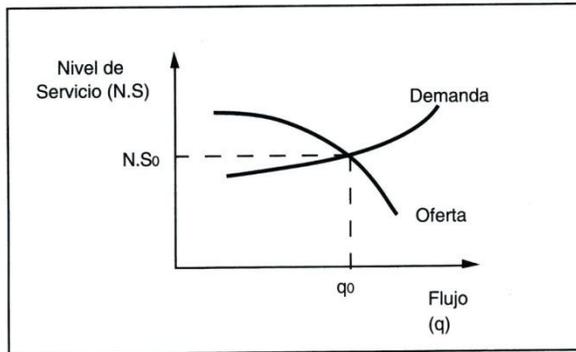


Fig. 2 - Concepto de oferta, demanda y equilibrio en un mercado de servicios de transporte.

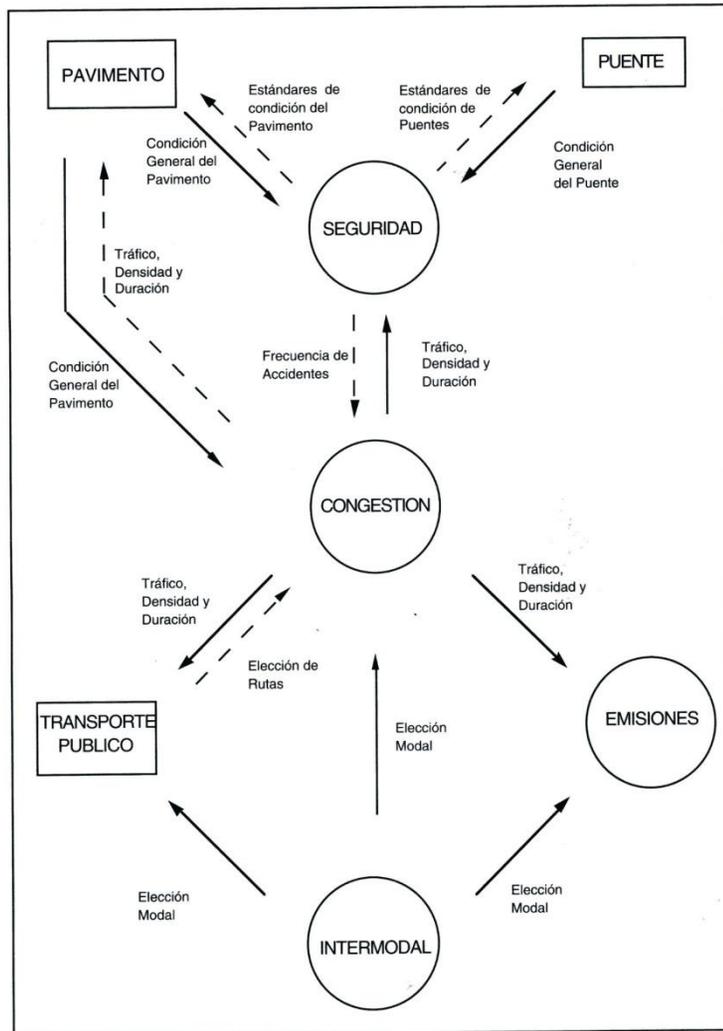


Fig. 3 - Modelo general de integración y enlace (Hudson y Hudson 1994).

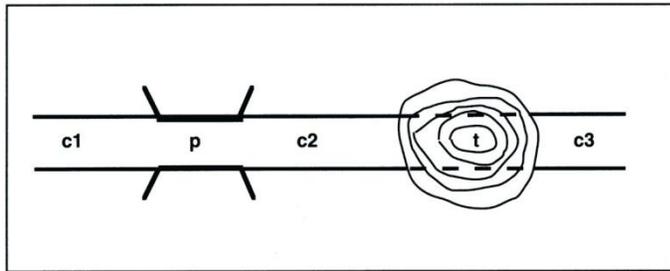


Fig. 4 - Ejemplo utilizado para describir las consecuencias de la visión por subsistema.

Elemento / Función	Pavimento	Puente	Berma	Control Tráfico
Planificación y evaluación				
Diseño				
Construcción				
Mantenimiento				
Mejoramiento				
Administración Información				

Fig. 5 - Relación entre un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP), un Sistema de Gestión del Mejoramiento de Pavimentos (SGMP) y un Sistema de Gestión del Mejoramiento (SGM).

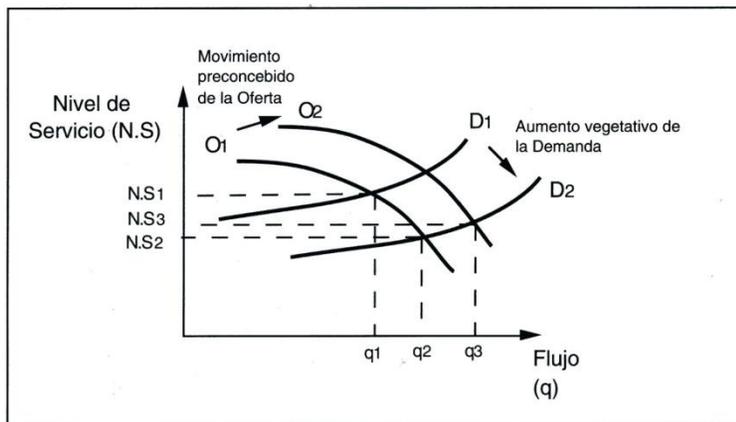


Fig. 6 - Enfoque demandista: la oferta es un dato.

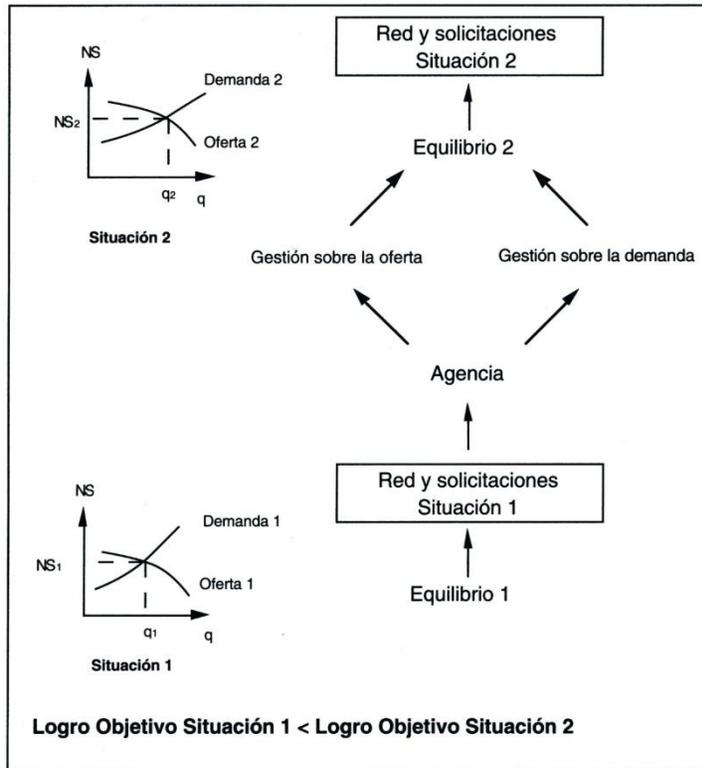


Fig. 10 - Esquema de actuación de la agencia sobre el equilibrio de la red vial.

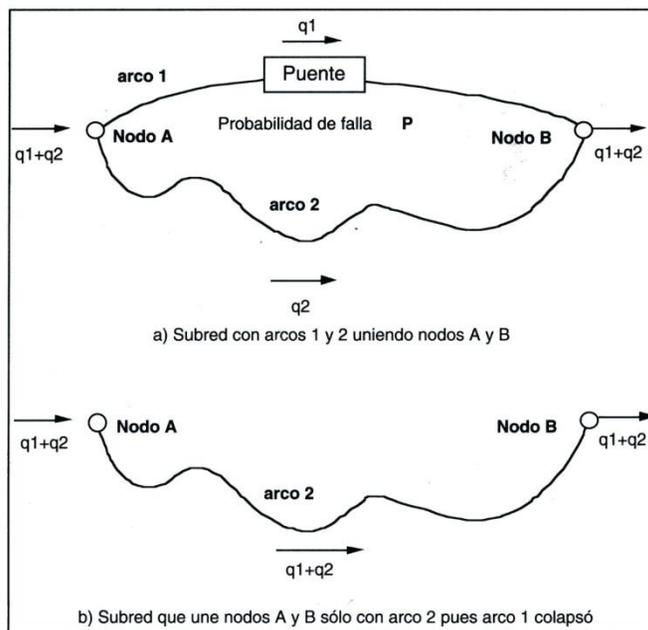


Fig. 11 - Ejemplo sobre probabilidad de falla de un puente.

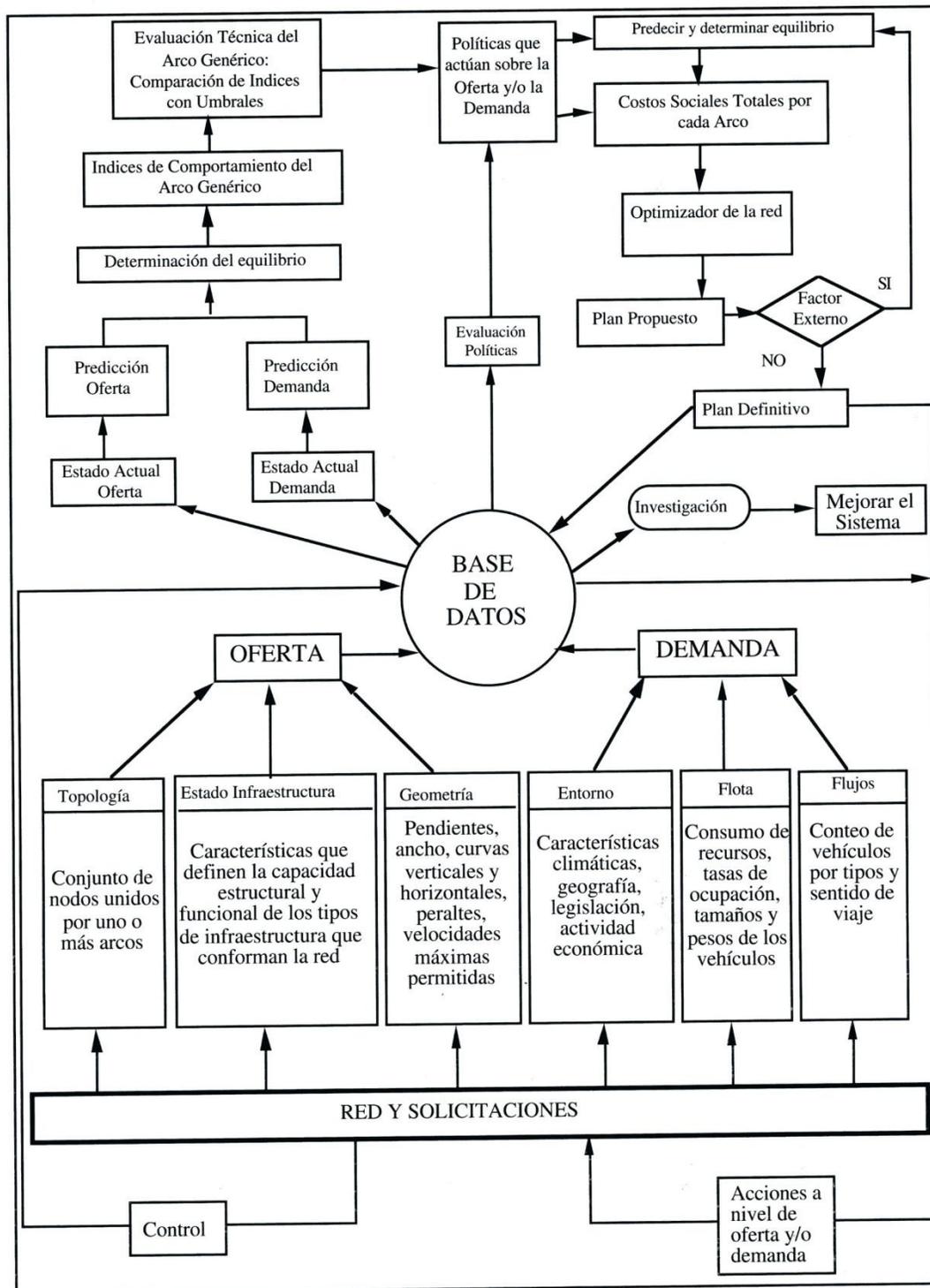


Fig. 12 - Detalle del flujo de información en el SGV.



Fig. 13 - Detalle de la base de datos.

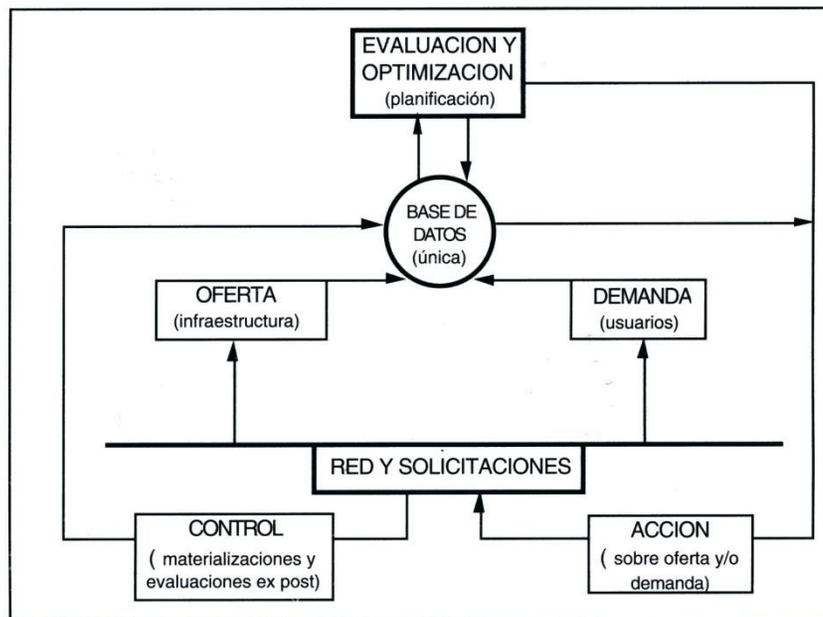


Fig. 14 - Flujo de información del SGV.