

## TEXTO DE PRESENTACIÓN DE ARTÍCULO:

## Efecto del transporte público sobre la red de transporte de una ciudad en desarrollo

PRESENTADO EN:

## Encuentro Científico Internacional ECI invierno “Jaime Ávalos Sánchez y Alberto Benavides de la Quintana”

Auditorio de la Facultad de Ingeniería de Universidad Ricardo Palma  
Sesiones Ingeniería y Energía, Tecnología de Información y de la Comunicación  
Jueves 31 de Julio, 10:40 am

Buenos días,  
Este trabajo se ocupa del  
efecto del transporte público sobre la red de  
transporte de una ciudad en desarrollo

Se presentará,  
la introducción  
el método  
los datos  
el plan de simulaciones, las medidas de rendimiento,  
Y, los resultados y recomendaciones

# Introducción

El transporte público de las ciudades en desarrollo, SUFRÍA pérdidas porque el precio del pasaje estaba controlado a un nivel artificialmente bajo, y no podían comprar el número suficiente de vehículos para satisfacer a una ciudad en crecimiento.

POR ELLA, se recomendaron las medidas de, privatización y desregulación.

La privatización desmanteló las compañías estatales para eliminar los déficits.

La desregulación abrió el mercado a más operadores privados para que opere un suficiente número de vehículos.

Estas medidas tuvieron éxito, pero causaron congestión.

El objetivo de este trabajo es MEDIR TAL congestión.

## Método

El MÉTODO adecuado es, utilizar modelos de redes de transporte.

Son modelos que usan Programación No-Lineal para optimizar el equilibrio individual de los motoristas; de tal manera que, al asignar a todo motorista una ruta entre un Origen y un Destino, este motorista no podría CAMBIAR SU RUTA a menos que, se incremente su tiempo de viaje, es decir que, todo motorista utilizará la ruta más corta creando un estado de equilibrio.

Esta optimización se sujeta por ecuaciones ó RESTRICCIONES, algunas para identificar las avenidas que forman la ruta del motorista. Al final, se obtiene la CANTIDAD DE VEHÍCULOS QUE PASA POR CADA AVENIDA de la red.

Softwares comerciales, tal como Dyna-smart miden los efectos de reducción de la capacidad de transporte usando un enfoque mesoscópico; que combina el monitoreo de vehículos individuales, con una velocidad promedio obtenida de una función velocidad de densidad.

Acá se tiene la función VELOCIDAD  $v$  sub  $i$  de DENSIDAD  $k$  sub  $i$ , donde la proporción de densidades está elevada a la potencia Alfa, describiendo una curva decreciente y cóncava hacia arriba.

En casos de vías expresas, se tiene un tramo de velocidad constante donde hay baja densidad. Cuando la velocidad  $v$  es máxima es la velocidad de flujo libre, cuando la densidad  $k$  es mínima.

Por el otro lado, la velocidad  $v$  es mínima cuando la densidad  $k$  es máxima, es decir, la máxima cantidad de autos que puede acomodarse por milla por carril, lo que corresponde al nivel de saturación.

Acá, las funciones ajustadas para Lima. Por ejemplo, si se quiere una velocidad de flujo libre de 23 y una capacidad de 850, entonces, debe colocarse una función de Velocidad de densidad donde la velocidad de flujo libre sea de 35 y la capacidad sea de 1850 con un alfa de 1.27.

El software usa una técnica heurística para optimizar el modelo.

Primero, se asigna la demanda origen destino a la red, por los caminos más cortos, luego calcula las densidades y el tiempo de viaje de cada avenida, y así se vuelven a calcular los caminos más cortos. Luego se reasignan los flujos usando promedios sucesivos con datos del paso anterior y así se itera hasta que la diferencia en tiempo de viaje entre uno y otro paso sea menor que un número pequeño Epsilon. Esto se realiza para cada 5 minutos, y también calcula la ruta más corta para los vehículos que se encuentran en medio del viaje sobre la red. Al llegar a una diferencia menor que Epsilon, se procede a asignar los caminos más cortos a los usuarios en forma fija para ese período, y de allí se procesa el siguiente período, hasta alcanzar el final de la base de datos.

Los flujos de buses no son una variable del modelo.

La ruta, la frecuencia, como el número de vehículos, son decisiones administrativas.

Por lo tanto, la red de transporte se compone solamente de autos, taxis, y camiones, sobre la red vial.

## Datos.

Se utilizan los mismos datos que el Plan Maestro de Transporte Urbano de Lima y Callao, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, financiado por la cooperación japonesa.

Se usa la red vial actualizada a 2013.

Hay tres matrices Origen-Destino de 24 horas: de autos, de taxis y de camiones, y para los años base de 2005 y proyección de 2025

Ruta, frecuencia y tipo de vehículo se obtienen de bases de datos de más de 600 rutas de transporte público.

Los flujos de transporte público para cada avenida, se obtienen con el software EMME 3.

10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10

Acá, los resultados del EMME3.

Son flujos de buses muy elevados, pero la cifra que se va a utilizar es el flujo por carril, que afecta la capacidad de vía.

Por ejemplo, la Plaza Bolognesi tiene un flujo de buses de 1050 carros por carril por hora por dirección.

11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-

Acá, dos detalles sobre los datos de flujos de buses.

La frecuencia autorizada de la ruta podía estar por encima del número de vehículos disponibles.

Además, se utiliza el flujo de buses correspondiente a hora pico como si fuera para todas las 24 horas del día. Pero estos niveles son correctos hasta por un período de 13 horas, de 6am a 7pm.

Por lo tanto, HABRÁ una pequeña sobreestimación de los flujos de buses.

12-12-12-12-12-12-12-12-12-12-12-12-12-

Los “coldstarts” son los viajes que empiezan con el motor frío, incrementando el consumo de combustible durante los primeros minutos del viaje.

Hay estudios que han calculado entre 12% a 35% de viajes en autos que empiezan fríos.

Además, se tiene que el promedio de la longitud de los viajes se encuentra entre 4 a 12 km., por lo que solamente un porcentaje bajo de 5% a 14% de los viajes que empiezan fríos, terminan con el motor caliente. Este tramo en caliente se calcula por regresión lineal utilizando datos de viajes largos.

13-13-13-13-13-13-13-13-13-13-13-13-13-13

Plan de Simulaciones.

Los casos se definen por los flujos de buses.

El caso 1, no tiene flujos de buses sobre las avenidas.

El caso 2, baja la capacidad por carril de avenida en una cifra igual al flujo de buses. Si la capacidad es de 1800 autos por hora, y los flujos de buses llegan a 800, entonces, la capacidad cae hasta 1000.

El caso 3, baja el número de carriles de la avenida, en un carril cada vez que los flujos de buses suman 0.5 de la capacidad de un carril. El caso 3 es un máximo que ACOTA por arriba el efecto de los flujos de buses.

El caso 4 se trata del caso 2 con un carril menos separado para un sistema de buses rápidos, sobre una distancia de 24 kilómetros de avenidas y carreteras.

La comparación se realizará entre el caso 1 y el caso 2, dejando al caso 3 como tope máximo y al caso 4 como un análisis de sensibilidad de un BRT.

Se calculan las medidas de rendimiento.

Se recolecta la velocidad de 4 arterias notables.

14-14-14-14-14-14-14-14-14-14-14-14-14-14-14

## Medidas de rendimiento.

Las medidas primarias son tres:

Vehículos-horas, que es como un insumo necesario para realizar el transporte.

Vehículos-millas, que es el producto final del transporte.

Velocidad, que es la productividad de la red de transporte y la principal medida de rendimiento.

Las medidas secundarias son cuatro:

Costo de tiempo del usuario, que valora el tiempo del pasajero.

Costos operativos vehiculares, que son los costos monetarios por kilómetro, ó por hora.

Tiempo de viaje promedio Origen Destino, que mide accesibilidad.

Recaudación de peajes que es un indicativo comercial.

15-15-15-15-15-15-15-15-15-15-15-15-15-15

Las medidas adicionales son,  
el Consumo de combustible que tiene que ver con la  
sostenibilidad energética del país, y  
Emisiones de contaminante pm10, que tiene que ver  
con los costos de salud derivados de la emisión de  
material particulado al aire.

16-16

## Resultados:

En el año base 2005, el transporte público causa un incremento pequeño de 11% de vehículos-horas, lo cual es como un costo que sube. El incremento se considera pequeño toda vez que el transporte público sirve al 74% de los viajes motorizados.

Además, el transporte público causa, una reducción pequeña de 3% de vehículos-millas, lo cual es como menor producción adecuada.

Como resultado, el transporte público causa una reducción moderada de 12% de la velocidad de la red de transporte.

Para el año de proyección 2025, se sigue la misma tendencia, aunque las cifras sean un poco más elevadas debido al incremento del número de vehículos. Así, los vehículos-horas crecen en 12%, los vehículos-millas decrecen en 6%, y la velocidad decrece en 16%.

Hay la misma tendencia de cambios pequeños y moderados en los casos 3 y 4, aunque las cifras sean ligeramente más elevadas porque son más rigurosos con el transporte público.

Qué importancia tiene este resultado! pues, considérese el siguiente ejemplo: Reducir el 50% del transporte público, obtendrá un incremento muy pequeño de solo 6% de velocidad en la red de transporte. Es decir, que la política de reducir el transporte público para reducir la congestión es **INEFECTIVA Y DESPROPORCIONADA**. Por eso, se recomienda desestimar la política de reducir el número de unidades vehiculares de transporte público que tenga como objetivo reducir la congestión.

El transporte público causa un pequeño incremento de 9% de costos de tiempo del usuario.

En cambio, los costos operativos revelan un comportamiento indeterminado, entre positivo ó negativo.

Tanto el tiempo de viaje promedio de Origen-Destino, como la recaudación de peajes experimentan incrementos pequeños a causa del transporte público.

La misma tendencia de incrementos pequeños se nota para el año 2025, y también en los casos 3 y 4, con cifras ligeramente más elevadas.

18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18-18

Finalmente, los efectos del transporte público sobre el consumo de combustibles son indeterminados. Por lo que no se puede decir que el transporte público tenga un efecto sobre el consumo de combustible ni sobre la emisión de contaminante pm10 de autos, taxis, y camiones.

## ¿POR QUÉ?.

19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-19

Por la flexibilidad de los autos y taxis.

Porque pueden cambiar de ruta usando vías paralelas u otras alternativas.

Las nuevas rutas, son más largas pero más veloces, por lo que es indeterminado si consumen más combustible ó no.

La carga vehicular se va a diluir entre varias alternativas por lo que resultan efectos moderados ó pequeños.

20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20

En esta red, póngase como ejemplo que hay varias rutas alternas del Aeropuerto hasta Comas, diluyendo la carga vehicular entre varias cargas pequeñas.

Una puede tomar la Faucett, luego la Masías y cruzar la Panamericana por Carretera Chillón.

Otra puede tomar Tomás Valle y luego Universitaria.

Una tercera puede tomar Tomás Valle, Panamericana y luego Prolongación Tupac Amaru.

21-21-21-21-21-21-21-21-21-21-21-21-21-21-21-21

Aquí, se tiene el porcentaje de reducción de la velocidad causado por el transporte público durante las 24 horas del día.

La curva superior del 2005 muestra que, este efecto es de menos del 25% de reducción.

En la curva del 2025 se presentan efectos serios de más de 25% pero de menos de 30% de reducción de velocidad.

22-22-22-22-22-22-22-22-22-22-22-22-22-22-22-22

Aquí, se presenta el porcentaje de reducción de la velocidad de arterias notables a causa del transporte público.

De las 4 arterias, tan solo una, la Carretera Central se ve afectada en ciertos tramos, pero únicamente en el caso 4 donde se reduce un carril por dirección de la vía, que se separa para un sistema de buses rápidos.

Es evidente que, solamente por un par de minutos y durante las horas pico, el transporte público afecta muy seriamente la velocidad de la arteria, como se ve en los 3 picos del gráfico superior del 2005.

En el 2025 esta tendencia se acrecentará a cortos períodos de menos de 15 minutos, también en horas pico. En donde se registra una velocidad mínima que puede ser de 1 a 5 kilómetros por hora. ESTOS MINUTOS CORRESPONDEN A LA SITUACIÓN TÉCNICA DE “VÍA SATURADA” la cual se puede aliviar con las técnicas adecuadas.

23-23-23-23-23-23-23-23-23-23-23-23-23-23

En resumen, se ha visto que el transporte público ejerce un efecto moderado sobre la velocidad, un efecto pequeño sobre los costos de tiempo del usuario, y efectos indeterminados sobre el consumo de combustible y sobre la emisión de contaminantes.

24-24-24-24-24-24-24-24-24-24-24-24-24-24-24-24

También se ha visto que, el transporte público causará efectos serios de reducción de velocidad de entre 25% y 30% a ciertas horas del día.

Finalmente, en casos extremos de excepción, el transporte público causará muy serios efectos e incluso la saturación de la vía, en ciertas arterias, y por períodos de tiempo de menos de 15 minutos, durante las horas pico.

25-25-25-25-25-25-25-25-25-25-25-25-25-25-25

Por lo tanto, SE RECOMIENDA,

Desestimar la política de reducir el número de vehículos de transporte público que tenga la intención de reducir la congestión, porque es una política inefectiva, ya que no va a dar resultados apreciables.

Así pues, se recomienda que se apliquen otras medidas con mucha mayor prioridad con el fin de reducir la congestión en ciertas horas del día, en determinadas vías en situación de saturación, y por los minutos que sean necesarios.

26-26-26-26-26-26-26-26-26-26-26-26-26-26

Gracias por su atención!, y

Pueden hacer sus preguntas sobre este tema.