



INSTITUTO DE ECONOMÍA Y EMPRESA

www.iee.edu.pe

1

SERIE ARTÍCULOS<sup>1</sup>

n° 32

---

# ... VIALIDAD URBANA E INTERURBANA. ENFOQUE DE PROYECTOS ...

Francisco Huerta Benites<sup>2</sup>

institutoeconomia@iee.edu.pe

Trujillo-Perú, Mayo 2016



Premio PODER  
al think tank  
de regiones 2014

INSTITUTO DE ECONOMÍA  
Y EMPRESA

---

<sup>1</sup> Es un artículo del Instituto de Economía y Empresa (IEE), es una serie que trata de temas diversos de economía, desarrollo y negocios. Usualmente son escritos debido a la importancia coyuntural y estructural del tema, y/o a solicitud de publicaciones impresas de diversas instituciones del país. Los números anteriores se pueden hallar en [www.iee.edu.pe](http://www.iee.edu.pe). También ahí se puede ver la serie de "AZ" (111 ediciones), y la serie de "temas de desarrollo".

<sup>2</sup> El autor es director, consultor e investigador del IEE. Actualmente, aplica consultoría económica a empresa minera corporativa; y en planeamiento financiero a empresa comercializadora. Es, a la vez, docente principal en la UPN ("microeconomía avanzada" y "economía monetaria").

## VIALIDAD URBANA E INTERURBANA. Enfoque de proyectos

2

La mayoría de ciudades en el Perú, en temas de transporte, se hallan en una situación que se podría denominar catatónica. Las autoridades de gobierno responsables dan respuestas parciales y a menudo alejadas del interés real de la ciudadanía y de un camino claro hacia ciudades modernas; hay una clara falta de liderazgo, ineficiencias e insuficiente conocimiento sobre qué y cómo hacer las cosas. Hay que tener primero una visión de ciudad, luego la misión, objetivos, estrategias y políticas definidas deben ser coherentes con tal visión. Asimismo, las iniciativas de proyectos deben contribuir a aumentar el bienestar de los ciudadanos de manera eficiente y transparente.

El objetivo de esta presentación es mostrar aspectos conceptuales y de asignación de recursos de inversión en la vialidad urbana e interurbana. Asimismo, ampliar con un tratamiento económico de proyectos a las iniciativas de vialidad interurbana que contribuya a hacer ciudades más felices.

### 1. Vialidad urbana

La infraestructura vial de una ciudad se puede representar mediante una *red de vías o arterias y nudos o intersecciones que proveen una cierta capacidad de transporte al flujo vehicular urbano*. En un momento dado del tiempo, las características de diseño y construcción de esta red y sus elementos, conjuntamente con el nivel de utilización a que éstos se ven sometidos, determinan lo que generalmente se llama un *“nivel de servicio de transporte”* que puede ser representado en términos de los *costos* que para los distintos usuarios implica el uso del sistema.

Dichos costos, denominados *“costos de transporte”*, pueden ser modificados en el largo plazo a través de cambios en la infraestructura. En nuestro caso, a través de *modificaciones en la estructura de la red vial o el rediseño de sus elementos*<sup>3</sup>. Si un proyecto modifica la demanda de viajes en el área (generación, distribución y partición modal de los viajes), se tiene dos clases: proyectos estructurales y no estructurales<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Mideplan (2013). División Social de Inversiones, Chile 2013.

<sup>4</sup> **Proyectos estructurales**. Son aquellos que inducen cambios significativos en las matrices origen - destino por modo. Desde el punto de vista del tratamiento de un proyecto conviene diferenciar en esta clase proyectos que pertenecen a un plan evaluado en un nivel estratégico que comprende, típicamente, toda la red de la ciudad pertinente, y proyectos que, por ausencia de estas herramientas, son estudiados individualmente con modelos ad-hoc de carácter estratégico. **Proyectos no estructurales**. Son aquellos en que se puede suponer que no hay efectos sobre la demanda y sus impactos se producen en un área restringida de la

En vialidad urbana existen principalmente tres factores importantes en la clasificación de proyectos<sup>5</sup>:

- El impacto del proyecto sobre la estructura de la demanda en el sistema de transporte urbano,
- El impacto sobre la estructura de flujos en las redes de dicho sistema y,
- El aspecto dominante de la intervención sobre el sistema.

En el primer caso se habla de proyectos estructurales y no estructurales; en el segundo, de proyectos con y sin reasignación de flujos y en el tercero, de proyectos de infraestructura o de gestión. Dado que los proyectos estructurales siempre producen reasignaciones, esta clasificación da origen a seis tipos diferentes de proyectos: estructurales de infraestructura y de gestión; no estructurales con y sin reasignación, de estructura o de gestión.

**Los beneficios y costos sociales** provienen de la comparación de la *situación sin proyecto con la situación con proyecto*. En general los *proyectos no estructurales* requieren de una metodología simple, la cual consiste en identificar los respectivos costos y beneficios y calcular los indicadores económicos de corto plazo (TRI y VAN) y/o largo plazo (VAN, TIR y B/C) dependiendo del tipo de proyecto.

Respecto de los *costos de inversión* se consideran fundamentalmente los costos asociados al suelo urbano, a la construcción de las obras, incluyendo los costos de los sistemas de operación y control de tránsito, así como los del proyecto definitivo de ingeniería y de asesoría y supervisión a la construcción. También para ciertos casos se deberá considerar los costos de congestión durante la construcción.

Los *beneficios económicos* provienen principalmente del tránsito, producto del ahorro de recursos asociados al desplazamiento de vehículos. Los recursos a considerar son: tiempo de usuarios, combustible y otros recursos de operación de vehículos.

Un supuesto básico en el cálculo de beneficios es que no se consideran los beneficios asociados a cambios en las matrices origen-destino por modo. Es decir, no se considera el caso de tráfico generado (nuevos viajes en la red), transferencias de tránsito

---

ciudad. Si estos impactos o la inversión asociada al proyecto no superan umbrales preestablecidos, éste se define como menor y recibe un tratamiento especial. En otro caso, se denomina corriente.

<sup>5</sup> Ob. cit. págs. 3,4.

(modificación de la distribución de los viajes) y cambios en la elección de modo de los usuarios.

El *ahorro de costos de viaje* corresponde a la diferencia de costos entre las situaciones sin y con proyecto, lo cual corresponde a la variación en el excedente del consumidor con demanda inelástica entre el par origen - destino respectivo<sup>6</sup>.

## 2. Vialidad interurbana<sup>7</sup>

El Sector Transporte Interurbano incluye a todos aquellos caminos nacionales, regionales y comunales que unen ciudades, pueblos, localidades rurales o que permiten el acceso a zonas productivas, turísticas, países vecinos, etc.<sup>8</sup>

### 2.1. Economía del transporte

Desde el punto de vista económico *el transporte es un "bien"* y como tal se rige por las leyes del mercado. Existe una demanda por este bien, la cual refleja la disposición a pagar por viajes y existe una oferta que representa el costo en que se incurre por realizar tales viajes.

Esta situación se representa en el *gráfico de oferta y demanda* que muestra la [figura 1](#). En la abscisa se representa el número de viajes, Q, que se realizan por unidad de tiempo, entre un par origen-destino y en la ordenada un valor económico P, medido en pesos. Ambas curvas expresadas en términos privados, es decir, a precios de mercado.

El área OABQO bajo la curva de demanda D, representa la *disposición a pagar*, y por lo tanto el beneficio que perciben los usuarios del camino, por realizar QO viajes entre el par origen-destino.

El costo en que incurren los usuarios se denomina *costo generalizado de viaje*, CGV, el cual principalmente depende de la valoración del tiempo empleado en el viaje y del costo de operación de los vehículos en que se realizan dichos viajes (combustibles, neumáticos, etc.).

---

<sup>6</sup> Para mayor detalle de los beneficios económicos, véase el [Anexo 01](#).

<sup>7</sup> Mideplan (2013). División Social de Inversiones, Chile 2013.

<sup>8</sup> Véase el [Anexo 02](#) para una descripción de los tipos de proyectos camineros.

El costo que percibe el usuario que se incorpora a una ruta es el CGV, por lo que también se le conoce como costo marginal privado, CMgP. Dado que el CGV es el costo que percibe cada uno de los usuarios de la vía, también será igual al costo medio social, CMeS<sup>9</sup>.

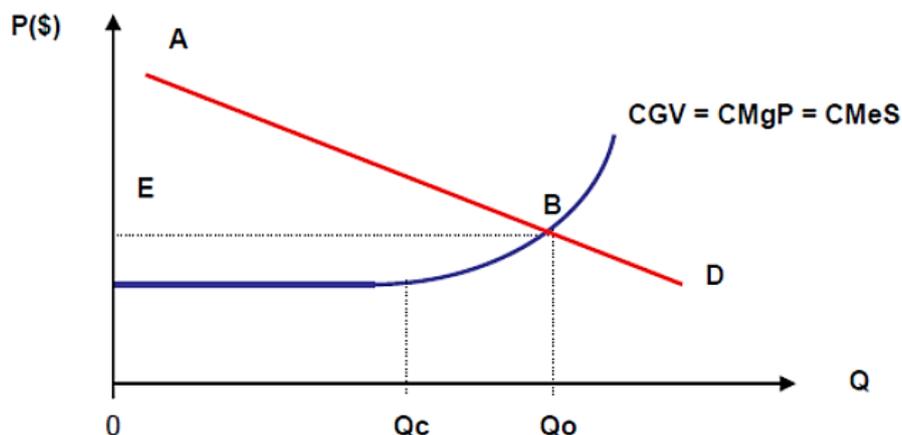


Figura 1. Oferta y Demanda de Transporte

Así, el *beneficio neto para los usuarios* o excedente del consumidor corresponde a la diferencia entre la disposición a pagar por viajes, área 0ABQ0, y el costo que efectivamente pagan, área 0EBQ0, resultando el *área ABE*. A medida que se realizan más viajes por unidad de tiempo, en una ruta, es posible que aumente el CGV debido a la congestión vehicular, situación que en la figura 1 se refleja a partir de un nivel de tránsito Qc.

Cuando una ruta presenta *congestión vehicular*, la incorporación de un nuevo vehículo afectará a todos los usuarios de la ruta, al aumentar la congestión, es decir, el costo marginal social (CMgS) será mayor que el costo marginal privado (CMgP) del vehículo que se incorpora.

En la figura 2 se muestra, además de la curva de demanda, las curvas de CMgP y CMgS. Nótese que el equilibrio se produce para una cantidad de tránsito Q0, es decir, donde se iguala el CMgP con la demanda D, esto debido a que el usuario toma la decisión en función del costo que percibe. El tránsito Q0 no sería óptimo desde el punto

<sup>9</sup> Es conveniente señalar la diferencia entre “costo privado” y “costo social”. El primero representa el costo para un individuo en forma particular, en cambio el segundo representa el costo que tiene para la sociedad como un todo.

de vista social, el cual se lograría teóricamente para un tránsito  $Q^*$ , si existiera un peaje óptimo que hiciera percibir a los usuarios un CGV igual al CMgS. Es decir:

$$CGV^* = CMgS = CMgP + PEAJE^*$$

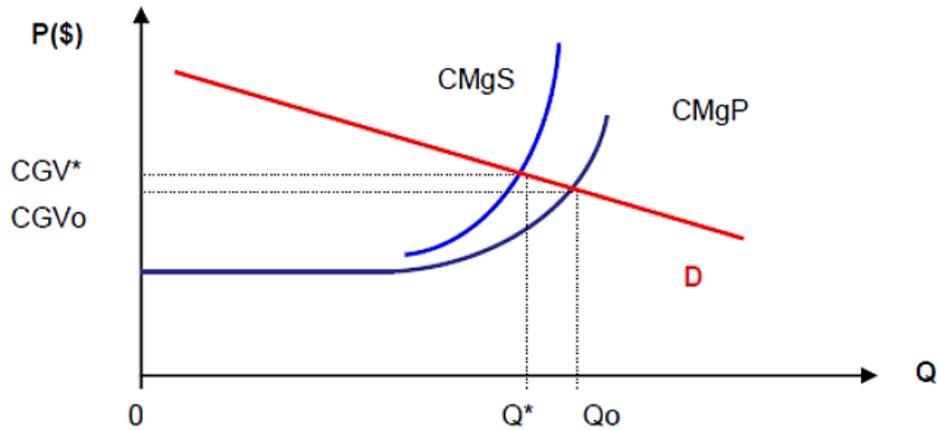


Figura 2. Óptimo social en Congestión vehicular

## 2.2. Beneficios de un proyecto caminero

La materialización de un proyecto caminero puede producir reasignación de flujos vehiculares, pues algunos usuarios preferirán la ruta que el proyecto mejora. En este sentido se distinguen los siguientes tránsitos:

### - **Tránsito Normal**

Tránsito que no cambia su ruta por la ejecución del proyecto.

### - **Tránsito Desviado**

Tránsito que cambia su ruta por efecto del proyecto, pero mantiene su origen y destino.

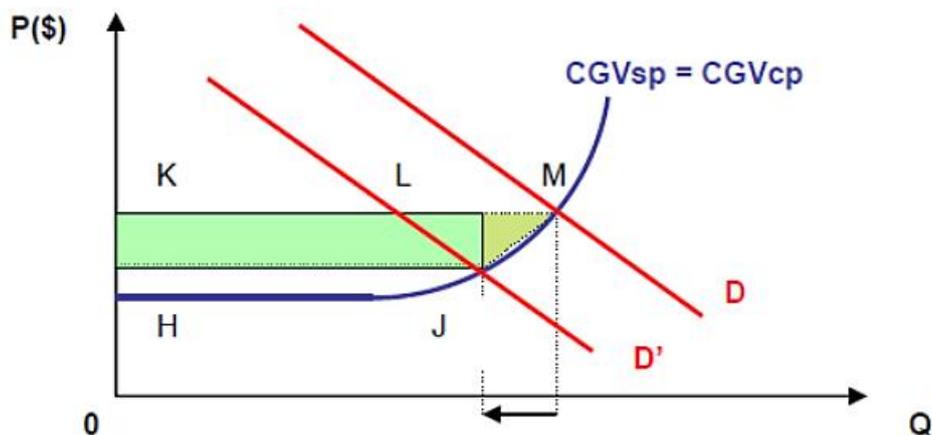
### - **Tránsito Transferido**

Tránsito que por efecto del proyecto cambia su origen - destino o ambos. Por ejemplo, un productor que al disponer de un camino en mejores condiciones decide comprar insumos en otra localidad.



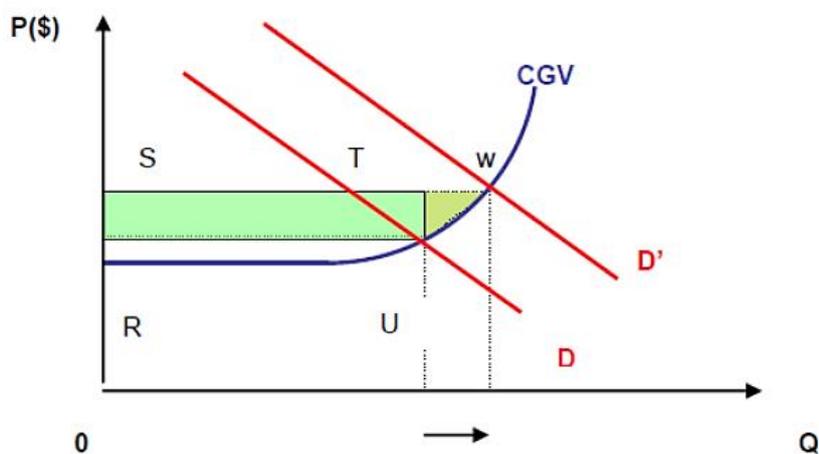
desplazamiento de su curva de demanda, desde  $D$  a  $D'$ , al desviarse o transferirse parte de su tránsito a la ruta que el proyecto mejora.

En el caso que en este tramo exista una distorsión (CMgP distinto de CMgS), tal como la congestión, la disminución del tránsito provocará un beneficio indirecto del proyecto.



**Figura 4. Beneficios indirectos en un camino alternativo**

Por otro lado, los tramos de un camino complementario al que el proyecto mejora, verán incrementado su tránsito, tal como muestra la **figura 5**. En este caso, la existencia de una distorsión, tal como la congestión, provocará un beneficio indirecto negativo del proyecto (equivale a un costo pero se considera parte de los beneficios, porque el beneficio del proyecto es la suma de estos parciales).



**Figura 5. Beneficio indirecto negativo en un camino complementario**

Así, el **beneficio social del proyecto** corresponde a la suma de los beneficios directos e indirectos que se mostraron en las figuras anteriores, es decir, las siguientes áreas sombreadas:

- Área AEFB, **figura 3**, la cual corresponde a la liberación de recursos o aumento en el excedente del consumidor, asociado al tránsito normal del camino que mejora el proyecto.
- Área FBG, **figura 3**, la cual corresponde al aumento del excedente del consumidor asociado al tránsito desviado, transferido y generado, que circula por el tramo que mejora el proyecto.
- Área HKLJ, **figura 4**, la cual corresponde al aumento en el excedente del consumidor asociado al tránsito normal del camino sustituto o alternativo, debido a una reducción de la congestión.
- Área LMJ, **figura 4**, la cual corresponde al aumento en el excedente del consumidor, asociado al tránsito que se desvía y al que se transfiere a la ruta que el proyecto mejora; este incremento de excedente se determina por la reducción de la congestión hasta el punto en que el usuario decide cambiarse de ruta. En efecto, la disposición a pagar por desviarse, representada por un punto de la curva de demanda de la ruta mejorada, es igual al CGV del vehículo en el momento en que decide el cambio de ruta, el cual es menor que el CGV que tenía antes que se desviara algún vehículo. Y finalmente,
- Áreas RSTU y TWU, **figura 5**, las cuales deben considerarse con signo negativo pues corresponden a costos.

### 2.3. Costos de un proyecto caminero

Para poder percibir los beneficios del proyecto es necesario incurrir en costos. Evidentemente, los costos más importantes están relacionados con el tramo de camino que se mejora, tal como los costos de construcción de las obras que contempla el proyecto, su conservación y las reposiciones futuras necesarias.

No obstante, por causa del proyecto se pueden producir efectos en tramos donde no se realizan trabajos de construcción, por ejemplo, los caminos alternativos demandarán menos inversiones en conservación y se postergará la reposición futura de sus carpetas, en la medida que se haya desviado una buena parte de su tránsito pesado. En el caso

de los caminos complementarios ocurrirá lo contrario, demandarán mayores inversiones.

En la práctica, lo que comúnmente se hace es determinar el total de recursos que se necesitarían cada año para mantener el estándar técnico de los tramos que pertenecen al área del proyecto (incluido caminos alternativos y complementarios). Luego, el costo del proyecto vendrá dado por la cantidad adicional de recursos que se requieren en la situación con proyecto respecto de la situación sin proyecto.

Además de lo anterior, dentro de los costos del proyecto se deben incluir las interferencias que provocan al tránsito las obras de construcción (desvíos, detenciones, molestias, etc.).

#### 2.4. Evaluación económica

Al evaluar un proyecto de Transporte Caminero se debe estudiar todas las alternativas de solución posibles, respetando las políticas vigentes del sector, las cuales incluyen recomendaciones sobre diseños técnicos y materiales.

A modo de ejemplo, se puede mencionar el caso de una cuesta que muestra problemas de operación y requiere algunas inversiones, para lo cual se proponen las siguientes alternativas de solución:

Reponer el pavimento de la cuesta y construir un túnel en el futuro. Construir ahora el túnel y dejar fuera de servicio la cuesta.

Cada alternativa de solución puede considerar varias inversiones en el período de análisis, tal como la primera alternativa que considera una reposición en el corto plazo y un túnel en el futuro.

La realización de cada una de estas inversiones se debe considerar en su momento óptimo, dado que el supuesto de trabajo es que existen y existirán los recursos para hacer las obras.

Finalmente, la alternativa de solución más rentable será aquella que muestre el mayor VAN. Esto no significa que será ella la que en definitiva se materialice, pues el evaluador deberá considerar otros factores en su proposición, tales como:

- ✓ **Existe un riesgo asociado al VAN**, lo que puede hacer atractiva una alternativa de menor rentabilidad pero más segura. Por esto es importante el realizar

análisis de sensibilidad ante variaciones en la inversión inicial, en el crecimiento del tránsito, etc.

- ✓ **El VAN de un proyecto se maximiza** cuando la inversión se inicia en su momento óptimo. No obstante, en presencia de restricción presupuestaria, lo más conveniente puede ser postergar el proyecto.
- ✓ **El análisis de tamaño óptimo** supone que se deben materializar todas aquellas obras que aumentan el VAN del proyecto. No obstante, algunas obras representan un aporte pequeño a la rentabilidad del conjunto y por lo tanto, en condiciones de restricción presupuestaria, podría ser conveniente postergarlas o excluirlas.

### 3. Conclusiones

- a. Existe un gran déficit en la gestión del tránsito urbano (*vialidad urbana*) en la mayoría de ciudades del Perú, en donde las sociedades locales incurren en altos costos de transacción (pérdida de bienestar). En el asunto de *vialidad interurbana* también hay un apreciable déficit, que se concentra en las zonas rurales (sierra y selva). Ello no sólo es asunto de falta de recursos sino (también) de falta de liderazgo y de comprensión de qué y cómo hacer las cosas.
- b. No se observa una claridad en la visión que se tiene (o se debe tener) de cada ciudad y de todo el proceso estratégico (misión, objetivos, estrategias, políticas) necesario para, al menos, acercarse a tal visión. Luego de ello se genera la plataforma de organización de los respectivos niveles de gobierno (capacidades = competencias y recursos) para hacer bien las cosas.
- c. En dicho proceso se formularán y evaluarán buenos proyectos de inversión en transporte (el cómo y cuánto de financiamiento debe surgir del planeamiento financiero, dadas la brecha existente y prioridades definidas), que contribuyan a una ciudad sostenible que maximizará el bienestar de los ciudadanos.

-.-

## Proyectos de vialidad urbana. Beneficios económicos

### **Beneficios provenientes del tránsito.**

Los beneficios económicos producto del ahorro de recursos asociados al desplazamiento de vehículos se obtienen directamente de los resultados de la simulación de tránsito comparando cada alternativa con la situación de referencia.

Los recursos que se consideran son: tiempo de usuarios (viajeros), combustible y otros recursos de operación de vehículos. La estimación del total de beneficios anuales depende del número de horas al año que representa cada uno de los períodos simulados, situación que se trata diferenciadamente según tipo de proyecto. En los párrafos siguientes se muestran las expresiones que relacionan las variables para hacer la estimación. Ellas están adaptadas a los resultados que entrega el modelo TRANSYT. En los casos excepcionales en que se usa otro programa hay que emplear métodos equivalentes.

### **Beneficios de tiempo de viaje**

Derivan de computar los consumos totales de tiempo de los usuarios en cada situación. Para un corte temporal y situación dados, se calculan sobre una base anual agregando las semanas tipo en que se divide el año. Luego, el consumo anual de tiempo en una situación (base o alternativa) y corte temporal determinados, está dado por:

$$CTA = \sum_{n=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP_m} CT_{im}$$

donde  $CT_{im}$  es el consumo de tiempo en el período  $i$  ( $i = 1, \dots, NP_m$ ) de la semana tipo  $m$  ( $m = 1, \dots, NS$ ) y su expresión para cada tipo es:

$$CT_i = FE_i \cdot \sum_{j=i}^{NV} (VT_j \cdot \sum_{K \in NA_j} q_{ijk} TV_{ik} TO_{ijk})$$

en que:

$FE_i$  : factor de expansión anual del período  $i$  (hr/año);

$q_{ijk}$  : flujo de vehículos tipo  $j$  ( $j=1, \dots, NV$ ) en el arco  $k$  durante el período  $i$  (veh/hr)

$TO_{ijk}$  : ídem para la tasa de ocupación (pax/veh)

$TV_{ik}$  : tiempo medio de viaje medido por TRANSYT (agregando si es preciso la demora geométrica) para los vehículos del arco  $k$  en el período simulado  $i$ . Resulta de dividir, en la salida del programa, el tiempo total en el arco por su flujo (hrs.)

$NA_j$  : conjunto de arcos de la red en que hay vehículos del tipo  $j$

$VT_j$  : precio social del tiempo para los usuarios de vehículos tipo  $j$  (\$/pax- hr)

El factor de expansión depende del tipo de proyecto. En proyectos sin reasignación de flujos la semana tipo se particiona completamente en períodos que se simulan.

La expresión a usar es:

$$FE_i = NS \cdot NHi$$

Donde:

$NS$  = número de semanas al año de la semana tipo correspondiente

$NHi$  = número de horas de la semana tipo que comprende el período  $i$

Los beneficios son estimados separadamente para cada corte temporal.

## Beneficios de combustible

Los consumos anuales de combustible en cada situación y corte temporal resultan también de la agregación de su valor para cada semana tipo considerada:

$$CCA = \sum_{m=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NP} CC_{i,m}$$

14

Donde CC denota consumo de combustible y las demás variables han sido definidas en el párrafo anterior. Para computar CC en un período en \$/año; se debe utilizar la siguiente expresión:

$$CC_i = FE_i \sum_{j=k}^{NV} \left[ VC_j \cdot \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} (L_k \cdot cm_j(v_{ik}) + hik \cdot cd_j(v_{ik}) + dik \cdot cr_j) \right]$$

Donde:

$L_k$  : longitud del arco k (km)

$h_{ik}$  : número medio de detenciones por vehículo en el arco k y período i

$cm_j$  : consumo unitario en movimiento de los vehículos tipo j, función de la velocidad, (lt/vehkm)

$cd_j$  : consumo en exceso por una detención de un vehículo tipo j, función de la velocidad, (lt)

$VC_j$  : precio social del combustible (\$/lt)

$d_{ik}$  : demora en arco k durante el período i

$cr_j$  : consumo en relanfi de los vehículos tipo j

De TRANSYT pueden obtenerse las variables  $L_k$ ,  $h_{ik}$  y  $d_{ik}$  (agregando demora geométrica, si procede) y la velocidad  $V_{jk}$ . Si hay en algunos arcos gradientes significativas, hay que incorporar su efecto en el consumo de combustible en movimiento. Designando por G la pendiente (en %) se hace  $cm = cm + KG$ ; Si la pendiente es negativa, la disminución consiguiente de  $cm$  tiene como límite inferior  $cm = cr$ . Los factores de expansión  $FE_i$  son calculados con las mismas expresiones del párrafo anterior. También se hace por separado la estimación de beneficios para cada corte temporal.

## ANEXO 02

### Tipos de proyectos camineros (interurbanos)

Esta metodología permite determinar la rentabilidad social de proyectos camineros del siguiente tipo:

- **Ampliación**

Corresponde a aquellos proyectos que aumentan la capacidad vehicular de un camino, por ejemplo: Construcción de segundas calzadas. Construcción de terceras pistas.

- **Mejoramiento del trazado**

Corresponde a aquellos proyectos que aumentan la calidad del servicio existente mediante cambios en la trayectoria del camino, por ejemplo: Disminución de la curvatura de un camino. Disminución de las pendientes de un camino. Construcción de un camino alternativo o variante. Construcción de un túnel que evita una cuesta.

- **Mejoramiento de la carpeta**

Corresponde a aquellos proyectos que cambian el tipo de carpeta de rodado, a una de mejor calidad, por ejemplo: Pavimentación de un camino de ripio. Ripiadura de un camino de tierra.

- **Reposición de la carpeta**

Consiste en renovar parcial o totalmente la carpeta de rodado deteriorada, incluyendo las obras básicas necesarias, por ejemplo: Repavimentación de una carpeta de hormigón. Recapado con mezcla asfáltica. Reposición de la carpeta de un camino de ripio.

- **Construcción de caminos nuevos**

Corresponde a aquellos proyectos que incorporan zonas con problemas de accesibilidad. Por ejemplo: Construcción de caminos de penetración. Construcción de caminos costeros. Construcción de pasos fronterizos.

## - **Conservación de carpeta**

*Normalmente las conservaciones de caminos no requieren de una evaluación económica, pues son actividades previstas en la vida útil de las obras. No obstante, esta metodología puede servir de apoyo al análisis de políticas de conservación.*

Por conservación<sup>10</sup> de caminos se entienden todas aquellas acciones que tienen por finalidad evitar el deterioro acelerado de la carpeta de rodado, postergando su reposición.

Estas acciones se aplican tanto sobre la carpeta misma como sobre sus obras anexas, por ejemplo: Reposición de algunas losas de hormigón. Bacheo sobre carpeta asfáltica. Reperfilado de una carpeta de ripio o de tierra. Retape de hoyos. Sello de juntas. Conservación y mejoramiento de obras de drenaje. Conservación de puentes, etc.

-.-

---

<sup>10</sup> Se señala que en el Perú por cada dólar que no se invierte en mantenimiento (conservación) de caminos, luego se tendrá que gastar tres dólares en rehabilitación (MTC)