ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/293486764

Aplicación del Análisis de Conglomerados para la caracterización de factores temporales de tránsito para Costa Rica

Conference Paper · May 2014

CITATIONS
0

READS
14

3 authors, including:

Henry Hernandez-Vega
University of Costa Rica
16 PUBLICATIONS **1** CITATION

SEE PROFILE

Diana Jiménez-Romero
University of Costa Rica
7 PUBLICATIONS **0** CITATIONS

SEE PROFILE

All content following this page was uploaded by Henry Hernandez-Vega on 08 February 2016.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Congreso de Ingeniería Civil

CIC 2014

Reto del desarrollo de infraestructura y servicios

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE FACTORES TEMPORALES DE TRÁNSITO PARA COSTA RICA

Javier Magaña Cubillo
Henry Hernández Vega
Diana Jiménez Romero

CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, CIC 2014
SAN JOSÉ, COSTA RICA, DEL 20 AL 22 DE MAYO, 2014

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE FACTORES TEMPORALES DE TRÁNSITO PARA COSTA RICA

Javier Magaña Cubillo, Henry Hernández Vega, Diana Jiménez Romero

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
xa.magana@gmail.com

Introducción

La determinación precisa de los volúmenes vehiculares de tránsito, sus características particulares y el análisis de estadísticas de tránsito resulta de importancia trascendental para poder definir aspectos de planeamiento, diseño, mantenimiento y gestión de los sistemas de infraestructura vial. Para este fin, en Costa Rica se han realizado esfuerzos en la recopilación de datos por parte de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y otras entidades como el LanammeUCR.

El valor de estos datos se potencia a través de la caracterización de las variaciones temporales del tráfico, las cuales son utilizadas para el ajuste y la expansión de volúmenes vehiculares determinados a partir de conteos de corta duración. De esta forma se economizan recursos requeridos en aforos de larga duración y, de ser estos factores con la precisión adecuada, obtener aproximaciones respecto a los datos que se presentarían en la realidad.

En Costa Rica se cuenta con información detallada del tráfico en ciertos puntos de la red vial. Además, las variaciones de los volúmenes de tránsito tienden a ser rítmicas y repetitivas, y es esencial obtener un conocimiento de sus características para así programar aforos vehiculares y relacionar entre sí volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar. Dado lo anterior, es fundamental conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las diferentes horas del día, días de la semana y meses del año, así como también observar las variaciones de los volúmenes de tránsito por tipo de vehículo.

Para la adecuada caracterización de los factores de tránsito, dadas las diferencias de los patrones de tránsito, considerando las características geográficas y funcionales de los sitios de toma de datos, se deben definir grupos de caminos que posean mayores similitudes en sus patrones de variación temporal de tránsito. A partir de este agrupamiento, se determina el comportamiento medio del grupo, que es utilizado como la mejor medida de comportamiento de todos los caminos con características similares.

De esta manera, los factores determinados y su análisis proveerán una herramienta para la toma de decisiones en materia técnica y administrativa de planificación y gestión de carreteras, además de ser esenciales para el diseño de estructuras de pavimento.

Los resultados aquí mostrados corresponden a resultados preliminares y parciales de una investigación realizada en la Universidad de Costa Rica como parte de un proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Objetivos

El presente trabajo se enfoca en determinar y clasificar factores temporales de tránsito, tanto particular como de carga, a partir de la información de los aforos vehiculares en las estaciones de conteo permanente disponibles en el país y otras fuentes de información de utilidad. Para este objetivo, se aplicará una clasificación de los datos útiles de aforo de las fuentes anteriores para determinar y explicar patrones de comportamiento típicos, por medio de un análisis de conglomerados. Estos resultados que consideran las variaciones temporales del tránsito, podrían ser utilizados en la determinación de estadísticas de tránsito más precisas incidiendo directamente en la información utilizada para la toma de decisiones. Las estadísticas de tránsito sirven, por lo general, como insumo en estudios de ingeniería de transportes, para la gestión y planificación de carreteras, en el diseño de pavimentos, entre otros.

Los factores obtenidos son definidos para cuatro clasificaciones vehiculares, analizando las variaciones temporales respecto a hora del día y día de la semana. Posteriormente se a agrupan los sitios de conteo analizados de acuerdo a las similitudes en las características de sus patrones de tránsito diarios y semanales, mediante un análisis de conglomerados.

Finalmente, se determinan preliminarmente factores temporales de tránsito característicos para cada uno de los grupos, definiéndolos de acuerdo al análisis estadístico realizado y a algunas características geográficas y funcionales de la carretera en los sitios de estudio.

Fuentes de datos y muestreo

En Costa Rica, diversas entidades se han dado a la tarea de recolección de este tipo de datos, ya sea por parte de la Administración Central, por medio de distintas dependencias del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), tales como la Dirección de Planificación Sectorial, Consejo Nacional de Concesiones y el Centro de Control del Tránsito, o por otro tipo de entidades destinadas a la investigación, como el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica. Las fuentes de información analizadas para esta publicación se describen a continuación:

Dirección de Planificación Sectorial

La principal institución que realiza la recolección de datos clasificados de tránsito es la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, mediante su Unidad de Estudios de Tráfico e Investigación. Esta unidad cuenta con un sistema de estaciones temporales y permanentes distribuido sobre las rutas pavimentadas a lo largo de la Red Vial Nacional. De acuerdo con el Anuario de Información de Tránsito (MOPT, 2013), se tienen distribuidas por todo el país doce estaciones de conteo permanente (ver Figura 1), las cuales operan en rutas primarias y secundarias estratégicas (pavimentadas).

Para la recopilación de datos de tránsito, Unidad de Estudios de Tráfico e Investigación emplea dispositivos neumáticos de conteo, conocidos popularmente como "contadores de manguera", los cuáles son dispositivos simples, de relativo bajo costo y de fácil instalación. Cabe destacar que por mantenimiento, daños en los dispositivos neumáticos o vandalismo, existen periodos de tiempo significativos durante el año en que estas estaciones no son capaces de realizar aforos.

Consejo Nacional de Concesiones

La Ruta Nacional 27 actualmente se encuentra actualmente concesionada y a lo largo de la misma se instalaron una serie de estaciones permanentes de conteo. Para el caso de estas estaciones de conteo permanente, el equipo utilizado consiste en detectores que funcionan mediante espiras magnéticas.
De acuerdo con la información recibida la Dirección de Planificación Sectorial, se encuentran instaladas 12 estaciones de conteo permanente sobre diferentes tramos de la Ruta Nacional 27 y las radiales de Atenas y El Coyol de Alajuela, cuyos datos de tránsito fueron facilitados por la Dirección de Planificación Sectorial para efectos del presente estudio.

Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA - LanammeUCR

La Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT), del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR ha realizado desde el año 2013 una serie de aforos vehiculares (realizados también con equipo neumático) en diversos puntos del país como parte de una serie de estudios que tienen como fin la determinación de parámetros de carga para diseño estructural de pavimentos en Costa Rica. Estos aforos han sido realizados en 32 puntos distintos en todo el país, con duraciones de dos a 10 días. Pese a que no son aforos de larga duración, los mismos resultan útiles en la caracterización de patrones de tránsito en un área geográfica más amplia. Estos datos se utilizaron para los análisis de variación horaria y variación por día de la semana.

A partir de todas las fuentes de datos anteriores, se realizó una selección de las series de datos horarios que agruparan conteos de días completos (24 horas) durante el año 2012, en distintos periodos del año. En la Figura 1 se muestran las estaciones tomadas en cuenta para la presente investigación.

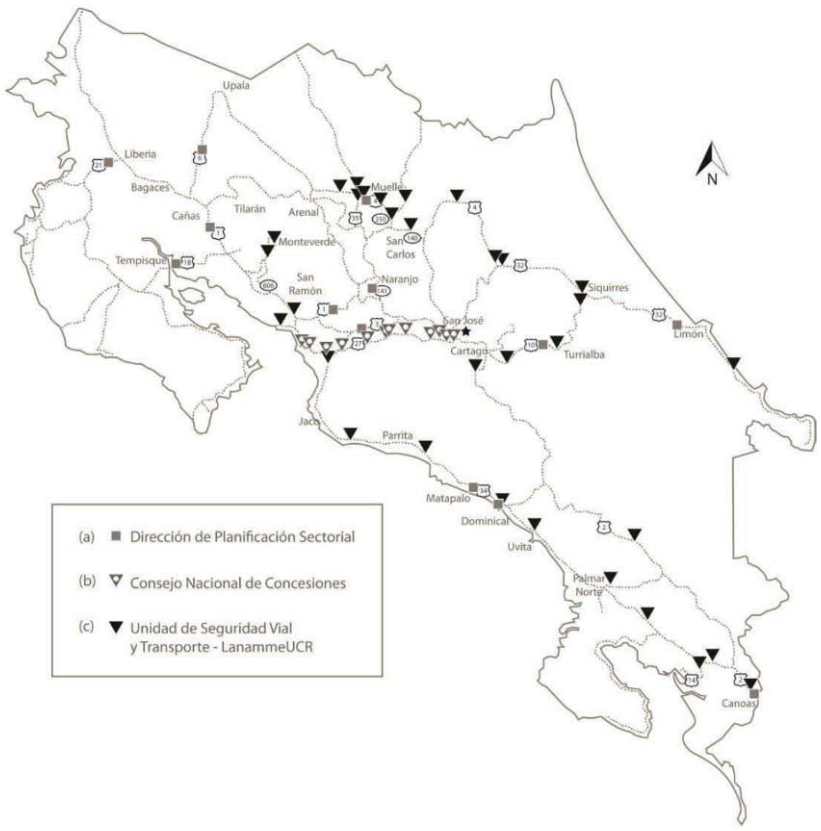

Figura 1.- Estaciones de conteo utilizadas.
FUENTE: El autor, a partir de datos de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT y de la USVT del LanammeUCR

Se valoró además la recopilación de datos de los sitios de conteo permanente del Centro de Control de Tránsito de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito del MOPT, los cuales son realizados por medio de sensores en cámaras de video en diferentes puntos del casco central de San José y zonas aledañas. Sin embargo, se descartó su utilización por discontinuidades en los aforos, a que mayoría de aforos son tomados de vías en un solo sentido y en el caso de calles en dos sentidos, no se obtuvieron datos para las dos direcciones en un mismo punto de estudio, entre otros problemas que imposibilitaban una adecuada caracterización de las zonas en las cuáles están ubicadas.

Metodología aplicada

El primer paso en la recopilación de datos, consistió en seleccionar únicamente los días que posean datos válidos durante las 24 horas de conteo en cada una de las estaciones, para de esta manera determinar todos factores horarios para cada serie de datos. Se determinaron las magnitudes de los volúmenes vehiculares divididos en periodos de una hora para cada día de conteo, de acuerdo a las recomendaciones realizadas por la *Federal Highway Administration* (FHWA) en su Guía de Monitoreo de Tráfico (FHWA, 2013).

Seguidamente, cada uno de los juegos de datos se segmentaron en cinco grupos (ver Figura 2): cuatro serán de acuerdo a los tipos de vehículo, para los cuales se propone la determinación de factores de tránsito considerando las recomendaciones en las Directrices para Programas de Datos de Tráfico de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2009), y un quinto grupo con la sumatoria de todo tipo de vehículo de la siguiente manera:

- **Tipo 1.** Vehículos de uso personal: Vehículos livianos y de carga liviana.
- **Tipo 2.** Buses.
- **Tipo 3.** Camiones unitarios: Vehículos de carga de una sola unidad.
- **Tipo 4.** Camiones con remolque: Incluirá los vehículos de carga de tres o más ejes y con un o más remolques.

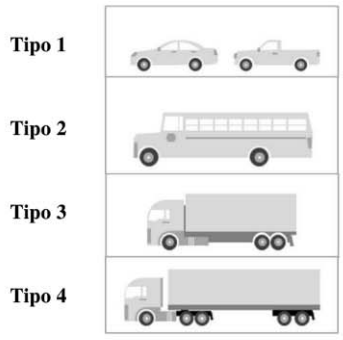

Figura 2.- Clasificación de vehículos utilizada en el estudio. FUENTE: El autor.

A partir de los datos agrupados, se procedió a la determinación de los factores temporales de tránsito, mediante los métodos establecidos en la Guía de Monitoreo de Tráfico (FHWA, 2013) y las Directrices para Programas de Datos de Tráfico (AASHTO, 2009), agrupando los mismos en vectores de factores horarios y diarios para cada una de las estaciones de conteo analizadas.

Cálculo de factores horarios

En el caso de los factores horarios, para cada hora, de cada día de aforo, se utilizó la siguiente fórmula para determinar el factor horario correspondiente:

$$FH_i = \frac{(VH_i)_P}{(VD)_P} \qquad [1]$$

En donde:

FH_i = Factor horario, representado por la proporción entre el volumen de tránsito de la hora "i" con respecto al volumen de tránsito diario en la estación permanente "P".

$(VH_i)_P$ = Volumen Horario de tránsito de la hora "i" en la estación permanente "P".

$(VD)_P$ = Volumen de Tránsito Diario en la estación permanente "P".

Una vez obtenidos dichos factores, estos se promediaron por día de la semana, para de esta manera obtener un vector con el patrón promedio de factores de cada día de la semana para cada mes.
Dado que el objetivo de este análisis es determinar patrones de días típicos en cada estación, para los factores horarios no se tomaron en cuenta días feriados ni periodos de vacaciones, dado que presentan patrones de tránsito anormales, como la Semana Santa y el periodo del 23 al 31 de diciembre.

Cálculo de factores diarios

Para la determinación de los factores, se calcularon los volúmenes diarios promedios para cada día de la semana, en cada mes del año. A partir de estos valores, se calculó el volumen promedio para cada mes del año, en cada uno de los sitios de aforo, calculados a partir de la siguiente fórmula:

$$FD_{n,m} = \frac{(TPDS_n)_{m,P}}{TPDA_{m,P}} \qquad [2]$$

En donde:

$FD_{n,m}$ = Factor Diario de tránsito para el día "n" de la semana, en el mes "m".

$(TPDS_n)_{m,P}$ = Volumen de Tránsito Promedio Diario para el día "n" de la semana, en el mes "m" en la estación permanente "P".

$TPDS_{m,P}$ = Volumen de Tránsito Promedio Diario Semanal para el mes "m" en la estación permanente "P".

De manera similar a los factores horarios, para cada mes aforado se obtuvo un vector con los factores para cada día de la semana, en cada sitio de conteo, estableciendo un patrón semanal del comportamiento vehicular para ese día.

Análisis de conglomerados

Posterior a la determinación de factores temporales, dado el gran número de vectores patrones de tránsito obtenidos, es necesario definir grupos de caminos que posean un comportamiento similar en sus patrones de variación temporal de tránsito. A partir de este agrupamiento, se determina el

comportamiento medio del grupo, utilizado como la mejor medida de comportamiento de todos los caminos del mismo (FHWA, 2013).

Uno de los métodos de agrupamiento de patrones más apropiado para el análisis de grandes cantidades de datos es el análisis de conglomerados (en inglés "cluster analysis"). Regher (2011), define este método como un procedimiento estadístico estándar en el que un algoritmo de agrupamiento jerárquico es utilizado para identificar objetos similares por las características que los mismos poseen. Básicamente, este método consiste en determinar la distancia euclidiana entre observaciones (o grupos de observaciones) y agrupar, mediante pasos sucesivos, a los que presenten más similitudes, es decir, posean menor distancia euclidiana entre sí (Soriguera & Rosas, 2011).

Para la presente investigación, se utilizó el proceso de agrupamiento de tipo jerárquico, utilizado en diversos estudios de ingeniería de tránsito y desarrollado por Ward (1963). Este se basa en que al inicio cada una de las *N* observaciones de datos disponibles compone un grupo. El primer paso reduce el número de grupos por medio de la selección y agrupamiento de los dos conjuntos que posean la menor distancia euclidiana, lo cual conlleva intrínsecamente un "error de agrupamiento", dado que los dos grupos presentan diferencias (Wyatt & Sharma, 1986). Los restantes *N-1* grupos son reducidos sucesivamente mediante este mismo procedimiento, hasta que todos los datos pertenecen a un solo grupo. Los errores asociados con las sucesivas etapas de agrupamiento indican el costo incremental de reducir el número de grupos en uno, incrementándose de tal modo que se llega a un punto en que el error de una sola etapa produce un error (o una distancia) incluso de mayor magnitud que la sumatoria del error de todas las etapas previas (Wyatt & Sharma, 1986). Debe ponerse especial cuidado en que este método no indica el punto óptimo en que se deben interrumpir las iteraciones, es decir, no indica cuál es el número de grupos óptimo en un muestra, sino que este número debe ser determinado a través de la observación de los grupos realizados y del criterio del analista.

Para el proceso de agrupamiento de los vectores de factores de tránsito determinados anteriormente, se utilizó un agrupamiento de tipo jerárquico (es decir, en un inicio cada observación formará un grupo por si sola), utilizando el método de Ward para calcular la distancia entre grupos, observándose que es el más recomendado para este tipo de análisis de acuerdo a la bibliografía consultada.

Determinación de días y meses "típicos"

Dado que el presente análisis buscó principalmente en la identificación de características más frecuentes para la determinación de factores, se utilizaron dos métodos distintos para pre-clasificar los vectores de factores horarios y los vectores de factores diarios, respectivamente, y de esta manera, obtener datos más representativos de cada una de las estaciones permanentes de conteo previo al análisis de conglomerados.

Para los vectores de variaciones horarias, se realizó un agrupamiento de los datos de cada una de las estaciones, mediante un análisis de conglomerados. De esta forma, se determinó el grupo que contuviera los días de la semana que contuvieran factores más típicos o repetitivos y, a partir del promedio de los valores de este grupo, se determinó el vector típico para cada estación de conteo. Este proceso se repitió para cada tipo de vehículos.

En la Figura 3 se ejemplifica el comportamiento para el total de vehículos en la estación PK+7100 en la Ruta Nacional 27, mediante grupos determinados con un análisis de conglomerados. En este caso, se tomó como patrón horario típico para el análisis el obtenido para los días de lunes a jueves.

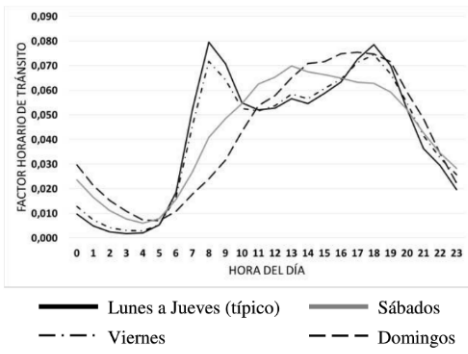

Figura 3.- Patrones horarios determinados para el total de vehículos de la estación PK+7100. FUENTE: El autor.

En cuanto a los vectores de factores diarios, para determinar los meses del año "típicos", se propuso descartar del análisis a los patrones de los meses que presentaran patrones anormales respecto al resto de los datos de una misma estación. Para esto, se definió un área de aceptación, teniendo como límite superior el valor promedio más 1,96 veces la desviación estándar y como límite inferior el valor promedio menos 1,96 veces la desviación estándar. El patrón semanal típico se calculó a partir del promedio de los meses dentro de esta área, para cada tipo de vehículo y estación.

Este proceso se ejemplifica por medio de la Figura 4 en donde se muestra el patrón diario para los doce meses del año en la estación PK+7100. El área en gris muestra la zona de patrones "típicos" (valor promedio ± 1,96 veces la desviación estándar), mientras los círculos muestran los patrones de meses que se salen de dicha zona.

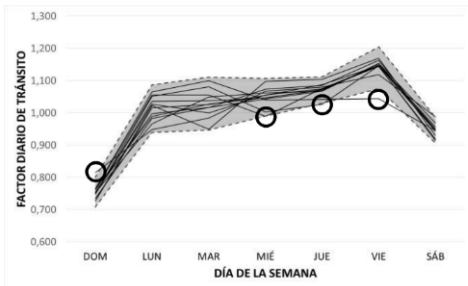

Figura 4.- Patrones diarios determinados para el total de vehículos de la estación PK+7100. Los círculos muestran las zonas en que algunos patrones sobrepasan los valores límite. FUENTE: El autor.

De esta manera, los días típicos por tipo de vehículo para los factores horarios en las estaciones fijas de conteo resultaron:

- **Sumatoria para todo tipo de vehículo:** martes a jueves.
- **Vehículos Tipo 1:** martes a jueves.
- **Vehículos Tipo 2:** lunes a viernes.
- **Vehículos Tipo 3:** lunes a viernes.
- **Vehículos Tipo 4:** lunes a viernes.

Similarmente, para el cálculo de patrones diarios, se determinó que los meses que presentaban patrones anormales, en la mayoría de las estaciones fueron los siguientes:

- **Sumatoria para todo tipo de vehículo:** enero, abril, diciembre.
- **Vehículos Tipo 1:** enero, abril, diciembre.
- **Vehículos Tipo 2:** enero, abril, diciembre.
- **Vehículos Tipo 3:** abril, diciembre.
- **Vehículos Tipo 4:** enero, abril, diciembre.

Este comportamiento de las estaciones es esperable, dado que en los meses de enero y diciembre se presentan periodos de vacaciones tanto en centros educativos como industrias. En el caso del mes de abril, la Semana Santa del año 2012 fue en dicho mes, resultando en un mes con variaciones atípicas a pesar de haberse eliminado los datos de la semana santa en el análisis preliminar. De esta manera, se obtuvo para cada uno de los puntos de aforo, un vector con su patrón de comportamiento horario típico y un vector con su comportamiento diario.

Posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados con el método de Ward para cada tipo de vehículo definido anteriormente, con la ayuda de un programa informático de análisis estadístico.

En este proceso se crean gráficas que muestran las distancias entre los grupos creados, denominadas dendogramas (ver Figura 5), en que se puede visualizar la variación entre grupos en las distintas etapas del proceso de agrupamiento. En los que cada línea horizontal representa un agrupamiento y el eje horizontal representa la distancia euclidiana promedio entre los miembros de cada grupo. A partir de estas gráficas, se puede elegir el número de conglomerados o grupos que se utilizará, en nuestro caso, cada agrupamiento determinará un conjunto de patrones de características similares.

Para ayudar a la selección del número óptimo de grupos, se elabora una gráfica con el número de grupos en función de la distancia media entre sus miembros, representado en la Figura 6. El número de grupos óptimo se logra en el rango para el cual una pequeña disminución de la cantidad de grupos conduce a un aumento significativo en la variación dentro de los mismos y un aumento del número de grupos conduce a una pequeña disminución en la variación dentro de los grupos. De acuerdo a la afirmación anterior, se observa que el número óptimo de grupos se encuentra en el sector demarcado en gris de la Figura 6, nótese que en este punto se da una variación en la pendiente de la curva trazada.

De esta manera se determinarán las tendencias de comportamiento horario y diario de las estaciones, definiendo grupos de estaciones con comportamientos similares.

A partir de la determinación de días y meses típicos para cada una de las estaciones analizadas se obtienen los días de la semana y meses del año en los cuales se pueden esperar patrones típicos de tránsito, con el fin de definir los días y meses más adecuados para la realización de algunos estudios de tránsito.

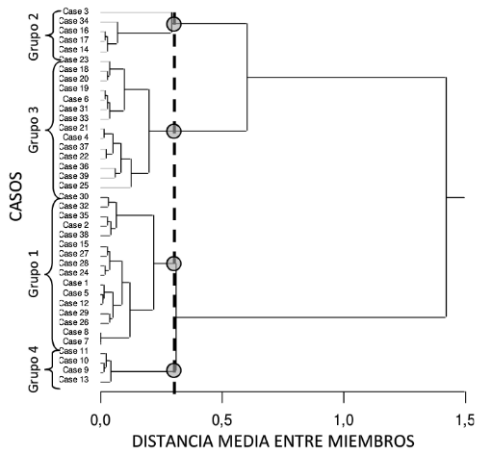

Figura 5.- Dendograma de los patrones de factores diarios para el total de vehículos. Los círculos representan los cuatro grupos seleccionados (ver Figura 14). FUENTE: El autor.

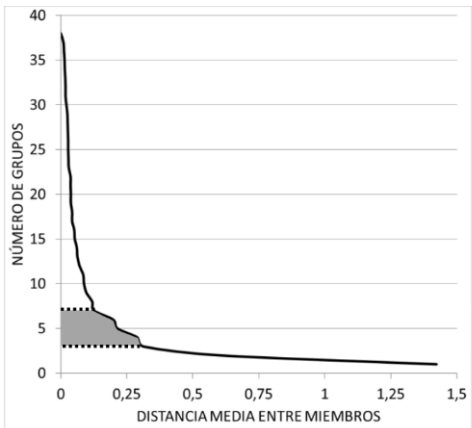

Figura 6.- Número de agrupamientos de los patrones de factores diarios para el total de vehículos y distancia media entre miembros de grupo en los sucesivos pasos del análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

Resultados

Al aplicar la metodología anteriormente descrita, se obtuvieron una serie de patrones horarios y diarios, es decir, con el comportamiento de tránsito típico para los distintos tipos de vehículos estudiados.

La presente investigación pretende brindar una guía para la utilización de factores temporales de tránsito específicos de acuerdo a las características de la vía. Los resultados presentados a continuación muestran un resumen de los patrones de transito obtenidos y una caracterización para cada caso.

Factores horarios de tránsito

En el caso de los factores horarios de tránsito, la Figura 8 muestra los resultados obtenidos para la sumatoria horaria para todo tipo de vehículo en cada una de las estaciones. En la Figura 8(a), se puede ver que pese a que existe una tendencia central, hay una dispersión en las series de tendencias diarias. En la Figura 8(b) se observa la clasificación en siete grupos de sitios distintos. Los patrones del grupo 1, 2 y 3 pese a que presentan formas similares, varían en el inicio y fin de las horas pico, o en el porcentaje de volumen presente en diversos periodos, por ejemplo, para la hora pico de la tarde, el grupo 3 presenta un volumen bastante mayor al presente en el grupo 1, De la misma manera, estos grupos presentan variaciones geográficas, por ejemplo en este caso en el grupo 1 se agrupan los sitios cercanos a la zona caribe del país; el grupo 2 representa a la mayoría de sitios de aforo en la vertiente del Pacífico y la zona sur; y el grupo 3 coincide con la mayoría de sitios en la zona norte.

Los grupos anteriores a su vez presentan un comportamiento distinto a las estaciones 4, 5 y 7 en esta misma figura, las cuales pertenecen a zonas más urbanas (Ruta Nacional 27 y las radiales Atenas y Coyol), con una definición más marcada de los periodos pico. En la Figura 7 se muestra la distribución geográfica de estos grupos.

Dado que la mayoría de vehículos automotores son de tipo liviano, los patrones para vehículos de Tipo 1 resultan similares a los patrones obtenidos para el total de vehículos. En la Figura 9 se muestran los patrones obtenidos para esta clasificación. En esta clasificación, se reunieron en el grupo 1 las estaciones ubicadas en el sector de la Ruta Nacional 34 (Carretera Costanera), en el grupo 2 los sectores de la zona norte y parte de la zona caribe, en el grupo 3 la zona norte y la zona sur del país y finalmente los tres últimos grupos corresponden a la Ruta Nacional 27, en su zona urbana, su zona rural y las radiales Coyol y Atenas cercanas a esta ruta.

Los vehículos de Tipo 2 (autobuses) tuvieron patrones de comportamiento menos definidos que la mayoría de los grupos estudiados, demostrando que los autobuses muestran un patrón muy variable durante el día. Se denota que en los grupos que poseen estaciones fuera del Área Metropolitana presentan su principal periodo pico en horas de la mañana con valores por hora entre un 7% y un 9% del volumen diario de autobuses. En caso contrario, en las estaciones urbanas de la Ruta Nacional No. 27 (agrupadas en el Grupo 5) se muestra un pico más suave predominante en la hora pico de la tarde con un valor cercano al 8% del volumen diario (ver Figura 10).

En cuanto a los vehículos de Tipo 3 (camiones unitarios) se determinaron 4 grupos bien definidos (ver Figura 11). El Grupo 1 el cual consiste de las estaciones en la zona norte y la zona sur en mostró un volumen horario muy constante, entre el 6% y 7% del volumen diario, para el período entre las 6:00 a.m. y las 2:00 p.m. El Grupo 2 presenta un crecimiento más suave en horas de la mañana y un volumen por hora más bajo que el Grupo 1. Este grupo está formado por las estaciones de la Ruta Nacional 10 y las del sector del Pacífico de nuestro país en la Rutas Nacionales 1 y 34. Los restantes patrones son los pertenecientes a la Ruta Nacional No. 27 en su zona urbana (Grupo 3) y su zona rural (Grupo 4) respectivamente.

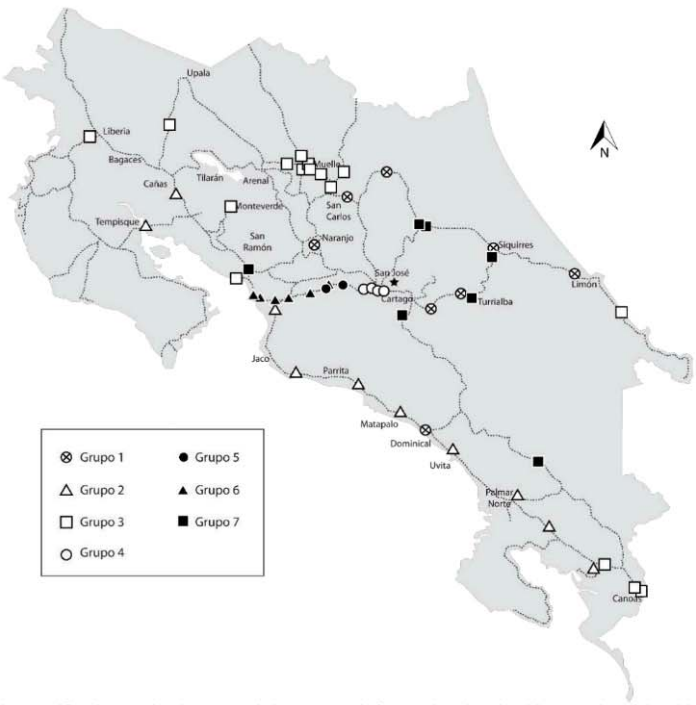

Figura 7. Ubicación geográfica de acuerdo a los grupos de los patrones de factores horarios obtenidos para el total de vehículos por medio del análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

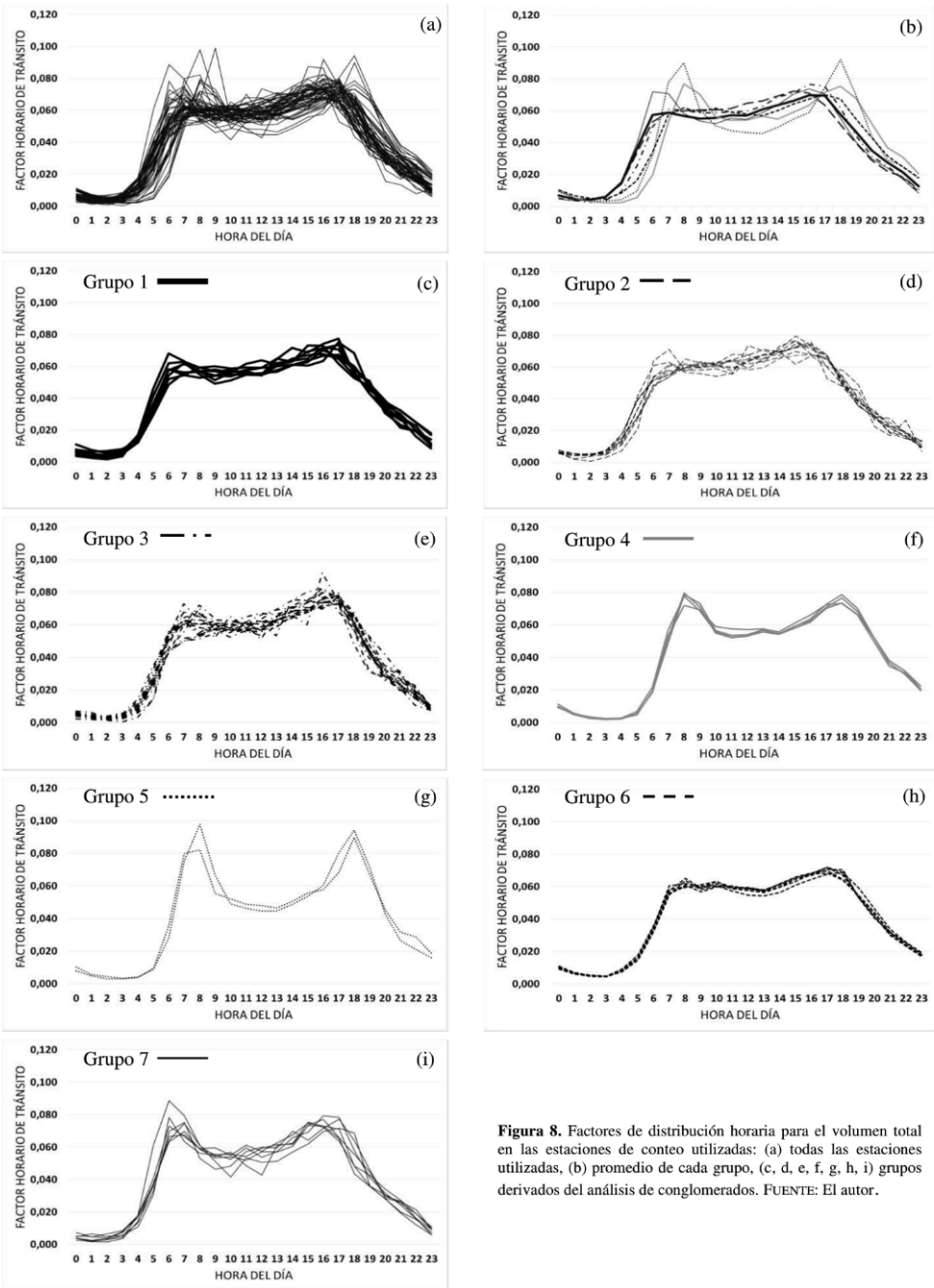

Figura 8. Factores de distribución horaria para el volumen total en las estaciones de conteo utilizadas: (a) todas las estaciones utilizadas, (b) promedio de cada grupo, (c, d, e, f, g, h, i) grupos derivados del análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

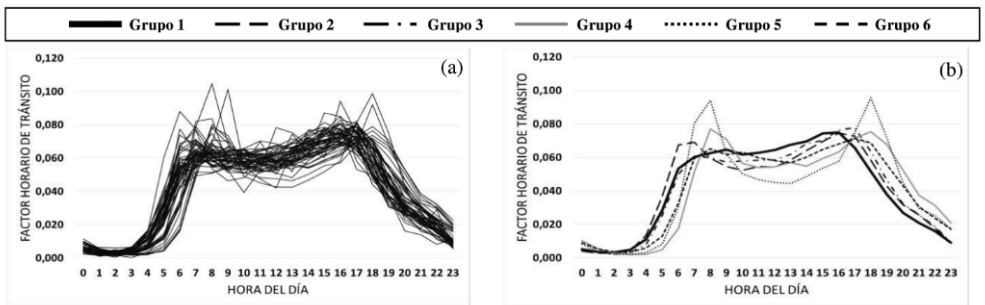

Figura 9. Factores de distribución horaria para los vehículos Tipo 1 en las estaciones de conteo utilizadas: (a) todas las estaciones utilizadas, (b) promedio de cada grupo en el análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

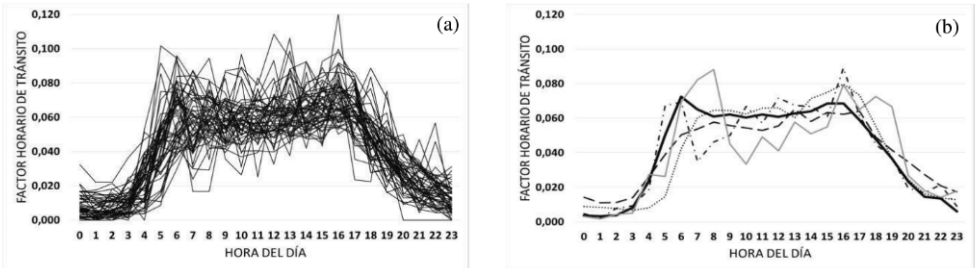

Figura 10. Factores de distribución horaria para los vehículos Tipo 2 en las estaciones de conteo utilizadas: (a) todas las estaciones utilizadas, (b) promedio de cada grupo en el análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

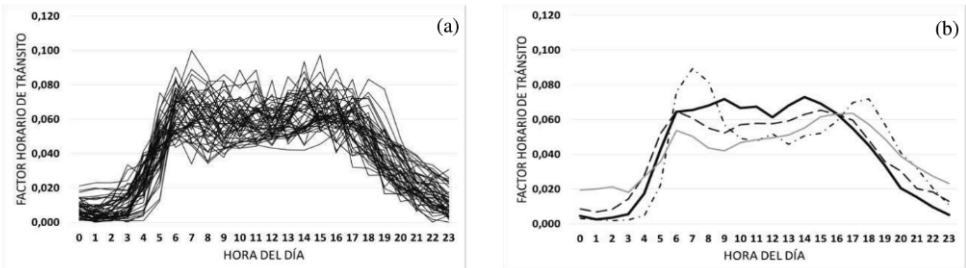

Figura 11. Factores de distribución horaria para los vehículos Tipo 3 en las estaciones de conteo utilizadas: (a) todas las estaciones utilizadas, (b) promedio de cada grupo en el análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

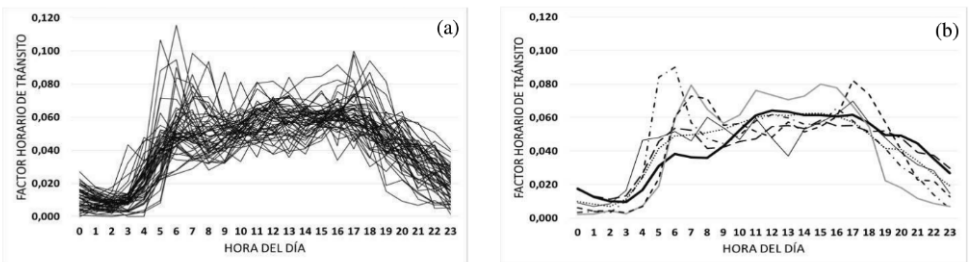

Figura 12. Factores de distribución horaria para los vehículos de Tipo 4 en las estaciones de conteo utilizadas: (a) todas las estaciones utilizadas, (b) promedio de cada grupo en el análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

Finalmente, se pueden observar que los vehículos Tipo 4 (camiones con remolque) presentan una variación mayor que los demás vehículos pesados, siendo definidos hasta 7 patrones distintos en las estaciones de conteo, diferenciando principalmente las estaciones cercanas al sector de los puertos de Caldera y Moín (Grupo 1), las de la zona de la Ruta Nacional 1, la Carretera Costanera y la zona de Sarapiquí (Grupo 2), los aforos realizados en la Ruta Nacional 10 (Grupo 3) y las estaciones urbanas de la Ruta Nacional 27 (Grupo 6). Estos resultados se pueden apreciar en la Figura 12. Estos patrones brindan datos respecto a la caracterización y comportamiento de las vías, indicando los horarios de mayor volumen para cada tipo vehículos, el comportamiento vial fuera de horas pico, los horarios de acuerdo a las características geográficas y funcionales de los sitios de estudio.

Factores diarios de tránsito

En la Figura 14 se muestran los patrones de variación diaria obtenidos para el total de volumen de tránsito en las estaciones de conteo analizadas, mientras en la Figura 13 se refleja su distribución geográfica. Para el total de vehículos se obtuvieron cuatro grupos de patrones de similares características. El Grupo 1 muestra un volumen vial constante de lunes a jueves, mostrando un aumento de volumen en el día viernes, mientras los días sábado y domingos presenta un volumen ligeramente menor que los días entre semana. Las estaciones de este grupo corresponden a zonas rurales cercanas a poblados de importancia, como Limón, Cañas, Liberia, Paso Canoas o Miramar, además de la zona de Muelle de San Carlos. El Grupo 2 muestra un comportamiento de zona netamente turística, con una gran cantidad de viajes los fines de semana, lo cual concuerda con la ubicación de las estaciones de la zona cercana al cruce de la Ruta Nacional 27 con la Ruta Nacional 34. El Grupo 3 también presenta un patrón de alto tránsito los días sábados y domingos, los cuales poseen las estaciones ubicadas en la zona costera del Pacífico Norte y Central, la Ruta Nacional 10 y la Ruta Nacional 36. Finalmente el Grupo 4 presenta bajos volúmenes los días sábados y domingos, lo cual se presenta en las estaciones en zonas urbanas de la Carretera San José-Caldera.

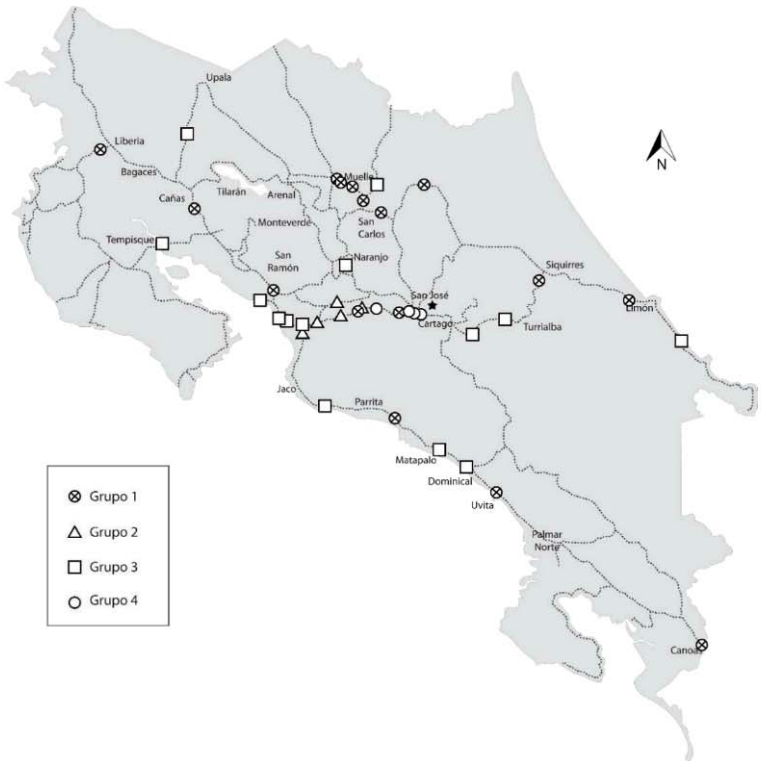

Figura 13. Ubicación geográfica de acuerdo a los grupos de los patrones de factores diarios obtenidos para el total de vehículos por medio del análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

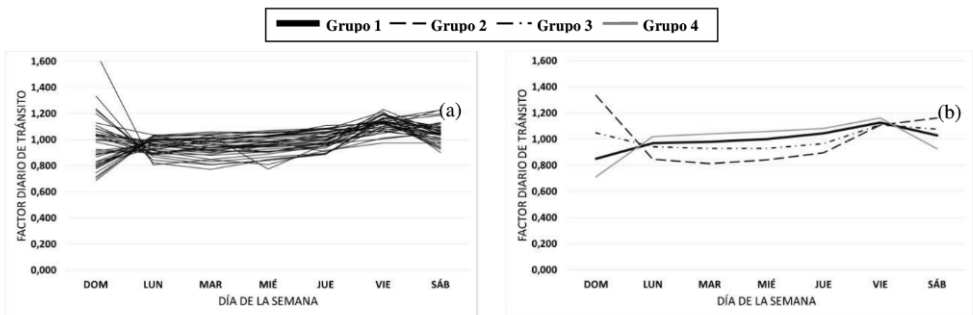

Figura 14. Factores de distribución diaria para el total de vehículos en las estaciones de conteo utilizadas: (a) todas las estaciones utilizadas, (b) promedio de cada grupo derivado del análisis de conglomerados. FUENTE: El autor.

En cuanto a los vehículos livianos, el comportamiento obtenido se puede apreciar en la Figura 15 (a). Se observa que los patrones resultan muy similares a los del volumen de tránsito total, con algunas pequeñas variaciones respecto al mismo. Para el Grupo 1, resultó conformado por las zonas del Caribe, la zona de Muelle de San Carlos y algunas estaciones del Pacífico Central. Los patrones Grupo 2, el cual presenta un aumento del volumen, cercano a 20% más del tránsito diario, en los días viernes y domingos, pertenecen a estaciones en la zona Pacífica del país, tanto del Pacífico Norte como Central. El Grupo 3 corresponde al resto de estaciones del MOPT ubicadas en zonas rurales, como Paso Canoas, Upala, Juan Viñas y finalmente los grupos 4 y 5 corresponden a las estaciones fijas sobre la Ruta 27 en sus sectores urbanos y rurales respectivamente. Nótese en el grupo 5 que los volúmenes en fines de semana son entre un 20% y un 40% mayor al tránsito promedio en esa zona.

De la misma manera que para el total de vehículos se determinaron y agruparon factores diarios de tránsito para los vehículos Tipo 2, Tipo 3 y Tipo 4, los cuales presentan un volumen notoriamente más bajo en los fines de semana. Los resultados para este análisis se muestran en la Figura 15 (b), 15(c) y 15(d).

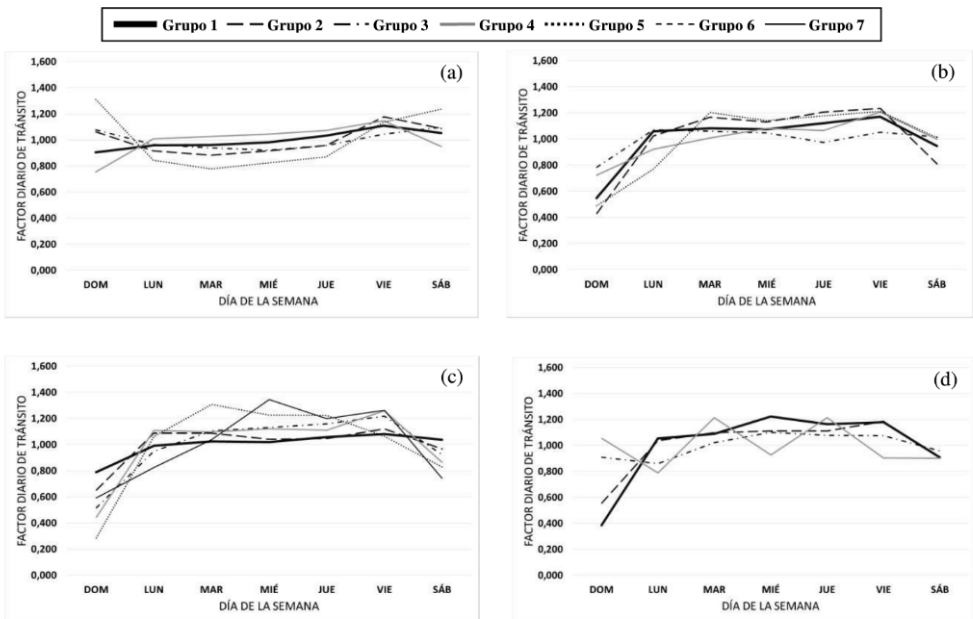

Figura 15. Promedios de cada grupo de factores de distribución diaria para los vehículos: (a) Tipo 1, (b) Tipo 2, (c) Tipo 3, (d) Tipo 4 en las estaciones de conteo utilizadas a partir del análisis de conglomerados.

Conclusiones

Se logró determinar y caracterizar factores temporales de tránsito para varios puntos de la red de nacional de carreteras.

Se realizó una clasificación mediante análisis de conglomerados de los patrones de variación horaria y diaria para aforos de larga duración realizados en Costa Rica. Así, se obtuvo un método para agrupamiento por rutas de características de tránsito similares, determinando factores temporales de tránsito para estos grupos. Algunas de los principales hallazgos de esta investigación fueron los siguientes:

- Se concluye que los días que presentan variaciones horarias típicas en su tránsito vehicular, esperadas para un día normal entre semana, en las distintas vías del país, son los días martes, miércoles y jueves tanto para el volumen total de la vía como para los vehículos livianos. En el caso de buses y vehículos de carga, presentan un comportamiento similar entre los días de lunes a viernes.
- La distribución horaria del tránsito durante los meses que presentan periodos de vacaciones y festividades (vacaciones escolares, época navideña y Semana Santa) presentan una variación en su comportamiento vehicular respecto a los otros meses del año.
- El uso de análisis de conglomerados resultó ser una herramienta apta para la clasificación de datos de tránsito en grupos con comportamientos vehiculares similares y se demostró su aplicación en el caso específico de Costa Rica.
- Los volúmenes de tránsito en las carreteras de Costa Rica presentan variaciones rítmicas y repetitivas para periodos de tiempo determinados, siendo posible establecer patrones típicos de comportamiento vehicular, tanto horarios como diarios.
- Las carreteras de zonas urbanas o semi-urbanas presentan importantes diferencias en su patrón de comportamiento vehicular respecto a las rutas en zonas rurales. Las rutas urbanas en la mayoría de los casos presentaron un comportamiento vial muy diferenciado de las demás rutas, para todas las clasificaciones vehiculares con excepción de los vehículos con remolque.
- De la misma manera, se pudo apreciar las diferencias entre los patrones en carreteras cercanas a zonas turísticas, los cuales presentaban un aumento del flujo vehicular durante los fines de semana.
- Se pudo apreciar que los patrones para los volúmenes de tránsito de camiones con remolque, no poseen un comportamiento constante en sus patrones horarios y diarios, sino que también presentan valles y picos como el resto del tránsito. Esto indica que en nuestro país no se da la distribución temporal típica de transporte denominado *"through trucks"* o relacionadas con viajes de larga distancia, los cuales generalmente no presentan restricciones en cuanto a hora del día o día de la semana y han sido documentadas en literatura norteamericana, por ejemplo la Guía de Monitoreo de Tráfico (FHWA, 2013).
- La variación del tránsito de los vehículos pesados por día de la semana es diferente de la variación de los vehículos livianos.
- Queda demostrado el reducido número de estaciones de conteo vehicular existentes en el país, las cuales no tienen una distribución geográfica amplia. Se recomienda a la Administración del país la colocación de un mayor número de estaciones de conteo vehicular a lo largo de la Red Vial Nacional, además de destinar más recursos tanto al monitoreo como al análisis de los datos de tránsito obtenidos por las mismas, para de esta manera obtener estadísticas de tránsito de mayor utilidad, en un mayor número de sitios en el país.
- Es necesario un mayor análisis de los patrones de tránsito obtenidos en el presente trabajo, utilizando un análisis desde un punto de vista híbrido, tomando en cuenta un mayor número de factores al evaluar los grupos de estaciones obtenidos, como por ejemplo: tránsito promedio diario anual, tipos de vehículos que utilizan la ruta, tipo de ruta (nacional, cantonal, urbana, rural, etcétera) actividades económicas servidas por la ruta en análisis (turismo, industria, agricultura, etcétera), uso del suelo, cercanía de terminales portuarias o zonas fronterizas, entre otras.

Ampliando la información concerniente a las estaciones de tránsito utilizadas, se podrá analizar estos grupos de patrones de tránsito desde un punto de vista híbrido. Este enfoque toma en cuenta tres elementos: análisis estadístico, conocimiento de la red vial y patrones de viaje y aplicación de criterio ingenieril. Estos análisis se encuentran actualmente contemplados dentro del cronograma del proyecto de investigación y se espera complementen los resultados aquí mostrados.

De esta manera, tomando una carretera específica, a partir de sus patrones de tránsito y su caracterización geográfica y funcional, se encontraría el grupo con el cual se tienen más similitudes, y a partir de esto se podrán aplicar los factores horarios y diarios de dicho grupo, aplicando factores de ajuste para generar así su tránsito promedio diario para diferentes tipos de vehículos, a partir de conteos de corta duración.

La determinación de estadísticas de tránsito precisas es vital para la toma de decisiones en el desarrollo de políticas de planificación y gestión de la infraestructura vial. La presente investigación muestra una metodología adecuada para una mejor caracterización de los volúmenes de tránsito del país.

Agradecimiento

Se agradece a la Unidad de Estudios de Tráfico e Investigación de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, especialmente al Ing. Juan Carlos Zúñiga Blanco, por la toda la información suministrada y su valiosa ayuda y disponibilidad para atender consultas relacionadas a la presente investigación.

Referencias

AASHTO. (2009). *AASHTO Guidelines for traffic programs [Directrices de AASHTO para programas de datos de tráfico]* (2ª ed.). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

FHWA. (2013). *Traffic monitoring guide [Guía de monitoreo de tráfico].* Washington D.C.: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Hernández, H. (2013). Programas de monitoreo de tránsito.

Boletín técnico LANAMME-PITRA, 4(40).

MOPT. (2013). Anuario de información de Tránsito 2013. Dirección de Planificación Sectorial, Unidad de Gestión de Carreteras. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Obtenido de:

http://www.mopt.go.cr/planificacion/carreteras/AnuarioTr%C3%A1nsito2013.pdf

Regehr, J. (2011). Understanding and anticipating truck fleet mix characteristics for mechanical-empirical pavement design [Comprendiendo y analizando las características del flujo de camiones para el diseño de pavimentos mecanistico-empírico]. *Transportation Research Board 2011 Annual Meeting*. Washington D.C.: Transportation Research Board.

Soriguera, F., & Rosas, D. (2012). Deriving Traffic Demand Patterns from Historical Data [Derivación de patrones de demanda de tránsito por medio de datos históricos]. *Transportation Research Board 2012 Annual Meeting*. Washington D.C.: Transportation Research Board.

Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function [Agrupamiento jerárquico para optimizar una función objetivo]. *Journal of the American Statistical Association, 58*(301), 236-244.

Wyatt, J., & Sharma, S. (1986). Classification of Saskatchewan highways according to type of road use [Clasificación de las autopistas de Saskatchewan de acuerdo al tipo de uso del camino]. *Canadian Journal of Civil Engineering, 13*(1), 53-58.

View publication stats