

Instrumentación: La instrumentación de una estrategia integral y de proyectos particulares de mitigación deberá incluir el monitoreo de los procedimientos de construcción para asegurar su adecuación a los estándares de ingeniería recomendables en la parte estructural. Se programará, asimismo, el monitoreo de largo plazo para asegurar la adecuación de las medidas de mitigación de diseño no estructural.

9. Rubros a considerar en un proyecto de mitigación y criterios de valuación

Un proyecto de mitigación comprende, como se ha visto, varias fases que podrían resumirse en: a) análisis de vulnerabilidad, b) proyecto de obra, c) ejecución de la obra, y d) pruebas de resistencia.

Ya se ha hecho referencia a la primera etapa, consistente en la apreciación de la vulnerabilidad del área donde está emplazada o será emplazada la obra, mediante diversos estudios de riesgo, según las distintas regiones del país.

En el caso del sector salud un proyecto de obra debe contemplar, además del terreno, las inversiones en infraestructura básica (construcción, cancelería, instalaciones para suministros básicos y acabados), equipamiento (equipo médico, administrativo, comunicaciones y transporte), obra exterior (pavimentación, alumbrado, jardinería). Debe contemplar también los costos indirectos accesorios al proyecto, como remoción de escombros, demoliciones, instalaciones temporales para suplir la suspensión de servicios mientras dura la obra, y otros gastos corrientes.

La determinación de los costos de mitigación para hospitales existentes requiere la aplicación de una metodología que reúna al menos cuatro condiciones:³⁰

a) Criterios para la valorización. Es necesario valorar por separado los aspectos estructurales de los no estructurales. Entre los estructurales se cuentan la planta y las instalaciones comprendidas en la edificación; entre los no estructurales, los equipos fijos, médicos y complementarios.

b) Valorización del deterioro y la obsolescencia de instalaciones y equipos. Requiere ser aplicada a cada uno de los componentes y partes por motivo de su heterogeneidad. Para ello es conveniente la observación de los índices de rehabilitación, reparación, eliminación y modificación, respecto de un equipo nuevo.

c) Indicadores y proporciones actualizadas. Los costos se estimarán con relación a la inversión inicial de construcción y equipamiento de un hospital moderno equivalente al que se proyecta construir. La participación porcentual permitirá conocer la magnitud de inversión en cada sector hospitalario, de manera individual.

³⁰ Véase Céspedes Mogollón, Julio, "Evaluación preliminar del costo de rehabilitación hospitalaria", Universidad Nacional de Ingeniería, Seminario Internacional de Planeamiento, Diseño, Reparación y Administración de Hospitales en Zonas Sísmicas, Lima, Perú, septiembre de 1989.

d) Flexibilidad La metodología de valuación no puede aplicarse de manera rígida a cualquier tipo de hospital; es necesario considerar las variables condicionantes de cada caso particular, en especial: la actualización tecnológica, el nivel de financiamiento disponible, los estándares de seguridad locales, la capacidad de operación, entre otros.

En la formulación de proyectos de mitigación es conveniente la unidad de criterios para definir los costos y los efectos esperados. Para ello, se recomienda la participación de las áreas involucradas para definir los términos de referencia iniciales y los conceptos a considerar. Seguiría la enumeración de las condiciones técnicas administrativas, económicas y políticas de cada caso, que guiarán los parámetros de valoración.

Al momento de formular el proyecto es posible que se presenten limitaciones técnicas conceptuales o prácticas para configurar los efectos de manera agregada u homogénea, restringiendo las posibilidades de evaluar correctamente los beneficios o los costos. .

La evaluación de la rentabilidad o más bien la efectividad de los proyectos de inversión en hospitales, sobre todo cuando pertenecen al conjunto de servicios gubernamentales de atención a la salud, es compatible con otros proyectos de orden social, como las escuelas y los servicios de alumbrado eléctrico, entre otros. Se considerarán, por tanto, los indicadores de orden social que revelen los servicios otorgados a un núcleo de población claramente determinado, según su ubicación geográfica, posición económica, sexo, o edad.

El grado de vulnerabilidad o factor de riesgo de las instalaciones sociales está asociado al tipo de instalación que se trate, a sus condiciones físicas, su ubicación geográfica, su localización urbana, grado de deterioro, obsolescencia, e intensidad de uso. En este sentido, la factibilidad de un proyecto de mitigación depende de las condiciones particulares que presente la infraestructura social del país correspondiente y con los recursos presupuestarios de que pueda disponerse para su realización.

Existen también diferencias en cuanto a la factibilidad, que tienen que ver con la magnitud del proyecto de mitigación, dado que en la mayoría de los casos se requiere de la atención de secciones bien definidas dentro de las instalaciones físicas, o de soluciones arquitectónicas alternas para toda una planta. En la mayor parte de los casos, la factibilidad técnica se basará en los resultados de los indicadores de ingeniería, y la factibilidad financiera basada en los criterios de C-E del proyecto.

Anexo I**MODELO APLICABLE EN LA FORMULACION DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA SOCIAL PARA LA MITIGACION
DE DESASTRES NATURALES**

1. Estudio de vulnerabilidad
 - a) Características y evaluación de riesgo del fenómeno natural
 - b) Estudios geológicos, meteorológicos y de impacto en la infraestructura
 - c) Identificación de probabilidad de daños directos, indirectos y efectos secundarios
 - d) Población vulnerable y medidas de mitigación existentes

2. Descripción del proyecto
 - a) Objetivo y justificación
 - b) Marco legal y administrativo
 - c) Investigación estadística
 - d) Población afectada o beneficiaria
 - e) Aspectos socioeconómicos
 - f) Investigación de campo
 - g) Encuesta a la población objetivo
 - h) Encuesta a las instituciones involucradas
 - i) Políticas de prevención y desarrollo social
 - j) Modalidades alternas de solución (proyectos alternativos)
 - k) Demanda local de infraestructura preventiva

3. Tamaño
 - a) Tamaño mínimo económico
 - b) Tamaño óptimo

4. Localización
 - a) Macrolocalización
 - b) Microlocalización y servicios disponibles

5. Ingeniería del proyecto
 - a) Requerimientos materiales y tecnológicos
 - b) Requerimientos de mano de obra
 - c) Obras complementarias
 - d) Programa calendarizado de construcción
 - e) Distribución de instalaciones

6. Inversiones y costos

- a) Terreno
- b) Edificación
- c) Obras complementarias
- d) Gastos administrativos y de operación
- e) Gastos financieros

7. Financiamiento

- a) Aportaciones gubernamentales
- b) Préstamos institucionales
- c) Aportaciones sectoriales
- d) Programa de financiamiento
- e) Inversión recuperable
- f) Balance financiero

8. Evaluación económica y social

- a) Análisis de sensibilidad del proyecto base
- b) Análisis comparativo con conceptos arquitectónicos alternos
- c) Costo-efectividad

9. Aspectos organizativos

- a) Estructura administrativa
- b) Especificación de responsabilidades

Anexo II**MEDIDAS DE MITIGACION RECOMENDADAS**

La Organización Panamericana de la Salud ha determinado un conjunto de medidas de mitigación aplicables en edificaciones hospitalarias existentes, clasificadas según se trate de riesgos en la estructura, riesgos no estructurales y los relativos a la conducta humana.

Estructurales	No estructurales	Funcionales y de organización
Diseño Calidad de la construcción Tipo de materiales Condiciones del suelo Localización del terreno Características sísmicas Cumplimiento y aplicación de normas de construcción	Elementos arquitectónicos (cielos rasos, fachadas, ventanas, puertas, etc.) Líneas vitales de funcionamiento (agua, energía, comunicaciones, etc.) Instalaciones eléctricas, mecánicas e hidráulicas; muebles, equipos médicos y otros enseres	Distribución física espacial Información pública Motivación Planes de contingencias Programas educativos Entrenamiento al personal de salud Realización de simulacros Organización de sistemas

La aplicación de medidas para el reforzamiento estructural debe ajustarse a las normas y requisitos técnicos del país.

En cuanto a las medidas no estructurales, se contemplan las siguientes:

- a) Remoción. Alejar materiales peligrosos o retirar revestimientos vulnerables.
- b) Reubicación. Elegir sitios seguros para equipos pesados o materiales peligrosos.
- c) Movilización restringida. Sujetar al piso cilindros de gas o generadores.
- d) Anclaje. Asegurar con pernos o cables los equipos pesados.
- e) Acoples flexibles. Emplear tuberías flexibles en las uniones con edificios.
- f) Soportes. Aplicar sujetadores a equipos ligeros desprendibles.
- g) Sustitución. Suplir en techos el material de teja por cubiertas livianas.
- h) Modificación. Colocar recubrimientos plásticos a vidrios y materiales frágiles.
- i) Aislamiento. Colocar paneles laterales a estantes y puertas.
- j) Refuerzo. Colocar mallas de alambre o recubrimientos a muros vulnerables.
- k) Redundancia. Almacenar medicamentos de reserva en sitios aislados.
- l) Respuesta rápida y reparación. Almacenar suministros y herramientas en sitios accesibles y seguros que permitan su rápida utilización en emergencias.

Estas intervenciones para reducir la vulnerabilidad no estructural pueden ser identificadas y ejecutadas con un mínimo de inversión económica.

Una vez establecidas las medidas de seguridad de estructuras, servicios y personas, se recomienda organizar y desarrollar simulacros que midan la capacidad de respuesta de la edificación ante emergencias.

Anexo III

UN ESTUDIO DE CASO: EL PUENTE DE TOLTEN EN CHILE ³¹

1. Resumen

El presente trabajo expone la metodología adoptada para la estimación de los costos socioeconómicos derivados del colapso de un importante puente sobre la principal carretera longitudinal chilena, a raíz de un aumento excepcional en el volumen de agua del río Toltén, en julio de 1993. Además, se efectúa una comparación entre dichos costos y el valor de un programa de inspecciones que hubiera permitido al Ministerio de Obras Públicas (MOP) evitar la avería. La conclusión es que sería altamente beneficiosa una mayor inversión en un programa destinado a identificar y corregir fallas en los puentes carreteros antes de que alcancen niveles críticos.

El puente Toltén fue declarado intransitable el 8 de julio de 1993 y se determinó que el tráfico se desviara por una ruta alternativa 46 km más larga. El desplazamiento local de personas fue atendido, inicialmente, por un servicio ferroviario de emergencia, y luego mediante la colocación de una pasarela. El tránsito de vehículos sobre el río en este punto no se restableció hasta la instalación de una estructura *Bailey*, el 16 de septiembre. Hasta ese momento, el tráfico local se vio severamente entorpecido, por un aumento en la distancia origen-destino de alrededor de 700%. Sin embargo, los mayores costos socioeconómicos no se refirieron al tráfico local, sino: i) al tráfico de larga distancia, que tuvo que circular por una ruta alternativa, hasta el momento en que se colocara el puente *Bailey*, y ii) al tráfico normal sobre los caminos que constituyen esa ruta alternativa, cuyo pavimento permaneció deteriorado durante otros 17 meses, a raíz de que el desvío de vehículos pesados hacia esos caminos les ocasionó un desgaste prematuro.

Las inversiones más importantes exigidas por el colapso del puente Toltén no fueron las de colocar la estructura *Bailey* y de reparar el puente permanente; más bien, se trataron de las relacionadas con una repavimentación de emergencia a los caminos alternativos y el adelanto de su reconstrucción.

2. Introducción y breve descripción del caso

El puente carretero sobre el río Toltén, ubicado a pocos metros al norte del poblado de Pitrufrquén en la carretera Ruta 5 (sur), sufrió una seria avería en julio de 1993, a raíz de un aumento en el volumen de agua que corre por el cauce del río. En el presente trabajo se analizan los costos socioeconómicos derivados de ese fenómeno, con el objetivo principal de comparar dichos costos con el de un

³¹ El autor de este estudio es el señor Ian Thomson, oficial económico de la Sede de la CEPAL en Santiago de Chile.

programa de revisión y mantenimiento de puentes, mediante el cual hubiera sido posible identificar la condición deteriorada de la estructura y tomar medidas correctivas antes de que se colapsara.³²

El puente de la Ruta 5 (sur) sobre el río Toltén está ubicado aproximadamente a 30 km al sur de la ciudad de Temuco, que a su vez está situada a 677 km al sur de Santiago. Se trata de uno de los puentes más antiguos de la carretera, construido en 1935, muchos años antes de que ésta fuera pavimentada. Su ancho original era de dos pistas angostas, por lo que dos vehículos grandes no podían atravesarlo al mismo tiempo. En 1992 las pistas fueron ensanchadas, lo que facilitó el tránsito caminero, a costa de complicar el de los peatones. Luego, en 1995, el Ministerio de Obras Públicas proyectó reemplazarlo por un nuevo puente, a unos pocos metros aguas arriba del existente. Aproximadamente a 60 metros aguas abajo de éste, hay un puente ferroviario correspondiente a la línea principal de Santiago a Puerto Montt.

Además de ser muy limitada la disponibilidad de fondos en el Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas para las tareas de inspección y mantenimiento, el cumplimiento de dichas tareas se vio dificultado por las consecuencias de un incendio que destruyó una parte importante de los planos de los puentes carreteros, en 1971, aproximadamente.

Con posterioridad, utilizando métodos fotográficos, a través de un programa de cooperación técnica de la Agencia Japonesa de Colaboración Internacional, se hicieron reproducciones de las partes sobre el nivel de agua de los puentes de la Ruta 5.

Sin embargo, ese programa de colaboración no pudo identificar una falla que debilitaba, por debajo del nivel del agua, una de las cepas centrales de la estructura. Durante varios años, la acción de las corrientes de agua y el arrastre de material rocoso había socavado esa cepa. Luego, en dos ocasiones durante el invierno austral de 1993, el agua del río subió a un nivel que había sido pronosticado para una sola vez en 100 años, lo que agravó el problema.

En la mañana del jueves 8 de julio de 1993 se asentó la parte central del puente e inmediatamente, como precaución, la policía de Carabineros prohibió su utilización a peatones y vehículos. A mediodía, el ingeniero jefe del Departamento de Puentes del MOP, quien se encontraba haciendo una inspección en la zona sur del país, aterrizó en una avioneta en el aeropuerto Maquehue (que atiende la ciudad de Temuco) y posteriormente se dirigió al sitio del incidente, en donde declaró definitivamente intransitable el puente. El tránsito vehicular fue redirigido a través de Villarrica, mediante los caminos 119 de Freire a Villarrica y 91 de Villarrica a Loncoche, donde se retomaba la Ruta 5.

³² Cabe agradecer la colaboración de las personas e instituciones identificadas a continuación, quienes proporcionaron informaciones básicas para la elaboración del presente trabajo: i) Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas: ingeniero Raúl Vásquez, Jefe; ingeniero Manuel Caracedo; ingeniero Francisco Cornejo; ingeniero Patricio Puelma; ii) Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas: ingeniero Mac García; iii) Unidad de Censos de Tránsito del Ministerio de Obras Públicas: señorita Giannina Figueroa; iv) Secretaría del Ministerio de Obras Públicas en la Novena Región: ingeniero Manuel Robles, Jefe del Departamento de Estudios, y v) Ferrocarriles del Estado de Chile: ingeniero Eduardo Zepeda, Jefe Zonal Temuco.

La ruta de desvío se encontraba pavimentada en un 100%, pero su distancia total, de 100 km, casi duplicaba la normal entre Freire y Loncoche, que es de 54 km. Trazadas en un mapa, las tres vías —es decir, i) la Ruta 5 entre Freire y Loncoche; ii) el camino 91 de Loncoche a Villarrica, y iii) el camino 119 de Villarrica a Freire— se presentan como los tres lados de un triángulo.

En la tarde del mismo 8 de julio, la Gerencia de Pasajeros de *Ferrocarriles del Estado* (EFE) puso en operación un servicio de emergencia, proporcionado por una locomotora de patio, e inicialmente un coche de clase económica, y luego dos. Este servicio de emergencia permaneció en operación hasta el 12 de julio. EFE rehabilitó las boleterías de las estaciones de Freire, Pitrufrquén y Gorbea, las que habían quedado sin servicio de trenes de pasajeros durante intervalos de dos años o más. EFE cobró tarifas normales.

Adicionalmente, según se puede apreciar en los diagramas de los trenes de la época, algunos servicios ferroviarios fueron operados exclusivamente para atravesar el puente ferroviario, desde la orilla sur del río a la norte y viceversa. Aparentemente, no se cobró tarifa para estos traslados. A partir del día 12, nuevamente los peatones pudieron transitar a pie de un lado del río al otro, gracias al tendido de una pasarela por parte del MOP. Los peatones tenían que desplazarse sobre la primera sección del puente carretero, luego a 90 grados hacia el ferroviario, por donde continuaban hasta una segunda estructura transitoria que los conducía de regreso al puente de carretera, por el que cruzaban a la orilla opuesta. Ese mismo día, el servicio ferroviario de emergencia fue suspendido.

A partir del 13 de julio se puso en marcha un servicio ferroviario gratuito, contratado con EFE por la Intendencia de la IX Región, por un monto de alrededor de 10 millones de pesos chilenos.³³ Este servicio de postemergencia también operó sobre el eje Temuco-Freire-Pitrufrquén-Gorbea. Hasta el 23 de julio hubo 11 frecuencias diarias, reducidas a ocho a partir del día 24, y sólo hasta el 30, día en que se suspendió el servicio.

El 16 de septiembre se colocó sobre la estructura del averiado puente de carretera una estructura metálica de tipo *Bailey*, que fue retirada el 17 de diciembre. La instalación del puente *Bailey* permitió la restauración del tránsito entre las dos orillas, sin restricción especial de peso. Por contar con una sola pista, el tránsito sobre ese puente fue dirigido por bandereros. A partir del 18 de diciembre, el tránsito volvió a su condición normal sobre el reforzado puente permanente.

Una de las conclusiones más importantes del presente análisis es que la inversión de un monto relativamente modesto en la inspección y reparación de puentes es capaz de generar retornos altamente positivos.

2. Las inversiones hechas por el MOP a raíz del colapso del puente

Las inversiones efectuadas por el MOP no se limitaron solamente a la reparación del puente permanente y a la colocación de la pasarela peatonal y del puente *Bailey*. El desvío de tránsito pesado por los caminos 119 y 91 les causó un deterioro prematuro a esas vías. Debido a esto, el MOP se vio obligado a encargar un estudio de ingeniería para determinar las acciones que correspondía emprender con respecto a dichos caminos. A raíz del estudio, se decidió adelantar cinco años su reconstrucción,

³³ Todos los costos se expresan en valores de diciembre de 1994.

incluyendo además la sustitución del pavimento de doble tratamiento sobre el tramo Freire-Villarrica por una mezcla de asfalto-hormigón.

Adicionalmente, como medida inmediata, se efectuó una reparación emergente de los dos caminos señalados, consistente esencialmente en una repavimentación parcial de los tramos más deteriorados. Indirectamente relacionado con el desastre está el proyecto de reemplazar el puente de carretera por un nuevo puente.

3. Los costos relacionados con el daño ocasionado al puente

a) Los costos relacionados con el desastre

El cuadro 1 presenta una estimación de los costos económicos ocasionados por el colapso del puente Toltén de carretera. El total asciende a unos 5,619 millones de pesos, equivalente a unos 14 millones de dólares. De esta suma, más de la mitad (60%) constituyen costos, que se pueden llamar *indirectos*, relacionados básicamente con los mayores costos de transporte durante el período en que ocurrió del desastre y el restablecimiento de condiciones normales. La mayoría de los costos indirectos (59%) se vinculan con los recargados costos de transitar por Villarrica durante el período de la interrupción del tránsito sobre la Ruta 5 y con la supresión de viajes a raíz de los aumentos en el costo del transporte, los que fueron especialmente importantes en el caso del tráfico local entre la zona de Gorbea/Pitrufquén y la de Freire/Temuco, que tuvo que enfrentar una extensión del recorrido de más de 700% a raíz del cierre del puente. Casi todo el resto se refiere a los mayores costos de operación de los vehículos que circularon por los caminos Freire-Villarrica y Villarrica-Loncoche, desde el momento en que se colocó el puente *Bailey* hasta la repavimentación parcial de dichos caminos, en el verano austral de 1995.

Entre los costos *directos*, es decir, las inversiones, el segundo más importante fue el de reparar el propio puente de carretera, incluidos los relacionados con la colocación del puente temporal de tipo *Bailey*. Sin embargo, el costo directo más importante fue el de adelantar la reconstrucción de los caminos 119 y 91, debido a su desgaste prematuro.

b) El costo de haber evitado el desastre

Para poder estimar la inversión que habría sido necesaria para evitar el desastre, corresponde considerar dos categorías de costo. La primera comprende un programa de inspección de puentes, que hubiera podido identificar la socavación de las cepas del puente Toltén; la segunda se refiere al costo de reparación de la cepa que se encontraba dañada.

Una eventual Sección de Inspección dentro del Departamento de Puentes del MOP tendría costos del orden que se indica a continuación. Como mínimo, dicha Sección requeriría un ingeniero jefe, un ingeniero asistente y una secretaria, cuyo costo anual sería de aproximadamente 59 millones de pesos, incluido el apoyo administrativo. Tendría que contar con el uso exclusivo de un vehículo todo terreno, cuyo costo anual sería del orden de 5 millones de pesos (considerando la depreciación y mantenimiento). El costo anual del combustible sería de aproximadamente 1.6 millones de pesos

(incluidos traslados de ida y vuelta al sur del país a bordo de un tren nocturno). El arriendo de oficinas y su equipamiento se valorizan en unos 4.5 millones de pesos. Los viáticos ascenderían a unos 12.5 millones de pesos anuales y el valor de los equipos especializados de análisis e inspección podría alcanzar aproximadamente la misma cifra. En suma, el costo total de la Sección de Inspección llegaría a unos 95.5 millones de pesos al año.

Es muy difícil estimar el costo de reparar la cepa del puente si la falla hubiera sido identificada a tiempo; no obstante, difícilmente habría superado el monto de 250 millones de pesos.

A una tasa de interés de un 12%, el costo anual de la Sección de Inspección corresponde un monto fijo de unos 800 millones de pesos. Así, mediante la inversión de la suma de 1,050 millones de pesos, habría sido posible evitar daños valorizados en unos 5,619 millones de pesos, aunque la Sección de Inspecciones de puentes no hubiera identificado una falla de ninguna otra estructura. Queda claro que la inversión de un monto relativamente reducido en la inspección y reparación del puente podría generar retornos altamente positivos.

4. Un resumen metodológico de la estimación de los costos socioeconómicos

a) **Estimación de los costos relacionados con la operación de trenes especiales durante el período de emergencia**

Según se ha dicho, entre el 8 y el 12 de julio de 1993 Ferrocarriles del Estado (EFE) operó un servicio de emergencia por cuenta propia, entre Temuco Freire, Pitrufquén y Gorbea, consistente en una locomotora diesel de tipo D-5100 o D-6100 y uno o dos coches de clase económica. La Gerencia Regional de Pasajeros en Temuco registró la venta de pasajes en las cuatro estaciones señaladas; en Temuco se vendieron 9,204 boletos, valorizados en 2,452,739 pesos; en Freire, las cifras correspondientes fueron de 7,177 y 1,746,090, respectivamente; en Pitrufquén, 2,591 y 985,820; y en Gorbea, 5,168 y 1,820,460. Las boleterías de Freire, Pitrufquén y Gorbea fueron rehabilitadas y dotadas con personal especial para esa venta excepcional, puesto que ninguna de las estaciones se encontraba en uso para trenes de pasajeros en el momento en que ocurrió el desastre. Hubo, además, una venta a bordo de los trenes, aunque se considera que tuvo relativamente poca significación, por los castigos que se aplicaron a ella, los que incentivaron a los pasajeros a adquirir sus pasajes en las boleterías.

Dichas cifras son altas, en comparación con el volumen de pasajeros que se estima viajaron en los autobuses que operaron sobre el mismo recorrido en condiciones normales. Por lo tanto, para determinar el costo neto relacionado con la transferencia de pasajeros a los trenes desde sus autobuses habituales, se restó del costo del transporte ferroviario, es decir, 8,145,000 pesos (línea 1 en el cuadro I) el costo de transportar en autobuses el mismo número de personas, que corresponde a 7,242,000 pesos (línea 8), suponiendo, en ambos casos, que la tarifa cobrada por pas-km reflejara los costos correspondientes.

Además, tomando en cuenta estimaciones razonables de los tiempos de espera, de caminata y del propio viaje en el tren o autobús, se cuantificó el costo del mayor consumo de tiempo personal, por el uso del medio ferroviario en lugar del habitual autobusero. El tiempo fue valorizado en unos

336 pesos la hora, correspondiente al valor social ocupado en evaluaciones de transporte urbano. El mayor costo (2,411,000 pesos) está incluido en el valor de la línea 10 del cuadro 1.

b) Estimación de los costos relacionados con la operación de trenes especiales durante la postemergencia

Durante el período del 13 al 23 de julio de 1993, por convenio con la Intendencia de la IX Región, EFE operó un servicio gratuito (para los usuarios) sobre la ruta Temuco-Gorbea, consistente en tres coches de clase económica, arrastrados por una locomotora de tipo D-5100 o D-6100. Se estimaron los costos de operación de trenes de pasajeros, por procesar antecedentes contenidos en distintos informes elaborados por o para EFE.³⁴

A partir de estos valores, se estimó el costo total (sin contar el aseo) de un viaje de ida y vuelta entre Temuco y Gorbea en 69,804 pesos. Por lo tanto, el costo total de los servicios operados entre el 12 y el 23 de julio de 1993 (durante el cual se ofrecieron 11 frecuencias diarias) se calculó en 8,024,000 pesos, y entre el 24 y el 30 de julio de 1993 (ocho diarios) en 4,151,000, en tanto que el costo total se estimó en 12 millones de pesos (línea 2 del cuadro 1).

El costo ahorrado por la suspensión de los servicios autobuseros entre Temuco y Gorbea, durante el mismo lapso, se estimó en 8.5 millones de pesos (línea 9), suponiendo que un tren reemplaza a cuatro autobuses y un costo de operación por autobús-km de 0.333 pesos. El mayor costo de tiempo personal de viaje se estimó tomando en cuenta el mismo valor por hora (336 pesos) y la misma demora relativa del viaje en tren en comparación con el del autobús (17 minutos), que se había contabilizado referente a período de emergencia. Ese mayor costo (6.2 millones de pesos) se incluye en el valor señalado en la línea 10 del cuadro 1.

A partir del 12 de julio de 1993, algunos viajeros habrían llegado en autobuses a una orilla del río cruzándolo por la pasarela y subiendo a vehículos que esperaban en el otro lado, incurriendo también en un mayor consumo de tiempo en comparación con el viaje normal. Sin embargo, por el desconocimiento casi total que existe sobre el número de viajes de esta naturaleza, no fue posible intentar analizarlos seriamente.

c) Estimación de los costos adicionales del tránsito de largo recorrido desviado por Villarrica y de la pérdida de excedente de la supresión de viajes

Hasta la puesta en operación del puente *Bailey*, el tráfico de largo recorrido fue desviado por Villarrica, con los consiguientes mayores costos de operación vehicular y el consumo de tiempo personal. El principio básico adoptado para determinar ese costo partió de la estimación de los volúmenes normales de tránsito, por tipo de vehículos, y los costos de operación de recorridos de largos típicos, tanto por la Ruta 5 por el desvío por Villarrica.

³⁴ i) Consultores en Ingeniería de Transporte Ltda -CITRA- (1994), *Estudio estratégico de transporte de pasajeros*, varios tomos, para EFE; ii) EFE (1992), *Anuario Estadístico, 1991*, y iii) el Memorándum de EFE, referenciado DGN 1 7592 del 30 de diciembre de 1991.

Cuadro 1

RESUMEN DE LOS DAÑOS ECONOMICOS CAUSADOS POR EL COLAPSO DEL PUENTE TOLTEN

Específico	Valor en miles de pesos chilenos en diciembre de 1994
Costos relacionados con la operación del sistema de transporte (indirectos)	5,619,235
Total	
1. Operación de trenes especiales durante el período de emergencia a/	+8,145
2. Operación de trenes especiales durante el período postemergencia b/	+12,174
3. Mayores costos de operación de los vehículos en viajes de largo recorrido que se desviaron por Villarrica	+1,655,334
4. Pérdida de excedente por supresión de viajes de largo recorrido	+119,000
5. Mayores costos de operación del tráfico local, con origen o destino	+222,022
6. Pérdida de excedente por supresión de viajes locales	Inc. en línea 5
7. Mayores costos de operación de vehículos sobre los caminos Freire-Villarica y Villarica-Loncoche, hasta la reparación de éstos	+1,374,785
8. Menores costos de operación de autobuses por transferencia de tráfico a los trenes durante período de emergencia	-7,242
9. Menores costos de operación de autobuses por transferencia de tráfico a los trenes durante el período de postemergencia	-8,477
10. Mayor consumo de tiempo personal de pasajeros que cambiaron de autobús a tren, durante el período de emergencia y el de postemergencia	+8,566
Costos de inversión (directos)	
11. Menor desgaste a la Ruta 5 por desvío de tránsito por Villarrica	-104,002
12. Costos relacionados con la instalación del puente peatonal	+41,860
13. Reparación del puente de carretera sobre el río Toltén, incluidos los costos relacionados con el puente <i>Bailey</i>	+844,040
14. Adelanto de la reconstrucción de los caminos Freire-Villarica y Villarica-Loncoche	+1,133,050
15. Repavimentación emergente de los mismos caminos	+320,000

a/ Entre 08/07/93 y 12/07/93, es decir, entre el momento del desastre y la colocación del puente peatonal.

b/ Desde el momento de colocar el puente peatonal hasta el 30/07/93.

Suponiendo distintas elasticidades de demanda, por cada tipo de vehículos, se calculó la incidencia de la supresión de viajes (por mayores costos). Al tráfico que continuó realizándose, a pesar de los mayores costos, se le atribuyó el mayor costo del recorrido por Villarrica, sobre el efectuado por la Ruta 5, y al tráfico que se dejó de correr, por los mayores costos, se le contabilizó una pérdida de excedente igual a la mitad de dicho mayor costo.

El flujo diario de tránsito de largo recorrido, en condiciones normales, se estimó aplicando distintos porcentajes a los volúmenes observados en los conteos efectuados por el MOP, en la Ruta 5 entre Pitrufquén y Gorbea, los días 8 de julio y 21 de octubre de 1992. Para algunos tipos de vehículos, se estimó el volumen normal considerando el promedio del flujo contado en esos dos días, y para otros, cuyo flujo el 8 de julio fuera excepcionalmente alto, por alguna razón no identificada, se estimó considerando únicamente el volumen observado el 21 de octubre. Se supuso que el largo de los recorridos de los automóviles, las camionetas y todos los tipos de camiones fue de unos 200 km y que el de los autobuses sumó unos 400 km. Las elasticidades de demanda, que relacionan el volumen de tránsito por tipo de vehículos con el costo del recorrido, se estimaron en -1.00 (automóviles y autobuses), -0.50 (camionetas), y -0.25 (todos los tipos de camiones). Por razones de conveniencia, se basaron los cálculos de pérdida de excedente únicamente en los costos económicos, sin referencia a

los percibidos o generalizados; sin embargo, se efectuó una corrección, reconociendo que los combustibles llevan una carga impositiva superior a la de los demás bienes y servicios consumidos.

Durante el período en que el tráfico por el puente se mantuvo suspendido, la suma de los mayores costos de operación del tránsito de largo recorrido y de la pérdida de excedente relacionada con la misma se calculó en unos 1,774,334 millones de pesos. (Véanse las líneas 3 y 4 del cuadro 1.)

d) **Estimación de los costos adicionales del tránsito local desviado por Villarrica y de la pérdida de excedente de la supresión de viajes**

En el caso del tráfico local, la diferencia de costos de operación vehicular, incluido el valor del tiempo personal, entre la ruta normal y la alternativa por Villarrica, fue muy grande, según se presenta en el cuadro 2. (La distancia normal es de 17 km, y la de la ruta alternativa de 137 km.)

Por lo tanto, a raíz de la supuesta curvilinealidad de las funciones de demanda, que relaciona los volúmenes de tránsito de cada tipo de vehículo con dichos costos, la estimación de la pérdida de excedente como la mitad de la diferencia de costos, entre la ruta normal y la alternativa, daría como consecuencia una sobreestimación muy significativa de esa pérdida. (Véase el gráfico 1.)

Por eso, la pérdida, por tipo de vehículos, se estimó mediante la siguiente integral: ³⁵

$$\int_{c_0}^{c_1} q_i \cdot dc$$

donde:

c_{11}	=	costo por Villarrica, vehículos de tipo i
c_0	=	costo por la Ruta 5 (puente Toltén), vehículos de tipo i
q_i	=	volumen de tránsito de vehículo de tipo i.

Para estimar los volúmenes del tráfico local, se calculó, primeramente, por cada tipo de vehículos, la diferencia entre el flujo total, estimado a partir de los conteos del MOP, y el que ya se había considerado como tráfico de largo recorrido. Los conteos se realizaron en un punto entre Pitrufquén y Gorbea y, por eso, incluirían vehículos que efectuaron desplazamientos de corta distancia, sin necesidad de pasar por el puente. Por lo tanto, salvo en el caso de los autobuses, se supuso que un 50% de ese tráfico fuera local, que normalmente pasa por el puente colapsado. Se consideró, además, que este tráfico circula entre Freire (punto de origen o destino) y Gorbea (destino u origen). Los costos presentados en el cuadro 2 se refieren a los viajes entre estos dos poblados. En

³⁵ Según se puede apreciar en el gráfico 1, la diferencia entre los dos métodos es muy importante. En el caso de los autobuses, por ejemplo, la pérdida diaria, estimada mediante el método integral, es de 3,123 dólares. Si hubiera sido calculada a través del método adoptado en el caso del tránsito de largo recorrido, habría sido sobreestimada de manera muy significativa, en 6,414 dólares, es decir, en más de 100% superior al valor real.

el caso de los autobuses, se consideró que un 90% del tránsito de recorrido corto pasa normalmente por el puente.

Cuadro 2

VOLUMENES DE TRANSITO LOCAL Y COSTOS DE OPERACION POR LAS RUTAS NORMAL Y ALTERNATIVA

Tipo de vehículo	Volumen por día a/	Costo por Ruta 5 b/	Costo por Villarrica c/
Automóvil	134	3.21	27.17
Camioneta	88	3.23	27.99
Camión 2 ejes	51	5.05	44.65
Camión > 2 ejes	5	8.82	78.76
Camión remolque	35	9.71	86.65
Autobús	128	10.98	101.38

a/ Volumen de tránsito local que pasa por el puente, en condiciones normales; de acuerdo con el procedimiento explicado en los incisos c) y d) de esta sección 4.

$$q_i = 430c_1^{-1.00} \text{ (i = auto);}$$

$$q_i = 158c_1^{-0.50} \text{ (i = camioneta)}$$

$$q_i = 76.5c_1^{-0.25} \text{ (i = camión de 2 ejes);}$$

$$q_i = 8.44c_1^{-0.25} \text{ (i = camión de más de 2 ejes)}$$

$$q_i = 61.8c_1^{-0.25} \text{ (i = camión con remolque), y}$$

$$q_i = 1405c_1^{-1.00} \text{ (i = autobús).}$$

b/ Corresponde a c_{10} en la formulación integral anterior.

c/ Corresponde a c_{11} en la formulación integral anterior.

Se supuso que las elasticidades de demanda vigentes fueran iguales a las ya empleadas en el caso del tránsito de recorrido largo.

Los mayores costos y las pérdidas de excedente fueron calculados por tipo de vehículos y por día.³⁶ Para convertir los costos y pérdidas diarios a los incurridos durante el período entre la orden de prohibición de transitar sobre el puente hasta la colocación de la estructura *Bailey*, se consideró el período entre el 8 de julio y el 16 de septiembre, excepto en el caso de los autobuses. En este último caso, se tomó en cuenta el intervalo entre el 31 de julio de 1993 y el 16 de septiembre de 1993, puesto que los costos correspondientes a los días en que corrió el servicio especial de trenes ya han sido estimados, según se explicó oportunamente. El valor total de los mayores costos y pérdida de excedente se estimó en 222 millones de pesos (línea 5 del cuadro 1).

³⁶ Otra vez, por razones de conveniencia, las pérdidas de excedente se estimaron considerando los costos económicos, con ajuste por la mayor carga impositiva sobre los combustibles.

e) **Los mayores costos de operación de vehículos sobre las Rutas 91 y 119 hasta la reparación del pavimento de estos caminos**

El desvío de tránsito pesado por Villarrica, a raíz de la intransitabilidad del puente Toltén, provocó un deterioro acelerado en la condición del pavimento de los caminos Freire-Villarrica y Villarrica-Loncoche, lo que elevó los costos de operación del tráfico normal sobre ellos, hasta su reparación en el verano de 1995. Se estimó el valor de este aumento de la manera explicada a continuación.

Se supuso que:

i) La condición de los caminos 91 y 119 habría permanecido sin cambios significativos, si no hubiera ocurrido el desastre;³⁷

ii) La condición de la Ruta 91, durante el período del 16 de septiembre de 1993 al 15 de febrero de 1995, sería inferior al estado *malo* y, por lo tanto, los costos de operación correspondientemente superiores;³⁸

iii) La condición de la Ruta 119, durante el período del 16 de septiembre de 1993 al 15 de febrero de 1995, correspondería al estado *malo* del citado documento del MOP (véase la referencia 2.).

Se estimó que, en promedio, los caminos permanecieron en la condición dañada durante un período de 517 días. Los volúmenes diarios de tránsito se estimaron por cada tipo de vehículos, y se calculó un promedio diario de los flujos contados, en los puntos más indicados por los censos del MOP en 1992, asignando una ponderación de 200% a los conteos del día 19 de febrero, 100% a los del 8 de julio y 200% a los del 21 de octubre. Los conteos fueron efectuados en Allipén, en el caso de la Ruta 119, y en la Esquina Mocha, en el caso de la Ruta 91. (En el caso de los camiones, de todos los tipos, sobre la Ruta 119, los flujos para el 21 de octubre fueron reemplazados por los del 8 de julio, por ser excepcionalmente altos los primeros.)

A base de las diferencias de costos de operación y de los flujos de tránsito, más el supuesto de que el aumento en los costos no redujera los flujos, se estimaron los mayores costos de operación durante los 517 días en unos 1,374.8 millones de pesos (línea 7 del cuadro 1). Cabe comentar que este valor está sujeto a un margen de error relativamente grande, por la dificultad en saber exactamente cuáles fueron los costos de tránsito por los caminos 91 y 119, en su condición deteriorada.

³⁷ A fin de estimar los costos de operación vehicular y las velocidades correspondientes, se consideró que antes de la emergencia: i) el estado de la Ruta 5 era plano y bueno; ii) el de la Ruta 119 era bueno, 50% plano y 50% ondulado, y iii) el de la Ruta 91 era regular, 50% plano y 50% ondulado.

³⁸ Las definiciones y los costos corresponden a los presentados en el documento del MOP A, *Resumen de Costos de Operación de Vehículos, Caminos Pavimentados* (sin fecha).

f) **Los costos relacionados con el reestablecimiento del tránsito sobre el puente**

El MOP informó que los costos por transportar, armar y luego retirar el puente peatonal se estimaron en unos 41.9 millones de pesos (línea 12 del cuadro 1). La misma fuente estimó los costos de la reparación del puente permanente, además los de transportar, armar y retirar la estructura *Bailey*, en unos 844 millones de pesos (línea 13 del cuadro 1).

g) **Los costos del menor desgaste de la Ruta 5**

El desvío de tráfico por Villarrica habría reducido el desgaste de la Ruta 5, entre Freire y Loncoche. El MOP consideró insignificantes los beneficios correspondientes, pero por ser factible su estimación, se intentó cuantificarlos, usando la metodología que a continuación se resume.

El costo unitario del daño causado por el tráfico pesado fue valorizado en 0.02 dólar por eje-equivalente por km, a base de un estudio llevado a cabo anteriormente por la CEPAL.³⁹ Se supuso que un camión de 2 ejes tiene una equivalencia en ejes (reconociendo que no siempre circula cargado) de 1.5; para un camión de más de 2 ejes en 2.25; para un camión con remolque en 3.5; y para un autobús en 0.75. De esa manera, se calculó el valor del menor desgaste en 104 millones de pesos (línea 11 del cuadro 1).

h) **Los costos relacionados con la reparación de caminos**

El MOP estimó en unos 3,000 millones de pesos el costo de la reconstrucción de los caminos 119 y 91, sobre los ejes Freire-Villarrica-Loncoche, suma a la que se debe agregar 110 millones de pesos, que es el costo del estudio de ingeniería para determinar el tipo de construcción más indicado y desarrollar el proyecto correspondiente. El costo de reconstrucción comprende una mejora del pavimento entre Freire y Villarrica, mediante una mezcla de asfalto y hormigón, más bien que de doble tratamiento. Se estimó el costo atribuible a la avería del puente Toltén por la simple diferencia entre el valor presente de la obra completa en 1995, y la misma si hubiera sido hecha en el año 2000. Si el camino Freire-Villarrica hubiese sido reconstruido en el año 2000, tal como ha sido programado, es altamente probable que habría sido tratado con la mezcla de asfalto y hormigón, tal como en realidad se hizo. El costo por adelantar las obras en cinco años, a una tasa de descuento de 12% anual, es de 1,133 millones de pesos. (Véase la línea 14 del cuadro 1.)

A raíz de que el desvío del tráfico por Villarrica causó un deterioro prematuro en los caminos 199 y 91, el MOP consideró necesaria una repavimentación parcial de emergencia, la que costó unos 320 millones de pesos. (Véase la línea 15 del cuadro 1.)

³⁹ CEPAL (1987), *Estimación de los costos variables del uso de la infraestructura vial* (R.566/Add/1). Se actualizó el costo indicado en el gráfico 1 (línea correspondiente a la carretera longitudinal principal).

Gráfico 1

UNA COMPARACION DE LA PERDIDA DE EXCEDENTE AL TRAFICO LOCAL DE AUTOBUSES, CALCULADA SEGUN DOS METODOS ALTERNATIVOS

