

BENEFICIOS DE LA DISEMINACIÓN DE INFORMACIÓN DE TRÁFICO A LOS USUARIOS DE SISTEMA DEL TRANSPORTE URBANO

Patricio Alvarez Ph.D., Universidad del Bio Bio, palvarez@ubiobio.cl
Felipe Venegas, Universidad del Bio Bio, felveneg@alumnos.ubiobio.cl

Palabras claves: Simulación, ITS

RESUMEN

La ocurrencia de incidentes de tránsito reduce la capacidad del sistema de transporte produciendo inconveniencias a los usuarios. Las variables de servicio afectadas en el corto plazo son el tiempo de viaje, el consumo de combustible, y la emisión de contaminantes a la atmósfera por mencionar las más relevantes. Una forma de mitigar los efectos anteriormente mencionados consiste en diseminar información oportuna a los usuarios del sistema transporte respecto del estado del mismo (por ejemplo incidentes de tránsito). De esta forma se activa la posibilidad de modificar decisiones respecto de realizar un viaje o no, que modo de transporte utilizar o más importante aún que ruta seguir.

La efectividad de la diseminación de información depende principalmente del medio de comunicación utilizado, de su penetración de mercado, de las características del incidente y de la disponibilidad de rutas y modos de transporte alternativos. En este estudio se evalúan los efectos económicos de diseminar información bajo distintos escenarios de reducción de capacidad y penetraciones de mercado del medio de comunicación empleado. Para ello se estiman los beneficios de la implementación de un sistema de diseminación de información comparando los valores de las variables de servicio del sistema de transporte en la situación base y la situación con diseminación de información. Los resultados muestran que la diseminación de información puede generar ahorros importantes en la operación del sistema de transportes. Se observa en particular que los beneficios son más importantes en redes operando a capacidad, donde existen arcos redundantes y donde la frecuencia de incidentes severos es importante (larga duración, importante reducción de capacidad)

1. REVISION BIBLIOGRAFICA

El impacto de la información en las decisiones de los usuarios del sistema de transporte ha sido ampliamente estudiado por diferentes autores. En este sentido, las líneas de investigación más importantes son el estudio de la disposición de los usuarios a utilizar información en tiempo real, la diferencia en la efectividad de diferentes estrategias de diseminación, y la disposición a pagar por recibir información oportuna. A continuación se resumen los principales resultados de investigaciones en las líneas de investigación antes mencionadas.

Respecto del primer grupo, destaca el trabajo de Lindsey (Lindsey et al., 2014), quien estudió la disposición a cambiar la ruta en un escenario de información oportuna. El estudio consistió en entregar información en tiempo real de incidentes en la vía, además de proponer rutas alternativas a los usuarios registrando la fracción de los usuarios que efectivamente recogen la propuesta del analista. Los resultados del estudio arrojaron que mientras más severo es el incidente, la fracción de usuarios que acepta la ruta propuesta aumenta. De la misma forma se observa un umbral mínimo de severidad a partir del cual la información se hace relevante para la toma de decisiones.

En la misma línea de análisis se encuentra el estudio realizado por Ettema (Ettema, et al., 2006), el cual consistió en entregar información del tiempo de viaje para diferentes rutas y observar cómo los usuarios modifican sus conductas en términos de cambiar el horario de partida de sus viajes. El estudio se focalizó en la autopista A2 entre Beesd y Utrecht, Holanda. Los resultados muestran que es factible ahorrar del orden del 30% al 40% de los costos generalizados de transporte por la vía de programar óptimamente el horario de inicio de viajes.

Finalmente, vale pena mencionar la investigación de Kusakabe (Kusakabe, et al., 2012), en donde se estudió el efecto en la elección de rutas de los usuarios cuando la información de incidentes de tránsito es provista en un letrero de mensajería variable (VMS). Los resultados muestran que los viajeros validan la información del VMS comparando lo informado con su propia experiencia de viaje. De esta forma, la proporción de usuarios que modifica su ruta está en directa relación con la percepción de la calidad de la información.

Por otro lado, respecto del estudio de la efectividad de diferentes estrategias para diseminar información, Kamga (Kamga et al, 2013) abordó el problema de diseminar información por medio de quioscos con pantallas táctiles. Para ello se estudió la cantidad de usuarios de transporte público en Nueva York que utilizan el dispositivo para acceder a información en tiempo real. Se concluyó que los usuarios de este tipo de tecnologías responden a un perfil típico que puede ser caracterizado desde un punto de vista etario y socioeconómico. En consecuencia las estrategias de diseminación que busquen aumentar la efectividad deben necesariamente recoger dichas variables. Adicionalmente, se observa que el uso de los quioscos aumenta con el volumen de potenciales usuarios que circulan frente al mismo. De la misma forma, se verificó que el número de usuarios aumenta con la intensidad del uso del quiosco, es decir, el primer contacto con el sistema probablemente se da por curiosidad al ver otros usuarios utilizarlo. Similarmente se observa que el quiosco es más efectivo que otros medios de diseminación de información (señalética y volantes). Finalmente, se concluye también que uno de los atributos más valorados del quiosco radica en la cantidad de información contenida, su oportunidad y la flexibilidad para acceder a ella.

En relación al problema de la disposición a pagar por información del estado de la ruta, este problema fue abordado por Rong-Chang (Rong-Chang et al., 2013). En dicha investigación se realizó un estudio con conductores de autopistas en Taiwán conducente a la calibración de un modelo de demanda que considerara explícitamente el precio de acceder a información de tráfico en tiempo real para tres escenarios con condiciones de tráfico diferentes.

Los resultados indicaron que la demanda por información de tráfico es más importante en condiciones anormales de operación. Por otro lado también se observó que en condiciones normales de operación los usuarios centran su interés en aspectos más generales de la navegación mientras que en condiciones anormales de operación la información más solicitada es la predicción dinámica del tiempo de viaje. Consecuentemente la disposición a pagar tiende a aumentar a medida que las condiciones de operación se alejan de la normalidad. Finalmente se concluye además que la demanda por información es más importante en autopistas principales y menor sobre rutas secundarias.

Por último se considera un estudio realizado por Naniopoulus (Naniopoulus, et al., 2014) en donde se propone evaluar los beneficios de diseminar información a los usuarios mediante un sistema de gestión denominado TRAVEL-GUIDE. Los resultados del estudio arrojan que la mayoría de los usuarios se manifiesta disposición a pagar por información, lo cual sugiere un buen potencial de comercialización de los servicios; con excepción hecha del transporte público. Respecto de los usuarios de transporte privado, se estimó un rango de precios entre 0,2 y 0,6 euros. Pese a los promisorios resultados del estudio, la penetración de mercado de los sistemas “on board” disponibles en vehículos es todavía bastante bajo, y no es posible registrar datos suficientes respecto de la frecuencia de las consultas del usuario tipo.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada busca primero estimar el valor de las variables de servicio cuando los usuarios deciden la ruta a seguir en base a sus expectativas o conocimientos previos de la red de transporte, es decir, en un escenario donde no existe información del estado actual de la red vial. En una segunda etapa, se determinan las rutas que los usuarios eligen cuando son informados del estado real de la red, esto es, la asignación de usuarios a la red considera de forma explícita información respecto de la reducción de capacidad debido a la presencia de algún incidente de tránsito. En este último caso, se espera que se produzcan reasignaciones en la red que dependerán del porcentaje de los usuarios que son informados y la severidad en la reducción de la capacidad del sistema. Los beneficios de la diseminación se estiman como la diferencia entre la situación base y el escenario con diseminación de las variables de servicio del sistema, a saber consumo de combustible y tiempo de viaje.

Los incidentes de tránsito corresponden a un fenómeno típicamente aleatorio, a priori no se puede determinar cuándo ocurrirán, que tan severos serán ni cuánto tiempo durarán. Una parte importante de la metodología consiste en una propuesta que permite caracterizar funciones de distribución de frecuencia para las variables que mejor describen las principales características de los incidentes de tránsito.

La metodología es validada por medio del estudio de algunos casos teóricos y posteriormente se aplica un caso real que representa la operación de parte del sistema de transportes del Gran Concepción.

2.1. Asignación de usuarios privados

En primera instancia los usuarios se asignan a la red vial en base a sus expectativas o conocimientos previos de las rutas, la asignación en este escenario se realiza considerando la capacidad nominal de la red de transporte. En condiciones donde hay presencia de un incidente se considera que el principal efecto sobre la red sea la disminución de la capacidad nominal del sistema. Finalmente en el escenario con presencia de incidentes y donde existe diseminación de información a los usuarios, se considera que diferentes fracciones de la matriz origen destino que tienen información respecto a las condiciones reales de la red. El porcentaje de usuarios que se considera informado se asume que es una función del medio de comunicación empleado para diseminar la información. En este último escenario, el porcentaje de usuarios informados pueden optar por rutas alternativas que optimicen sus desplazamientos. La activación de esta alternativa se traduce en una reasignación en la red vial que permite disminuir los costos de operación del sistema respecto del escenario sin diseminación de información.

Para poder representar la presencia de incidentes en la red, se propone reducir las capacidades de la red de la siguiente forma:

1. Asignación de toda la matriz de viajes considerando capacidades nominales
2. Modelar el porcentaje de los usuarios no informados como flujos fijos (no asignables) en la misma proporción que la matriz OD es afectada por la diseminación de información. Es decir si el 30% de los usuarios es informado, entonces 70% de los flujos observados utilizando capacidades nominales se considera como flujos fijos en la red.
3. Asignación de la fracción informada de usuarios de del sistema considerando que la capacidad del sistema ha sido reducida de acuerdo al tipo de incidente estudiado.

2.2. Caracterización incidentes de tránsito

La reducción de la capacidad debido a incidentes de tránsito depende de la cantidad de pistas bloqueadas en el lugar del incidente y el comportamiento de los conductores en el lugar del accidente, ya que los conductores en el lugar del incidente están más atento a los cambios de velocidad, conducen a distancias menores, además está presente el siguiente factor:

Representa la reducción de la capacidad debido a la reducción de la velocidad de los vehículos en el punto del incidente que se encuentran en carriles distintos de los bloqueados, estos pueden ser en la misma dirección o incluso en dirección opuesta.

Los distintos tipos de incidentes afectan de diferente manera a la reducción de la capacidad, estos tipos de incidentes se definan a continuación:

Tabla 1: Origen de la congestión no recurrente

Origen de la congestión no recurrente	Descripción
Faenas constructivas	Las reducciones de capacidad debido a actividades de construcción pueden dividirse en zonas de trabajo de corto plazo (mantención de semáforos, limpieza de sumideros, mantención de demarcaciones, etc.) y de largo plazo de construcción (construcción de pistas exclusivas, reparación de pavimentos, etc.
Accidentes de tránsito	El efecto sobre la capacidad depende de la proporción de calzada bloqueada y la cantidad de pista que tiene la calzada, Además la reducción de la capacidad es mayor a la porción de calzada bloqueada por el efecto de rubberneck.
Climas adversos	a) Lluvia: Reduce la capacidad cuando su duración es extendida y se acumula agua considerable en el pavimento. b) Nieve: fuertes intensidades de nieve afectan la capacidad de la vía c) Niebla: reduce la velocidad de flujo libre entre 5 a 6 km/hr.

(Fuente: HCM 2000)

2.2.1. Parámetros de los incidentes de tránsito.

Un incidente de tránsito sin importar su origen se caracteriza por tres parámetros a saber:

Frecuencia: Este parámetro se refiere a la posibilidad de que ocurra un incidente de tránsito o no. Los estudios realizados han centrado su atención en identificar las causas basales o factores determinantes de la frecuencia de incidentes a partir de diferentes niveles de severidad, tales como daños a la propiedad, heridos y fatalidades o considerando diferentes clasificaciones del lugar de los incidentes como por ejemplo que ocurra en una intersección o a mitad de cuadra. Existen varios estudios sobre este parámetro pero todos del extranjero como es el caso de Hamerslag, et.al (1982) que estudio la relación funcional entre el número esperado de incidentes, las características de la infraestructura y el volumen del tráfico. En otro trabajo, okomoto y koshi (1989) relacionaron por medio de regresiones lineales las tasas de ocurrencia de incidentes y las características geométricas de la infraestructura, Hadi et.al (1995) empleo un análisis de regresión binomial negativa para estimar los efectos de los elementos de la sección transversal de la infraestructura en la tasa de accidentes. Así como karlaftis and tarko (1998), lee y manning (1999) y teng y Qi (2002) estudiaron la frecuencia de incidentes.

Duración: Este parámetro se define como el periodo de tiempo que transcurre entre el momento exacto que ocurre el incidente hasta que se desbloquea la pista. La duración de un incidente se compone de 3 etapas claramente diferenciadas: detección, respuesta, despeje de las vías. Golob, et al. (1987). Estudio la duración de incidentes que involucran la presencia de camiones, en su estudio consideró la hipótesis que la extensión de cada fase era función o estaba influenciada por la etapa anterior, en el estudio se concluyó que la distribución de la duración

total de un incidente se puede modelar como una distribución lognormal, que con el paso de los años distintos autores reafirmaron esta conclusión. Ozbay y Kachroo (1999) proporcionaron antecedentes para modelar el tiempo requerido para despejar un incidente utilizando regresiones lineales. De la misma forma Garib, et al (1998) también consideró regresiones lineales para predecir la duración de incidentes de tránsito.

Severidad: La severidad de los incidentes de tránsito se refiere a la proporción de la calzada transitada que está bloqueado por los vehículos detenidos. HCM 2000 hizo un estudio sobre la reducción de la capacidad dependiendo de la cantidad de carriles totales y la cantidad de pistas bloqueadas, llegando a la conclusión que la disminución de la capacidad es mayor a la capacidad entregada por aquella pista bloqueada debido al factor de rubberneck. Qin y Smith (2001) estimó los porcentajes de reducción en la capacidad con un solo carril y dos bloqueos de carril de un total de tres carriles a 63% y 77%, respectivamente.

Respecto de la frecuencia, duración y severidad de los incidentes, en el presente estudio se utilizó información de campo recogida a partir de registros de carabineros, y la observación extendida de las cámaras de la UOCT Región del Bio Bio además de otras recomendaciones de la literatura. Las frecuencias relativas para un año de operaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2: Frecuencia observada de incidentes en el Gran Concepción

	15 min	30 min	45 min
Detención	0.33	0.16	0.06
Berma	0.16	0.08	0.03
1 pista + berma	0.08	0.04	0.01
2 pistas + berma	0.03	0.01	0.01

2.3. Impactos de los incidentes en la operación del sistema de transporte

Los incidentes de tránsito pueden introducir cambios en dos aspectos de la operación del sistema de transporte. Por un lado pueden cambiar las características físicas del sistema de transporte mientras al mismo tiempo pueden cambiar algunos aspectos del comportamiento de los usuarios del sistema. Las características físicas se refieren a la reducción de la capacidad del sistema, esto es producto al bloqueo temporal de pistas u otras acciones propias del manejo del incidente (vehículos de emergencia, grúas, etc.). Por otro lado el cambio del comportamiento del conductor se puede ver afectado por las características microscópicas del conductor (tácticas y operacionales). En este sentido, se han observado cambios en la propensión a cambiarse de pista (lane-changing), cambios en la distancia que los conductores están dispuestos a mantener entre vehículo (car-following), cambio en la velocidad y el intervalo de tiempo que los conductores aceptan como seguro para maniobrar por mencionar las más importantes. Adicionalmente los incidentes de tránsito pueden modificar algunas decisiones de carácter estratégico, por ejemplo, elección del modo de transporte y eventualmente la decisión si viajar o no.

Existe un número limitado de estudios que han investigado el impacto de los incidentes de tráfico. Estos estudios se centran principalmente en los impactos sobre las variables de tráfico

macroscópicas tales como la reducción de la capacidad y no en parámetros de tráfico microscópicos propios de los modelos de seguimiento vehicular y adelantamiento. La razón es que los impactos sobre las medidas macroscópicas se pueden evaluar más fácilmente utilizando las tecnologías actuales de recolección de datos.

Impactos sobre el comportamiento microscópico del conductor: Knoop en un estudio del año 2010 levanto información empírica de las trayectorias de los vehículos utilizando para ello una cámara montada en un helicóptero. El análisis de las trayectorias reveló que existen diferencias significativas entre los estilos de conducción en condiciones normales y en presencia de incidentes. En particular en presencia de incidentes los conductores prefieren mantener una mayor distancia respecto del vehículo que les precede, reaccionan más rápido a los cambios de velocidad de los vehículos que les precede, además prefieren desarrollar velocidades menores. Estos cambios conductuales en los estilos de conducción conducen a reducciones en la capacidad de la infraestructura que están entre 60% y 75% de la capacidad normal de las vías.

Impacto sobre el comportamiento estratégico de los conductores: Los estudios se han focalizado en determinar cómo la presencia de incidentes influye la elección de ruta. En la práctica, la metodología más empleada para determinar dichos impactos ha sido la utilización de encuestas de preferencia declaradas. Usando este enfoque, se determina el porcentaje de individuos que elige cambiar sus decisiones de viaje basados en la información diseminada por un sistema de información al viajero (ATIS). Estos estudios han concluido que entre 60% al 70% de los individuos pudiesen cambiar su ruta basados en la información recibida. Sin embargo debido a la naturaleza de esas encuestas estos valores pudiesen resultar inconsistentes con los datos registrados en centros de control de tráfico. Varios estudios en Europa han señalado que el porcentaje de conductores que considera la información y que por ende modifica su ruta, es en realidad más conservador manteniéndose en el rango comprendido entre 27% al 44%. En casos extremos donde el incidente causa impactos significativos al sistema de transporte se han reportado tasas de cambio de ruta del orden del 50%.

Lucas y Yang (2003) desarrollaron un marco para simular el comportamiento de un sistema de información al conductor (ATIS) bajo diferentes condiciones. En su estudio consideraron un rango para el porcentaje de conductores que cambiaba su ruta comprendido entre el 15% y el 30%. Cragg y Demensky (1999) usando CORSIM concluyeron que a nivel de sistema, existen niveles óptimos de cambio de ruta respecto de los cuales aumentar el número de conductores que cambia la ruta en la práctica aumenta las demoras y consumos del sistema de transporte.

Impactos sobre la capacidad: Los siguientes autores se han centrado sus estudios sobre la reducción de la capacidad debido a incidentes de tránsito. Goolsby en 1970 concluyó que un incidente que bloquee un carril de tres, reduce la capacidad alrededor de un 50% y que un incidente, que bloquee dos vías de tres, reduce la capacidad en aproximadamente un 79%. Hadi et al. en el año 1999 ajustó los parámetros de tres modelos de simulación microscópicos utilizados para determinar sus habilidades para replicar las reducciones de las capacidades debido a incidentes de tráfico. Llegaron a la conclusión que era posible afinar los parámetros de los tres modelos de simulación para simular las caídas en la capacidad debido a los bloqueos de carril.

HCM 2000 proporciona estimaciones de la capacidad restante durante las condiciones de incidentes como una función del número de los carriles bloqueados (o cuneta) y el número de carriles de la sección de la carretera bajo consideración. Estos valores han sido ampliamente utilizados para estudiar los efectos de diferentes estrategias para el manejo de incidentes en el desempeño del sistema de transporte.

Qi & Smith en 2001 encontraron, en base a los datos recogidos en los caminos de Hampton en Virginia, que la reducción de capacidad con un carril bloqueado de tres puede modelarse como una distribución Beta con un promedio de 63% y un nivel desviación del 14%. El estudio también encontró que la reducción de la capacidad debido a dos carriles bloqueados fuera de tres carriles se puede modelar como una distribución Beta con un promedio de 77% y una desviación estándar de 12%.

Knopp et al. en el año 2009 encontró que en el caso de una pista bloqueada, la capacidad de las pistas remanentes se reduce en 50%. Adicionalmente, establecieron que para un incidente que ocupa la berma del camino o la dirección contraria, la capacidad de las pistas disponibles se reduce en 30%.

Para avanzar en el presente estudio y considerando que existe limitada información local, se consideraron las recomendaciones contenidas en el Highway Capacity Manual en donde se propone que las reducciones en la capacidad dependen fundamentalmente de la severidad del incidente, así:

Tabla 3: Reducción de capacidad para distintos tipos de incidentes

Tipo de incidente	Descripción incidente
Capacidad residual del 95%	Vehículo detenido en berma
Capacidad residual del 80%	Incidente en berma
Capacidad residual del 35%	Incidente en 1 pista más berma
Capacidad residual del 1%	Incidente en 2 pistas más berma

2.4. Penetración de mercado

La penetración de mercado se refiere a la cantidad de usuarios que acceden a información del estado de la red. Finalmente, respecto de las penetraciones de mercado se utilizaron los siguientes valores los cuales recogen una amplia gama de medios de difusión disponibles hoy en el mercado:

Tabla 4: Penetración de mercado

Porcentaje de usuarios con acceso a la información
5%
10%
20%
30%
40%
50%

2.5. Validación de la metodología

La validación de la metodología se realizó en base a redes de prueba que representan casos típicos. La principal diferencia entre redes de prueba está dada por la redundancia de la capacidad de los arcos conectando un único par origen destino.

Se define a priori la capacidad que tendrán las redes de prueba y diferentes niveles de demanda. En particular la capacidad dependerá del nivel de redundancia de arcos en la red y la demanda que estas tendrán se variará en torno a dicha capacidad utilizando el 50%, 70%, 90% y 110% de la capacidad del sistema, el 110% de la capacidad busca representar como actúa el sistema bajo congestión. Habiendo definido la capacidad y demanda del sistema modelarán los incidentes por medio de una reducción de la capacidad inicial de la red y se informará a diferentes porcentajes de usuarios dependiendo de la penetración de mercado estudiada. De esta forma se estiman las diferencias en las variables de servicio (tiempo de viaje, consumo de combustible) entre la situación base y con diseminación.

El detalle de las redes de prueba es el siguiente:

1. Red con 2 arcos, una capacidad de 3600 vehículos cada arco, es decir un total de 7200 vehículos, longitud de arcos fue de 2000m cada uno con una velocidad de 80km/hr.
2. Red con 3 arcos, dos de ellos con una capacidad de 3600 vehículos y un tercero con un capacidad de 1600 vehículos, es decir 9000 vehículos, los primeros 2 arcos con una longitud de 2000 metros y velocidad de 80km/hr, el tercero con una longitud de 2000m y con una velocidad de 60km/hr.
3. Red con 4 arcos, dos de ellos con una capacidad de 3600 vehículos cada uno y los otros 2 restantes con una capacidad de 1800 vehículos cada uno, es decir una capacidad total de 10800 vehículos, cada arco tiene una longitud de 2000m, los arcos de 3600 vehículos tienen una velocidad de 80km/hr y los con capacidad de 1800 vehículos tienen una velocidad de 60km/hr.

Mediante la metodología propuesta se comprobó en las redes teóricas que a mayor cantidad de información, mayores los beneficios que obtienen los usuarios ya que con información ellos pueden elegir mejores rutas, observándose que las mayores diferencias se obtienen cuando ocurre un incidente que deja una capacidad residual del 1% de la vía existente.

Por otro lado se logra apreciar que la diseminación de información se hace más efectiva cuando los niveles de flujo vehicular en la red están cercanos a la congestión. Cuando se tienen pocas alternativas para poder desplazarse desde un origen a un destino, como lo fue el caso I de las redes teóricas, la diseminación de información no es muy efectiva para disminuir los costos de los usuarios.

En cuanto al análisis de la reasignación de los flujos vehiculares se observó que a medida que el incidente es de mayor envergadura los usuarios tienden a preferir las vías con menores categorías, es decir con una velocidad de flujo libre menor.

Las siguientes figuras muestran el consumo de combustible y el tiempo de viaje obtenidas en diversos casos de prueba.

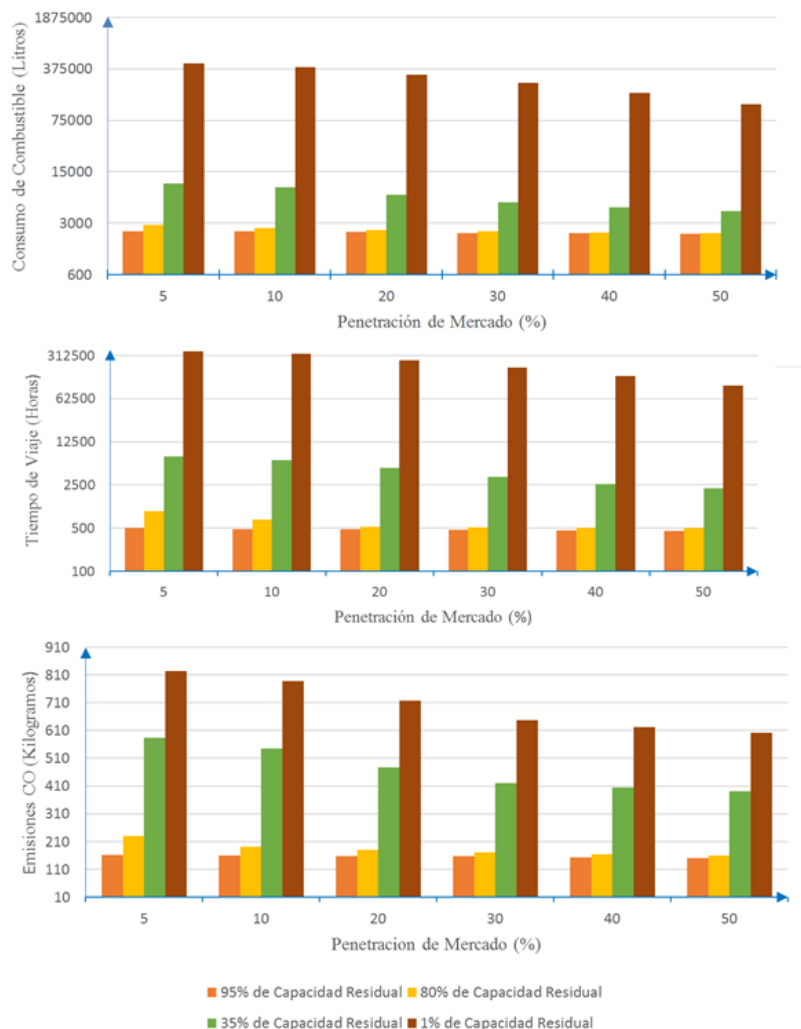


Figura 1: Variables de Servicio, Caso 3 (Demanda =90% de la capacidad)

3. CASO DE ESTUDIO

La aplicación a un caso de estudio consiste en la simulación del sistema de puentes sobre el río Bío Bío que unen Concepción con San Pedro de la Paz, para ello se generó un modelo en el cual se ingresó la capacidad real del sistema, velocidad, número de pistas, virajes permitidos, información de semáforos existentes y la matriz de viaje del área en análisis. La Figura 2 muestra el sistema modelado:

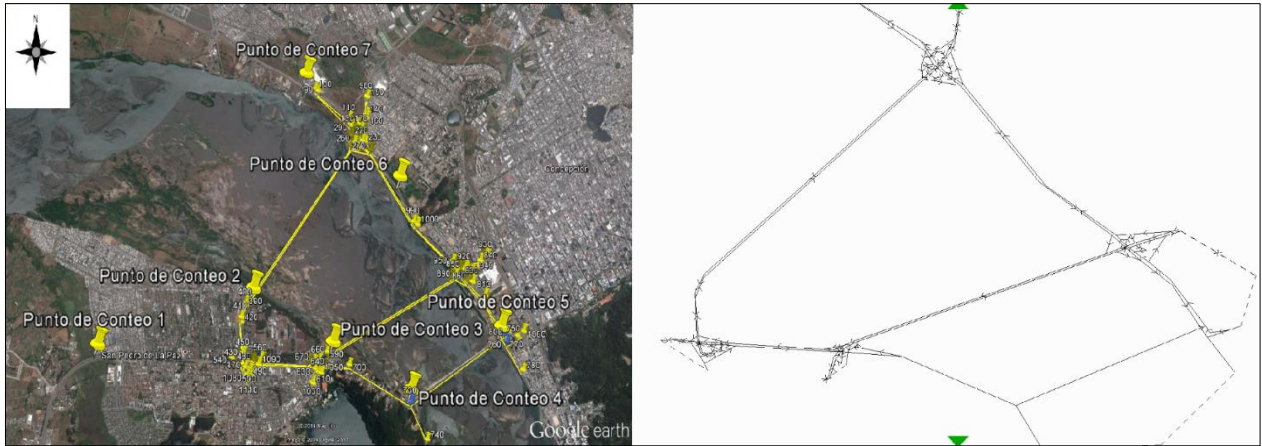


Figura 2: Red y Modelo de Transporte Caso de Estudio

3.1. Evaluación económica de beneficios por consumo, demoras

Finalmente se calcularon los beneficios de implementar el ITS en el área de análisis bajo diferentes escenarios de penetración de mercado. Para la estimación de los beneficios se compararon las diferencias entre los consumos de combustibles y el tiempo de viaje para ambos escenarios (con y sin diseminación). En una segunda instancia, dichas diferencias se valorizaron según el valor social del tiempo y del combustible respectivamente. Finalmente dado que se trata de eventos estocásticos dichas diferencias valoradas se multiplicaron por las probabilidades de ocurrencia de los distintos tipos de incidentes considerados. Dicho cálculo se ilustra en las ecuaciones 1 y 2.

$$Beneficio_{anual \% Info} = \sum P_{ocurrencia} * \Delta_{\% Info} \quad Ec. (1)$$

$$Beneficio_{anual \% Info} = P_{1\%} * \Delta_{\% Info} + P_{35\%} * \Delta_{\% Info} + P_{80\%} * \Delta_{\% Info} + P_{95\%} * \Delta_{\% Info} \quad Ec. (2)$$

Algunas consideraciones adicionales en la evaluación de los beneficios económicos son:

- Se consideran 8 años de operación posterior a la instalación del sistema de adquisición de datos y diseminación de información al usuario.
- Se considera que no hay aumento del flujo vehicular en los años posteriores a la implantación del sistema.
- Se considera un aumento en el costo por concepto de mantenimiento, herramientas de visualización y comunicaciones de un 5% anual.
- Se considera una tasa de descuento (r) para cálculo del TIR de un 6% (MDS-2013).
- Se consideran 200 días hábiles/año

- Se considera como flujo de caja atribuirle al proyecto los dos primeros años, pero para evitar la suma de valores residuales por concepto de equipamiento instalado, se asume que costo de mantención, herramientas de visualización y de comunicaciones a partir del año 2 es atribuible a presupuestos sectoriales para dichos años.
- Al año 0 no se consideran ahorros, ya que en este año solo se considera inversión.
- Beneficios del proyecto se establecen como los obtenidos por concepto de disminución de tiempos de viaje atribuibles al servicio de información a usuarios.
- Se estima el costo de implantación del sistema en 280 MM de pesos y un costo aproximado de mantención de 50MM de pesos (Unidad de Ciudades Inteligentes, MTT)

Los beneficios calculados para cada caso y para las distintas alternativas se muestran en Tabla 5:

Tabla 5 : Beneficios para las distintas alternativas

Porcentaje de Información	Beneficios (CLP)
5%	78.649.238
10%	127.422.083
20%	321.139.844
30%	422.462.855
40%	514.518.971
50%	549.275.612

(Fuente: Elaboración propia)

Es importante recalcar que para el caso de 1% de capacidad los beneficios están sobredimensionados debido a que en la realidad las personas visualizan un incidente importante, por ejemplo una cola importante de vehículos los usuarios evitaran esta ruta de manera natural, mientras que el modelo sigue considerando que eligen sus rutas tradicionales. Los parámetros de rentabilidad del proyecto se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6: Variables de decisión

VAN1 (año 1)*	\$ -31.552.247
VAN (año 8)	\$ 1.308.914.783
TRI (año 1)	98%
TIR (año 8)	100%
B/C	3.3
TIR > r	SI
TRI > r	SI

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las consecuencias que traen los diferentes cambios de capacidad en las vías debido a la presencia de incidentes de tráfico se traducen en importantes costos hacia los usuarios del sistema de transporte. Una forma de mitigación consiste en tener a disposición información oportuna de los distintos incidentes que se presenten en un área, lo cual potencialmente trae consigo beneficios económicos al sistema.

Sin importar la procedencia del incidente, los parámetros para definir un incidente de tránsito son frecuencia, duración y severidad. Además a medida que aumenta la severidad de los incidentes y el grado de saturación con que trabaja la red, el impacto de los incidentes de tránsito es considerablemente mayor.

Los simuladores Mesoscópicos, en este caso SATURN, permiten modelar y simular de buena forma las reducciones de capacidad de las pistas producto de la ocurrencia de incidentes. Si bien en SATURN no puede modelar explícitamente la diseminación de información, ni la reducción de capacidad por ocurrencia de accidentes, es posible mediante la metodología propuesta reproducir razonablemente el comportamiento de los usuarios en un escenario donde existe información relativa a incidentes de tráfico.

Mediante la metodología propuesta se logró comprobar tanto en las redes teóricas como en el caso de estudio que a mayor cantidad de información, mayores son los beneficios que obtienen los usuarios ya que con información ellos es posible elegir una ruta más óptima para su desplazamiento.

Por otro lado en las redes teóricas se logra apreciar que la diseminación de información se hace más efectiva cuando los niveles de flujo vehicular están cercanos a la congestión. Cuando se tienen pocas alternativas para poder desplazarse desde un origen a un destino, como lo fue el caso I de las redes teóricas, la diseminación de información no es muy efectiva para disminuir los costos de los usuarios. En cuanto al análisis de los flujos vehiculares se observó que a medida que el incidente es de mayor envergadura los usuarios tienden a preferir las vías con menores categorías, es decir con una velocidad de flujo libre menor.

Para el caso de análisis de beneficios, los ahorros más importantes están relacionados con el tiempo de viaje, el cual generalmente ronda alrededor del 70% de los beneficios totales. Esto se debe al valor bastante más alto del tiempo de viaje en comparación con el valor social del combustible. La alternativa con mayores beneficios correspondiente al 50% de los usuarios con acceso a información, lográndose ahorros de hasta \$1.164.822.802 y la que reporto un menor beneficio corresponde a la alternativa con 5% de información.

Como recomendación se puede decir que la implementación de un sistema inteligente de transporte en el Gran Concepción traería consigo beneficios para los usuarios, también se recomienda extender estos estudios a otras áreas del Gran Concepción y también extender los periodos en que se calculan las variables de salida para analizar la variabilidad de sus resultados y por último se recomienda utilizar datos más actualizados de severidad, frecuencia y duración de incidentes

Transportation Research Board. Highway Capacity Manual (HCM 2000). Transportation Research Board. Washington, DC, 2000.

Manual SATURN (2010), DICTUC, División de ingeniería de transporte

Alvarez, P., Hadi, M., Zhan, C., Using Intelligent Transportation Systems Data Archives for Traffic Simulation Applications, **Journal of the Transportation Research Board**, Washington, DC, 2010.

Reyes, K (2014). **Evaluación del impacto de congestión no recurrente en redes de transporte urbano.**

Jou Rong-Chang, Chen Ke-Hong (2013), A study of freeway drivers demand for real-time traffic information along main freeways an alternative routes, **Transportation Research Part C**, ScienceDirect.

Robin Lindsey, Terry Daniel, Eyran Gisches, Amnon Rapoport (2014), Pre-trip information and route-choce desicions whit stochastic travel conditions, **Transportation Research Part B**, ScienceDirect.

Camille Kamga M. Anil Yazıcı, Abhishek Singhal (2013). Implementation of interactive information kiosks at New York City transit facilities: Analysis of user utilization and lessons learned, **Transportation Research Part C**, ScienceDirect.

Dick Ettema, Harry Timmermans (2006), Costs of travel time uncertainty and benefits of travel time information, **Transportation Research Part C**, ScienceDirect.

Aristotelis Naniopoulos, Evangelos Bekiaris and Maria Panou (2014), Cost and benefits of information technology systems and their application in the infomobility services: the TRAVEL-GUIDE approach, Economics impacts of intelligent transportation systems.

Takahiko Kusakabe, Taku Sharyo, Yasuo Asakura (2012), Effects of traffic incident information on drivers route behaviour in urban expressway network 15th meeting of EURO working group on transportation.