

# **APLICABILIDAD DEL MODELO HDM-III EN LA EVALUACION DE PROYETOS VIALES**

*Ing. Carlos Chang Albitres <sup>(1)</sup>, Ing. José Meléndez Palma <sup>(2)</sup>*

---

## *Resumen*

La presente ponencia tiene por objeto difundir los mecanismos necesarios para la evaluación económica de proyectos viales a fin de propiciar el entendimiento y aplicación en el ciclo de un proyecto de inversión pública de acuerdo a la Ley marco N° 27293, la cual crea el Sistema Nacional de Inversión Pública y dispone su aplicación en todas las entidades y empresas del sector público no financiero y que ejecuten proyectos de inversión con recursos del Estado.

De acuerdo con lo normado por esta Ley se establece lineamientos y metodologías basadas en el análisis de beneficios en términos sociales. Para proyectos viales la norma sugiere el uso del Modelo HDM-III, el cual permite el cálculo de los costos de los usuarios en la vía para situaciones de mantenimiento pre establecidas, de cuya comparación se logran los beneficios que sustentarán la aceptabilidad del proyecto, al ser comparados con la inversión y sus respectivos costos de mantenimiento. Sin embargo, para el uso de esta herramienta se deben conocer las limitaciones del modelo y su uso debe hacerse con precaución, poniendo énfasis en la finalidad para la cual fue desarrollado.

En este sentido el presente trabajo describe las bondades, consideraciones, criterios técnicos y dificultades que ofrece el modelo HDM y que deben tomarse en cuenta para optimizar el diseño y uso de recursos del Estado.

## **1. INTRODUCCION**

Recientemente el Congreso de la República a dado la Ley 27293, el cual crea el Sistema Nacional de Inversión Pública, con la finalidad de optimizar el uso de los recursos destinados a la inversión pública, mediante el establecimiento de principios, procesos, metodologías y Normas técnicas relacionadas con las diversas fases de proyectos de inversión. Quedando sujetos a lo dispuesto por esta Ley todas las entidades y Empresas del sector Público no financiero y que ejecuten proyectos de inversión con recursos públicos.

En tanto para que un proyecto de inversión pública se calificado como viable, debe contar con un análisis de costos-beneficio o un análisis de costos-efectividad. En el caso que corresponda un análisis costo-beneficio, el valor presente del proyecto debe ser positivo y la tasa de retorno mayor a la tasa de descuento. En la caso que corresponda a un análisis costos-efectividad, se aplicará cuando no sea necesario valorar monetariamente los beneficios. Para tal efecto la Oficina de Inversiones (ODI) es el órgano del Ministerio de Economía y Finanzas con la más alta jerarquía normativa, la

cual calificará la viabilidad de los proyectos. En este sentido la ODI ha desarrollado el Manual General de Proyectos y Manuales Específicos por categorías temáticas y Normas de observancia obligatoria (Directiva 002-200-EF/68.01 y Directiva 001-2001-EF/68.01).

Para el caso de proyectos viales, la Norma establece lineamientos y metodologías donde la factibilidad se determina en términos sociales, lo cual ha sido definido en razón a los beneficios a estimarse frente al costo de la obras a realizar y los costos recurrentes de mantenimiento y toma como base la metodología de Evaluación Económica de Inversiones y Conservación Vial, propuesta por la División de Transportes del Banco Mundial, mediante el uso de The Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III).

Actualmente el HDM solo es de uso general en proyectos de inversión que ejecuta el Ministerio de Transportes, por lo tanto en atención a las nuevas disposiciones se hace necesario una mayor difusión a fin de que esta metodología sea de dominio de todas las demás entidades del sector Público a las que incorpora la nueva Ley. Por lo tanto el presente trabajo describe las bondades, consideraciones, criterios técnicos y dificultades que ofrece el modelo HDM y que deben tomarse en cuenta para optimizar el diseño y uso de recursos del Estado.

## **2. EL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS Y LA PROPUESTA DEL BANCO MUNDIAL**

En la década pasada más de US\$ 30.0 millones de dólares se han invertido anualmente en la construcción, mantenimiento y administración de las principales redes viales de nuestro país y en los demás países en vías de desarrollo son algo más de US\$ 10 millones de dólares al año, mientras que en los países industrializados de Europa, Norte-América y el Japón, el total es mayor de 10 veces la suma que muy esforzadamente el país los realiza. Seguramente estos números nos llamen mucho la atención, sin embargo es peor la situación cuando los costos en que incurre el usuario en la operación de vehículos y su depreciación, son de una magnitud aún mayor, típicamente entre 8 a 10 veces los costos de inversión del Estado. Además, el tiempo de viaje de los pasajeros y de carga que también asume importancia predominante en las economías.

Es por ello que la demanda por la asignación de recursos limitados impone que se deban buscar el diseño y programas de mantenimiento más económicos, tomando en cuenta también los menores costos de operación vehicular del usuario y aún así habrá muchos proyectos económicamente bien justificados que no podrán emprenderse a causa de restricciones presupuestales, siendo necesario desarrollar sistemas para fijar prioridades.

Por lo tanto como hacemos para decidir que es prioritario?. ¿Cuál será el beneficio social de un dólar gastado en el mantenimiento comparado con otro gastado en una nueva o mejoras en la geometría en vías existentes?. ¿Será más económico gastar un poco más de dinero para construir un pavimento inicialmente más resistente, permitiendo así el uso de vehículos más grandes y económicos y ahorrando futuras inversiones en mantenimiento de carreteras o en forma alternativa deberíamos seguir una estrategia de construcción por etapas, economizando en la construcción inicial, pero restringiendo las cargas por eje de los vehículos y pagando más en costos de mantenimiento y costos de mejoramiento posterior ?. ¿Qué tanto y que poco deberíamos gastar en mantenimiento de carreteras a nivel de afirmado?. ¿Importará mucho si posponemos en algunos años el mantenimiento de las vías por falta de recursos?.

Para dar respuesta a estos y otras interrogantes el Banco Mundial inicio en 1969 lo que posteriormente vino a ser un gran programa de colaboración investigativa, involucrando a instituciones de varios países como el Instituto Tecnológico de Massachussets, el Laboratorio Británico de Transporte e Investigación Vial, el Laboratorio Francés de Puentes y Caminos y el Banco Mundial, para desarrollar la estructura conceptual y primer modelo para una base cuantitativa y tomar decisiones en el sector de carreteras. Las fases posteriores de las investigaciones se han concentrado en la cuantificación empírica que involucró la recolección de numerosos datos de campo (Kenya, el Caribe, Brasil y la India) sobre las relaciones básicas, físicas y económicas para asegurar que los modelos teóricos representen la situación real.

En la medida que la validación empírica progresó y se ganó experiencia en más de 30 países del mundo, el modelo HDM ha mejorado sustancialmente, además se desarrolló la optimización de la aplicación de recursos bajo restricciones presupuestales. La actual versión del modelo, que es la tercera generación, se basa en todas estas investigaciones y constituye el tema de este artículo.

### **3. EL HDM-III, COMO MODELO PARA EL ANÁLISIS DE INVERSIONES VIALES**

Para construir y mantener una red de carreteras, las autoridades deben escoger dentro de un amplio rango de opciones, involucrando Normas de diseño geométrico y de pavimentos, así como la frecuencia y patrones de mantenimiento periódico y rutinario, reforzamiento del pavimento y mejoras geométricas. Deben determinarse políticas gubernamentales estrechamente relacionadas con el tamaño de los vehículos y los límites de pesos. Estos aspectos tienen fuerte influencia sobre el costo de operación de vehículos y por consiguiente en el costo de transporte de carga y de pasajeros. De tal manera que sea posible la predicción de los costos totales en el ciclo de vida de la vía

(construcción, mantenimiento y costos al usuario de la carretera). Para que la herramienta sea aplicable se deberá conocer aspectos como: terreno, clima, tráfico, velocidad, comportamiento del conductor y condiciones económicas; sobre las diferentes relaciones de costo.

El concepto amplio del HDM, es bastante simple. Tres conjuntos interactuantes de relaciones de costo se agregan simultáneamente a través del tiempo en valores presentes descontados, donde los costos se determinan por una primera predicción de cantidades físicas de recursos consumidos, los cuales luego se multiplican por los costos unitarios o precios:

Costos de Construcción	= f1 [	Terreno, suelos, precipitaciones, diseño geométrico, diseño de pavimento; costos unitarios.
Costos de mantenimiento	= f2 [	Deterioro de la vía, diseño de pavimento, clima, tráfico tiempo; Normas de mantenimiento, costos unitarios.
Costos del Usuario de la Vía	= f3 [	Diseño Geométrico, condición de superficie, velocidad tipo de vehículo; costo unitarios.

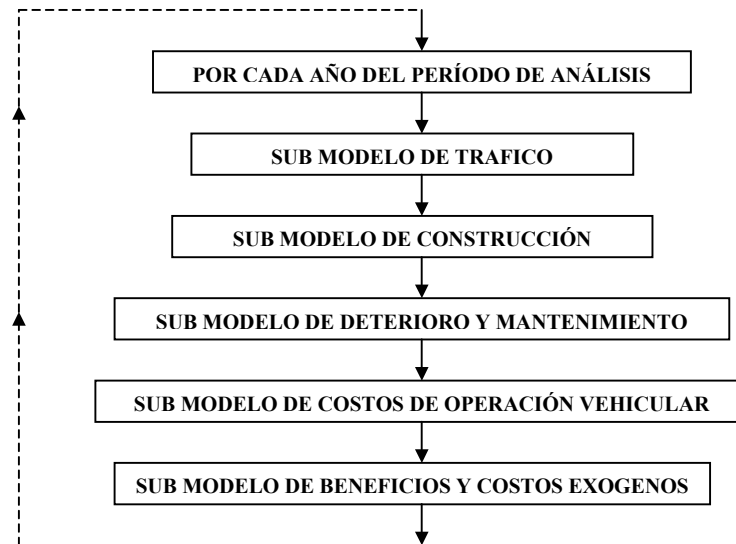
La velocidad del vehículo es determinante principalmente en los costos de operación el cual se relaciona a través de un conjunto complejo de funciones probabilísticas al diseño geométrico de la carretera, condición de la superficie, tipo de vehículo y comportamiento del conjunto

El modelo HDM se usa para hacer estimativos y comparaciones de costos y evaluaciones económicas de diferentes opciones de políticas incluyendo las diferentes estrategias constructivas por etapas ya sea para una carretera de alineamiento específico o para grupos de tramos de una red completa. Los costos totales estimados por el modelo año a año descontando los costos futuros, si se desea a tasas diferentes, de manera que el usuario pueda buscar la alternativa a menor costo total descontado o si se prefiere comparaciones en términos de tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN) y relación beneficio-costos (B/C).

La optimización de gastos bajo restricciones presupuestales, se avalúan en un conjunto de opciones de diseño y mantenimiento que minimizarán los costos totales descontados. Adicionalmente, el modelo puede analizar la sensibilidad de los resultados a cambios en supuestos a cerca de las variables claves como costos de inversión, costos de mantenimiento, costos de operación vehicular y el valor del tiempo.

## FASES DE LA SIMULACIÓN

La secuencia de las fase de simulación se muestra en la figura 1, para cada año del período de análisis. Cada sub modelo se desarrolla en sucesión para cada camino enlazado con varias alternativas de programas de construcción y políticas de mantenimiento que pueden ser específicos.



**Figura 1: Fases de la Simulación**

- **Sub Modelo de Tráfico** .- Calcula el tráfico del año para cada tramo, toma datos y calcula el flujo por tipo de vehículo en cada año y cada tramo de una red. El tráfico normal se incrementa por el tráfico generado, para ello el usuario puede indicar el tiempo estimado de flujo de cada tipo de vehículo y considerar los volúmenes de flujo que toman este efecto en algunos años y permanecer constante en un período dado, con un volumen inicial y una tasa de crecimiento fijo o una proporción del volumen actual por cada año. Una opción para el tráfico generado es definir una tasa fija para el tráfico normal en el mismo año.

El tiempo estimado de flujo de tráfico normal, es definido para iniciar un año calendario dado, mientras que el tráfico generado está a una escala relativa y puede iniciarse para la realización de un proyecto en construcción que puede ser en años diferentes para alternativas diferentes. El sub modelo también calcula para cada alternativa de carretera, el número de ejes de vehículos y el número de ejes simples equivalentes que van por la carretera cada año. Estos valores son usados en la determinación del deterioro de la superficie de la vía.

• **Sub Modelo de Construcción.-** Inicia la construcción la carretera en base al tráfico del año calendario, calcula el costo para la construcción y las características de cambio en la vía. Se debe detallar un programa básico de proyectos en construcción así como muchas alternativas de construcción de manera que un proyecto pueda ser programado en un año específico o pueda iniciarse para el volumen de tráfico alcanzando en un nivel específico. La duración de cada proyecto es definido cada cinco años, pudiendo la construcción incluir obras de arte, ensanchamiento y el perfeccionamiento del pavimento de una carretera .

En cada caso básico y cada alternativa el sub modelo procesa la calidad de trabajo y materiales requeridos en cada año y puede establecer y determinar su financiamiento económico y costos de cambios imprevistos. El proyecto puede cambiar las características físicas previstas antes de terminar la conclusión del tráfico generado estas diferencias pueden cubrirse mediante la inclusión de costos y beneficios exógenos pre especificados.

El costo total por km de un proyecto y sobre costos de varios componentes es el producto de una cantidad física y su costo unitario. Una opción del modelo puede usarse sobre bases de análisis separados, todas las cantidades físicas por km y todos los costo unitarios, también sobre costos y otros y si estos ya están cargados, se considera en el resultado de costos por km. por cada componente o el total por todos los componentes.

Se permite el uso de relaciones endógenas, derivados de estudio empíricos calculadas por estimaciones de aspectos constructivos. Esta consideración relaciona la combinación de costos unitarios que prevé preliminarmente los costos estimados de ingeniería y que no pueden ser hechos. Ellos son particularmente útiles en los análisis de intercambio entre construcción, mantenimiento y costos de operación vehicular para la investigación de estándares de niveles de construcción y políticas de mantenimiento.

• **Sub Modelo de Deterioro y Mantenimiento.-** Predice el deterioro de la carretera y cuantifica los costos de los trabajos de mantenimiento, en términos de la condición del pavimento existente, estándares de mantenimiento, cargas de tráfico y condiciones ambientales. Este sub modelo es la clave para analizar lo efectos de diseño y políticas de mantenimiento para las condiciones de la carretera conjuntamente con el costo de operación vehicular como un componente del costo total. El sub modelo predice cada año el deterioro de la superficie a causa del tráfico, clima y las proyecciones en cada política de mantenimiento pre establecido; calcula las cantidades que cubren el trabajo de mantenimiento y aplica los costos unitarios para determinar el costo total de mantenimiento en cada año. Los efectos

físicos de deterioro y mantenimiento son simulados en bases a relaciones empíricas derivados de estudios en el Brasil (Geipot, 1982; Paterson, 1987).

El sub modelo contabiliza el deterioro de caminos pavimentados cuantificando fisuramientos, peladuras, formación de baches y desarrollo de huellas; traducidos en términos de rugosidad, que es la medida de la superficie del camino y condición usada en el sub modelo de operación vehicular. En caminos afirmados el deterioro se evalúa al transformarse áspera y perder el material agregado de la superficie. El camino deteriorado es una función del diseño original, tipo de material, volumen de tráfico y características de la carga, condiciones ambientales, edad del pavimento y la aplicación de políticas de mantenimiento. Adicionalmente se muestra la pérdida de material en caminos no pavimentados lo cuales están afectados por la curvatura horizontal y erosión durante las precipitaciones por efecto del alineamiento vertical que afecta el desarrollo de la rugosidad entre otras causas.

Las opciones de mantenimiento para compensar el deterioro en caminos pavimentados incluyen actividades como: bacheo, tratamiento superficial preventivo, resellos, refuerzo y reconstrucción. Para caminos sin pavimento las opciones son: el perfilado, bacheo y la reposición de grava. Adicionalmente el mantenimiento incluye una atención rutinaria, drenaje, bermas y eliminación de vegetación en los bordes de la carretera.

Para caminos pavimentados el sub modelo incluye relaciones de comportamiento con siete diferentes tipos de superficie de pavimentos y tres tipos base. Las relaciones se aplican a climas tropicales y sub tropicales, pero no son extendidas a condiciones frías.

- **Sub Modelo de Costos de Operación Vehicular.-** Predice los costos de operación en términos de la geometría y condiciones de tipo de superficie. Procesa los costos de financiamiento de los usuarios de la vía, por cada año. Las cantidades de recursos consumidos y tiempos perdidos por el tránsito, son calculados y luego multiplicados por los costos unitarios para obtener costos de operación vehicular y costos de tiempo de viaje. Los vehículos y recursos consumidos (combustible, llantas, mantenimiento del vehículo, etc.) son relacionados con el volumen y composición de tráfico, al tipo de superficie y características geométricas de la sección del camino (determinado como el sub modelo deterioro y mantenimiento).

El análisis utiliza cuatro grupos de relaciones que fueron desarrollados en estudios separados (Kenia, El Caribe, La India y el Brasil); cada grupo de respuestas relaciona la

proyección de la condición de camino, flota de vehículos y estudios económicos ambientales de la región.

Teniendo un grupo específico de cuatro de relaciones para el estudio el usuario puede proveer datos de subidas y bajadas, curvatura horizontal, ancho de calzada y rugosidad de superficie. Algunos de estos grupos de relaciones requieren especificar tipos de superficie, altitud y otros factores. Características de diferentes tipo de flota de vehículos pueden preverse como el ciclo de vida del vehículo, uso anual, potencia, peso total y otros.

Por cada año de cada alternativa, el modelo calcula la velocidad de operación para cada tipo de vehículo, esto depende de la geometría del camino, la rugosidad y características del vehículo, la velocidad, la orografía, rugosidad y otros factores. El consumo de combustibles, lubricantes y llantas son determinados como parte y labores de mantenimiento. Para vehículos comerciales el tiempo de viaje es inversamente proporcional a la velocidad del vehículo. Para calcular la depreciación e interés de los vehículos se considera una proporción del costo vehicular; la opción es tratar la vida del vehículo constante o variable; así mismo se disponen métodos para calcular el costo sobre el número de kms. conducidos por año. Todos estos elementos, mientras hayan sido calculados en las condiciones "reales", es reconstruido en valor monetario.

Para una comparación de alternativas es necesario contabilizar las diferencias en el tiempo gastado por los pasajeros en tránsito y las diferencias en el tiempo de carga que toman para alcanzar sus destinos. Por consiguiente, el modelo computa esos tiempos y si el usuario especifica los valores unitarios apropiados, incluirá éstos costos de tiempo en el análisis.

- **Sub Modelo de Beneficios y Costos Exógenos.-** Asigna en cada año costos y beneficios exógenos y estos pueden incorporarse en el modelo cuantificando los beneficios por ahorros en la reducción de accidentes, riesgos y emergencias; ahorros de pérdidas en el transporte de productos perecibles entre otros, así como la implementación de beneficios por el desarrollo de área involucrada en el estudio cuantificados como excedencias de producción. En cuanto a costos se puede incorporar también los costos anuales que incurrirá el gobierno a fin de cubrir actividades eventuales en la carretera como (accidentes, fenómenos ambientales y otros) que en suma son actividades externas al modelos y que permiten una evaluación económica más objetiva.

## LIMITACIONES DEL MODELO

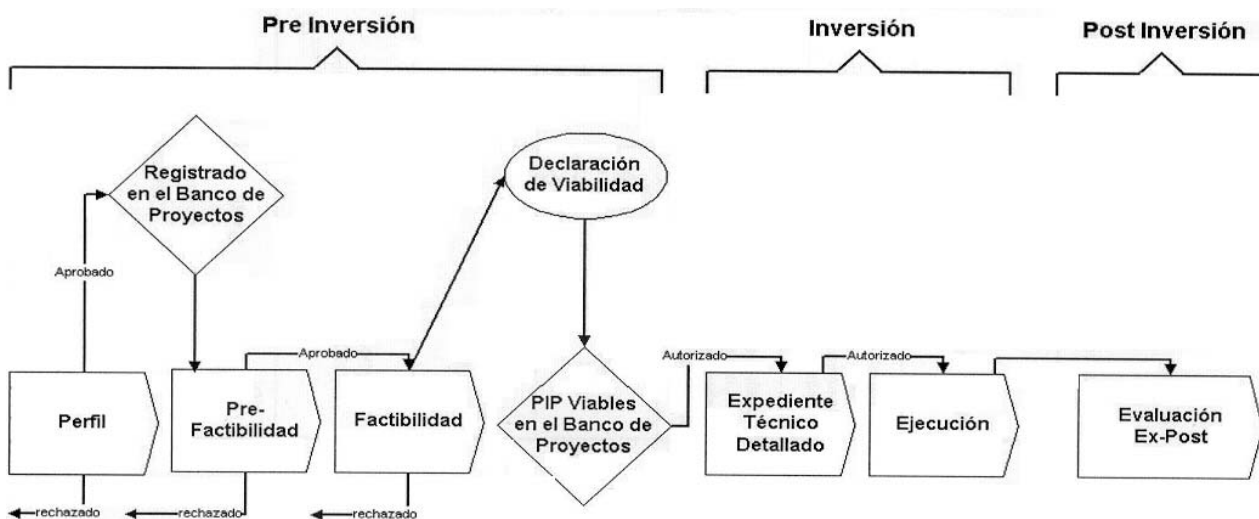
Es importante citar en este punto cinco limitaciones del modelo, el primero se debe a la falta de validación del sub modelo de costos de operación vehicular, para las condiciones de tráfico congestionado. En segundo lugar no se ha validado el sub modelo de deterioro para climas fríos o con presencia de congelamiento. El tercero es que no se incluye en el análisis pavimentos rígidos. El cuarto punto se refiere a que el modelo no ha incorporado endógenamente aspectos de accidentes en carreteras y finalmente la última limitación se refiere a que el modelo no estima los impactos ambientales, normalmente estos son reconocidos e incluidos exógenamente.

Por lo tanto el usuario debe reconocer el estado actual del modelo y su uso debe hacerse con precaución. Actualmente se ha desarrollado la versión IV del modelo y este cubre gran parte de estas limitaciones, no obstante esta versión está en su fase experimental. Así mismo se debe aclarar que el modelo no fue hecho para el uso a nivel de diseño definitivo de ingeniería, sino es una herramienta para el análisis económico de inversiones ya sea para un proyecto o a nivel de red vial.

## ALCANCES PARA LA APLICACIÓN EN PROYECTOS DE INVERSIÓN VIALES

El ciclo de vida de un Proyecto de Inversión Pública (PIP), las atribuciones y responsabilidades de acuerdo con la Norma vigente se detalla en la figura 2.

La aplicación del modelo HDM-III, en las tres fases: Pre-inversión, Inversión y Post Inversión son aplicables, en virtud de la bondades que ofrece el modelo. La fase de Pre Inversión tiene como objeto evaluar la conveniencia económica de realizar un PIP. De manera que los estudios pre inversión sean orientados a estimar los costos y/o beneficios incrementales respecto a una situación sin proyecto.



## **Figura 2: Ciclo de vida de un Proyecto de Inversión Pública**

En cuanto a la fase de Inversión se considera la elaboración del expediente técnico detallado y la ejecución del proyecto, en esta fase se considera la ratificación del PIP igualmente en términos de costos y/o beneficios incrementales respecto la situación sin proyecto.

Finalmente la fase de post inversión contempla los procesos de control y evaluación de las inversiones ejecutadas. Como se puede apreciar con estas fases el Sistema de Inversión Pública se propone fortalecer la planificación en el sector público y propiciar la aplicación del ciclo de un PIP, lo cual es una buena iniciativa en un país como el nuestro donde los recursos públicos son escasos.

Por lo tanto en aplicación de las Normas es pertinente indicar que la sistematización matemática que ofrece el Modelo HDM permite abstracciones de la realidad con el objeto de analizar comportamientos observados y predecir comportamientos futuros. En el ámbito de los caminos y redes viales, la modelación de ellos se refiere a separar las vías, ejecutar cambios en las características físicas y operativas, es decir, cambios geométricos, de velocidad de operación, de tipo de capa de rodamiento, cruces de caminos, puentes, etc.

### **4. CONCLUSIONES**

- De acuerdo a la Ley 27293 que crea el Sistema Nacional de Inversión Pública quedan sujetos a lo dispuesto por esta todas las entidades y Empresas del sector Público no financiero y que ejecuten proyectos de inversión con recursos públicos. En tanto para que un proyecto de inversión pública sea calificado como viable, debe contar con un análisis de costo-beneficio.
- Los proyectos viales no son una excepción por lo tanto la Norma establece lineamientos y metodologías donde la factibilidad se determinará en términos sociales lo cual debe ser definida en razón a los beneficios frente al costo de la obras y los costos recurrentes de mantenimiento, para cual toma como base la metodología de Evaluación Económica de Inversiones y Conservación Vial, propuesta por la División de Transportes del banco Mundial, mediante el uso de The Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III).
- Por lo tanto en atención a las nuevas disposiciones se hace necesario una mayor difusión del HDM a fin de que esta metodología sea de dominio de todas las entidades del sector Público y las que incorpora la nueva Ley.

- El modelo HDM efectúa estimaciones y comparaciones de costos totales año a año descontando los costos futuros, de manera que el usuario pueda buscar la alternativa efectuando comparaciones en términos de tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN) y relación beneficio-costos (B/C).
- Sin embargo, el usuario de esta metodología debe conocer el estado actual del modelo y su uso debe hacerse con precaución por las limitaciones que presenta éste, poniendo énfasis a su propósito como tal, ya que el modelo no fue hecho para el uso a nivel de diseño definitivo de ingeniería, sino es una herramienta para el análisis económico de inversiones de proyectos viales.
- Por lo tanto los planes que se propone el Estado para fortalecer la planificación en el sector público y propiciar la aplicación del ciclo de un Proyecto de Inversión Pública, es una necesidad en un país como el nuestro donde la optimización de gastos bajo restricciones presupuestales son fundamentales.

## 5. REFERENCIAS

- Thawat Watanatada, Clell G. Harral, William D.O. Paterson, Ashok M. Dhareshwar, Anil Bhandari, and Koji Tsunokowa. "The Highway Design and Maintenance Standards Model" World Bank, 1995.
- Ley marco N° 27293, Sistema Nacional de Inversión Pública. Congreso de la República, 07-2000.
- Manual de Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Vialidad Interurbana, Ministerio de Economía y Finanzas, 10-2000.

- (1) *Jefe del Departamento de Diseño Vial y Calidad de CESEL S.A., Av. José Gálvez Barrenechea N° 634-Lima 27. Telef. 475-4080. Docente de la Sección de Post Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería,*
- (2) *Miembro de la División de Transportes de CESEL S.A.; Av. José Gálvez Barrenechea N° 634-Lima 27. Telef. 475-4080. Docente de la Sección de Post Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería*