

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DETERMINACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE CICLO DE
CONDUCCIÓN ADECUADA PARA LIMA METROPOLITANA**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTOR:

Jonatan Sebastian Basagoitia Vidal

ASESOR:

Julio César Cuisano Egúsqiza

Lima, diciembre del 2019

Resumen

En la actualidad existen dos problemas significativos que aquejan a Lima Metropolitana: la contaminación y el tráfico; ambos fuertemente relacionados al uso de vehículos livianos como medio de transporte. El presente trabajo busca determinar una metodología de construcción de ciclo de conducción para vehículos livianos adecuada para este centro urbano. Un ciclo de conducción es un instrumento que representa las condiciones de conducción de un lugar. Como tal nos da características de interés de la dinámica de conducción de Lima y, por ende, del tráfico. Además, al ser repetible, puede usarse para predecir el comportamiento que tendrá un vehículo en Lima y así el consumo y las emisiones vehiculares que tendría. De esta forma, facilitaría la comprensión, análisis y eventual solución o atenuación de los problemas mencionados. Con este fin, se analizaron las metodologías más utilizadas para construir ciclos de conducción y las características de la aplicación de cada una, para así poder ver cuáles son más o menos adecuadas para el caso particular de Lima Metropolitana. Además, se compararon las metodologías utilizadas en regiones similares a Lima Metropolitana, caracterizada por tener un tráfico muy denso. Finalmente, se concluyó que utilizar la metodología de microviajes (microtrips) sería un buen punto de partida para desarrollar un ciclo de conducción de esta región, dada su simplicidad de aplicación y la capacidad de captar el comportamiento de conducción en hora punta (por las paradas constantes), que es característico de Lima en la mayor parte del tiempo. Además, al comparar con otras ciudades con tráfico denso y de países en vías de desarrollo como el Perú, vemos que esta metodología es la más utilizada.

Contenido

Resumen.....	i
Contenido.....	ii
Índice de tablas.....	iii
Índice de Figuras.....	iii
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. Marco teórico.....	4
3.1. Ciclo de conducción.....	4
3.2. Determinación de un ciclo de conducción.....	5
4. Metodología.....	6
4.1. Análisis de las metodologías utilizadas en la construcción de ciclos de conducción.....	6
4.2. Análisis comparativo de metodologías utilizadas en regiones similares a Lima Metropolitana.....	9
5. Resultados.....	10
5.1. Resultados del análisis de metodologías.....	10
5.2. Resultados del análisis comparativo.....	11
Conclusiones.....	13
Bibliografía.....	15

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1 Metodologías utilizadas para ciclos de conducción construidos en ciudades similares a Lima	12

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1 Percepción de los problemas más importantes de Lima Metropolitana.....	2



1. Introducción

Integrada por los centros urbanos de Lima y Callao, Lima Metropolitana es el área poblada más grande, extensa y poblada del Perú, con 9 903 935 habitantes (2015), que representan aproximadamente el 32% de la población peruana (Observatorio Urbano, s.f.). Como principal centro urbano del país, esta región experimenta diversos fenómenos sociales y problemáticas particulares de la misma.

En la encuesta Lima Cómo Vamos 2018: IX Informe de percepción sobre calidad de vida en Lima y Callao (Vida *et al.*, 2018), se preguntó a la muestra de ciudadanos de Lima Metropolitana sobre lo que ellos consideraban los principales problemas de la ciudad. En la **Figura 1**, podemos observar los resultados para esta pregunta obtenidos en dicha encuesta.

Vemos que de los 5 primeros, tanto el transporte público como la contaminación ambiental pueden relacionarse al sistema de transporte de Lima Metropolitana. En particular, se estima que el 70% de la contaminación del aire en esta región se debe al parque automotor y la calidad de combustibles disponibles en el mercado (RPP Noticias, 2017).

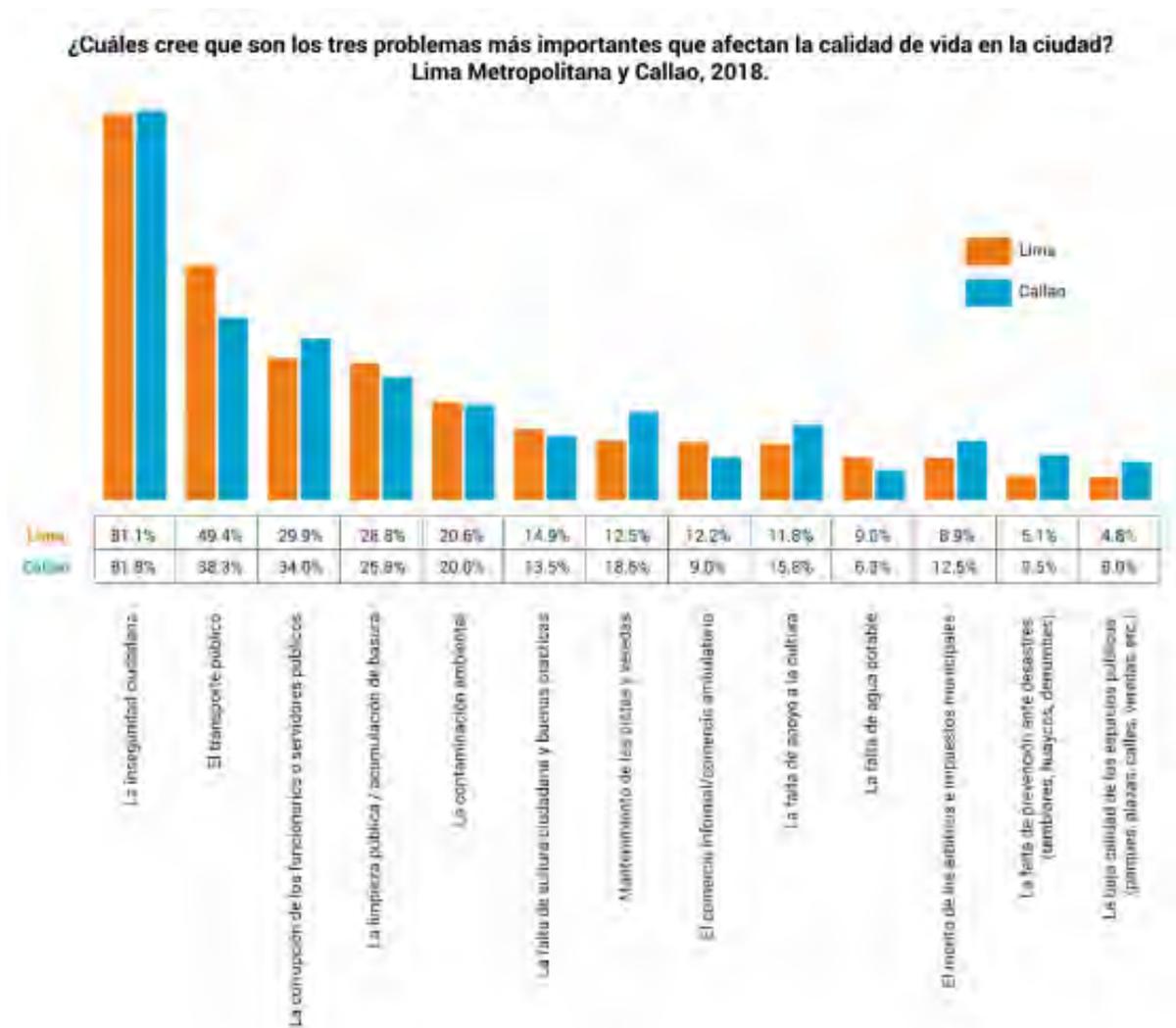


Figura 1. Percepción de los problemas más importantes en Lima Metropolitana.

Tomado de Vida *et al.* (2018) Lima Cómo Vamos 2018: IX Informe de percepción sobre calidad de vida en Lima y Callao.

La problemática descrita está presente en todo el mundo, principalmente debido al uso generalizado de automóviles con motores de combustión interna. Además, se ve particularmente aumentada con el fenómeno de un parque automotor que crece a un ritmo que la infraestructura vial no puede mantener (especialmente en países en vías de desarrollo como el Perú). Una medida que busca captar las características de la infraestructura vial y su influencia en el comportamiento del tránsito de los vehículos son los ciclos de conducción. Estos consisten en un perfil de velocidades determinado estadísticamente

con el fin de que representen las condiciones de manejo en una región determinada. De este modo, se pueden evaluar tanto condiciones cinemáticas de tráfico (velocidades promedio, paradas, tiempo en ralentí), así como condiciones más particulares del comportamiento de un vehículo, como su consumo de combustible esperado en dicha región, o sus emisiones. Este instrumento da paso a pruebas estandarizadas de evaluación de emisiones, homologaciones, rendimientos, entre otros.

En el presente trabajo se busca determinar cuál podría ser la metodología de construcción de ciclos de conducción más adecuada para el caso particular de Lima Metropolitana.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Determinar un método de construcción de ciclo de conducción de vehículos livianos adecuado a las características de conducción en Lima Metropolitana

Es necesario destacar que el presente trabajo no está enfocado en toda la metodología para obtener un ciclo de conducción, normalmente definida por una recolección de datos, la construcción del ciclo y la evaluación del ciclo; sino que solo está orientado al método, normalmente estadístico, utilizado para la construcción del ciclo.

2.2. Objetivos específicos

- Analizar los métodos más comunes de construcción de ciclos de conducción y la naturaleza de su aplicación.
- Determinar las características de tránsito de Lima Metropolitana que sean de interés para escoger un método de construcción de ciclo.

- Analizar los métodos usados en ciclos de ciudades con condiciones similares a Lima Metropolitana.
- Analizar conjuntamente la naturaleza de los métodos de construcción y la comparación de los métodos utilizados en centros urbanos similares a Lima Metropolitana, para así determinar el método más adecuado de construcción para esta área.

3. Marco teórico

Con el fin de facilitar la comprensión del presente trabajo, se definieron algunos conceptos importantes; los cuales se presentan a continuación.

3.1. Ciclo de conducción

Si bien ya se ha dado una definición general de ciclo de conducción, en el libro *Driving and Engine Cycles*, (Giakoumis, 2017) se da un concepto más completo, donde un ciclo de conducción se define como una secuencia de puntos de evaluación, caracterizados por una velocidad determinada por la que debe pasar el vehículo en cuestión, o por puntos de velocidad de giro/torque por los que debe pasar el motor del vehículo a evaluar. Estos se efectúan en dinamómetros de chasis y dinamómetros de motor, respectivamente. Para realizar pruebas en vehículos livianos, lo más común es utilizar ciclos en forma de perfiles de velocidades, pues estos permiten representar comportamientos más relacionados a la conducción que un perfil de velocidad de giro/torque, los cuales se usan más para vehículos pesados. Es en los ciclos de dinamómetro de chasis en los que se centra el presente trabajo.

La importancia de los ciclos de conducción radica en que permiten evaluar de forma estandarizada el comportamiento de un vehículo. Además, al obtenerse con criterios estadísticos, representan la dinámica de conducción de la región para la que se construyeron, con lo que al simularse se puede predecir con cierta confianza cómo es que se comportará un vehículo en dicho lugar. En base a estas ventajas es que se realizan las pruebas FTP-75 o la simulación del NEDC, que se usan como estándares para evaluar

las emisiones de los vehículos, en Estados Unidos y Europa, respectivamente. Estas consisten en perfiles de velocidad obtenidos de recorridos en dichas regiones que luego se seleccionaron y estandarizaron como prueba normalizada.

3.2. Determinación de un ciclo de conducción

Para la obtención de un ciclo de conducción, existen una serie de fases desde la recolección de la data real de manejo en la región de interés hasta que se obtiene finalmente el perfil de velocidades al que se toma como ciclo de conducción final. Si bien se puede encontrar en la literatura que algunos autores consideran algunas etapas más, en general todos consideran las fases mencionadas anteriormente: recolección de datos, construcción del ciclo y evaluación del mismo.

La recolección de datos consiste en instrumentar un vehículo de forma que se pueda tener su velocidad instantánea, para que luego este recorra la región de interés, ya sea siguiendo otro vehículo, manejando de forma aleatoria o con una ruta predeterminada. Luego sigue la fase de construcción del ciclo, donde se tratan los datos obtenidos en la fase anterior y, en base a un criterio de división y a distintos criterios estadísticos, se arma un ciclo de conducción, normalmente uniendo fragmentos de conducción definidos por el criterio de división. Los criterios a utilizar se escogen en base a las características de la región de interés, el propósito del ciclo, etc. El presente trabajo está orientado a esta fase en particular, pues busca seleccionar un método apropiado para la construcción de un ciclo de conducción (con fines tanto de análisis de emisiones y consumo como características de conducción) para Lima Metropolitana. Finalmente, se evalúa el nivel de representatividad del ciclo obtenido de la conducción en la región. Esto se consigue obteniendo parámetros de evaluación preseleccionados (como velocidad máxima, velocidad promedio, aceleración promedio, tiempo en ralentí, tiempo en cruce, entre otros) del perfil de velocidades del ciclo de conducción y los mismos parámetros obtenidos del total de datos de conducción de la fase de recolección. A más cercanos sean los parámetros del ciclo y los parámetros del total de datos, se considera que este es más representativo.

4. Metodología

La metodología seguida en la realización de este trabajo consistió principalmente de dos análisis separados, cuyos resultados fueron luego ponderados. Primero se realizó un análisis de las características de aplicación de las metodologías más comunes de construcción de ciclos, con el fin de ver la posibilidad de realizarse en las condiciones de tránsito de Lima Metropolitana. Luego, se analizó comparativamente los métodos de construcción utilizados para ciclos de conducción en regiones con características similares a Lima Metropolitana. Finalmente, se evaluaron de forma conjunta los análisis anteriores y se obtuvieron las conclusiones finales del presente trabajo.

4.1. Análisis de las metodologías utilizadas en la construcción de ciclos de conducción

Para este análisis se consideraron las metodologías descritas por Giakoumis (2017) y por Galgamuwa, Perera y Bandara (2015): construcción por microviajes (microtrips), basada en segmentos, basada en clasificación de patrones y construcción estocástica modal.

La metodología de los microtrips se caracteriza por dividir los datos de conducción real en segmentos separados por paradas consecutivas, llamadas microviajes o microtrips. Es decir, que la unidad de división es el segmento de conducción entre el momento en que se alcanza la velocidad cero y el momento en que se vuelve a alcanzar la velocidad cero. Estos microtrips son luego seleccionados de forma aleatoria o cuasialeatoria y se encadenan para formar ciclos candidatos, los que son luego seleccionados de acuerdo a parámetros preestablecidos de evaluación. Giakomis (2017) menciona que la limitación de este método es la existencia de paradas, pues para algunos tipos de conducción no hay paradas frecuentes, lo que hace que los microtrips sean muy largos. Galgamuwa *et al.* (2015) recomiendan el uso de esta metodología para regiones donde la construcción de ciclos de conducción esté en una etapa preliminar, destacando que de haber muchas paradas, se puede conseguir una buena representatividad de las emisiones.

Por otro lado, el método de construcción basado en segmentos es muy similar al de microtrips; pero suma al criterio para las unidades de división el tipo de vía y el nivel de la superficie donde se conduce. El procedimiento de armado y evaluación de los ciclos candidatos se da de forma similar a la aplicada en la metodología de microtrips, con la consideración de que no todos los segmentos empiezan y terminan en velocidad cero, por lo que la unión de aquellos que no debe darse cuidadosamente emparejando la velocidad final del primero y la inicial del segundo, con el fin de que al simularlo se tenga una conducción relativamente realista. Galgamuwa *et al.* (2015) menciona que esta metodología está más ligada a ciclos con fines de ingeniería de tránsito que a con fines de estudio de emisiones, así como que requieren información de las vías en las que se circula. Para estudios de emisiones, recomienda su uso para casos sin muchas paradas con cambios suaves en las condiciones de manejo.

El tercer método abordado es el de clasificación de patrones, donde los ciclos candidatos se construyen uniendo “secuencias cinemáticas”. Inicialmente los datos de conducción son normalmente divididos en clases heterogéneas, normalmente referentes al tipo de vía en el que se circula. Luego, los viajes de cada una se entienden como una serie de “secuencias cinemáticas”, los cuales son definidos como patrones que aparecen repetitivamente en los trayectos de cada clase, caracterizados por parámetros determinados (como duración, velocidad promedio, aceleración promedio, etc.) similares. Una vez determinadas las secuencias cinemáticas para cada clase, se determina la probabilidad de que dichas secuencias ocurran en un orden determinado. De esta forma, se construyen los ciclos candidatos en base a las secuencias y la probabilidad de que sucedan después de otra. Galgamuwa *et al.* (2015) considera que una de las mayores desventajas de este método es que se necesita mucha información acerca de las vías por las que se circula, la cual requiere de mucho tiempo. Además, tanto estos autores como Giakoumis (2017) mencionan que esta metodología enfatiza (y por ende es capaz de representar con mucha precisión) las características cinemáticas relacionadas al tráfico y las vías de conducción. Sin embargo, de esta forma pierde correlación con las emisiones, por lo que, al igual que el método anterior, estaría más ligadas a fines de ingeniería de tránsito que a estudios de emisiones.

Por último, se describe el enfoque estocástico modal. Este método consiste en dividir los datos de conducción en fragmentos definidos por Estimación de la Máxima Verosimilitud basada en la aceleración. Estos fragmentos se determinan por cambios en la densidad de tráfico en una autopista o un cambio en el medio físico de la red de transporte. Luego, se vuelve a usar este método para agrupar los fragmentos en base a velocidades y aceleraciones máximas, mínimas y promedio. Se definen modos de conducción de acuerdo a las ratios de aceleración y velocidad y se desarrolla una matriz de probabilidad de transición entre un modo y otro. Usando finalmente la teoría de cadenas de Markov, los fragmentos se unen considerando la matriz de probabilidad de transición, construyendo así el ciclo. Las limitaciones de este método mencionadas por Giakoumis (2017) son que el criterio de unión de fragmentos es arbitrario y que el número de ciclos requeridos para representar de forma general las emisiones no ha sido estudiado a profundidad, pues los ciclos se construyen para condiciones muy particulares. Galgamuwa *et al.* (2015) mencionan que, al usar una matriz de probabilidad de sucesión, si es que la transición entre los modos de conducción es suave, puede que haya espacios o que la duración de los modos de conducción sea inusualmente grande, que podría dificultar la obtención de un ciclo para parámetros determinados. Recomienda el uso de esta metodología para casos donde no hay muchas paradas, pero la conducción sigue siendo agresiva, destacando que la necesidad de muestras puede ser elevada.

Cabe destacar que algunos autores toman como ciclo de conducción el perfil de velocidades obtenido en un recorrido particular, tomando como criterio que los parámetros estadísticos de este perfil sean lo más semejantes a los parámetros totales obtenidos al recorrer varias rutas de la región de interés. Sin embargo, no se ha considerado este método porque no cuenta con un fundamento ni tratamiento estadístico para la construcción del ciclo, sino que se basa nada más en seleccionar uno de los recorridos realizados.

Las características de Lima relevantes para la aplicación de uno de los métodos son el tipo de dinámica de conducción y los tipos de vías, además del propósito particular para el que se construye el

ciclo. Además, debe mencionarse que, a la actualidad, no hay ciclos de conducción desarrollados para Lima.

En primer lugar, es necesario considerar que la región de Lima Metropolitana posee un tráfico muy denso, considerándose la ciudad con el tercer peor tráfico del mundo, de acuerdo al índice de tráfico TomTom (2018). En 2017, cuando Lima era considerada la novena ciudad con el peor tráfico, existían marcadas horas de 7-9 a.m.; 1-2 p.m.; y 6-8 p.m. Sin embargo, ahora estas horas se han extendido, como resultado de la carga vehicular crítica de Lima. De esta forma, se estima un promedio de 58% de tiempo extra respecto del tiempo que se tomaría normalmente, con máximos de 88% en la hora punta de la mañana y 104% en la tarde y noche (León, 2019). Este tráfico, se traducirá a paradas constantes y mucho tiempo en ralentí, entre otras cosas.

Por otro lado, respecto a los tipos de vías presentes en Lima, estas se dividen en Vías Expresas, Arteriales, Colectoras y Locales, y se diferencian principalmente por el flujo vehicular para el que se diseñan y su propósito como vía de transporte (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2001). La infraestructura y diseño vial, sin embargo, no es suficiente para el parque automotor de Lima, por lo que se tiene tráficos muy densos a determinadas horas, donde a pesar de ser vías para flujo continuo, tanto las vías expresas como las arteriales tienen flujos muy lentos de vehículos.

4.2. Análisis comparativo de metodologías utilizadas en regiones similares a Lima Metropolitana

Para poder realizar este análisis se tomó como referencias principales a los ciclos mencionados por Tong y Hung (2010) y por Galgamuwa *et al.* (2015), entre otros ciclos estudiados individualmente. Se consideraron ciclos de zonas urbanas que pertenezcan a países en vías de desarrollo y/o que tengan un tráfico denso, similares a Lima. Se analizó qué metodología se utilizó para construir dichos ciclos con el fin de ver cuáles fueron las más utilizadas y tomar esta información como referencia.

5. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de cada análisis por separado. Para el primer análisis se describen las ventajas y desventajas encontradas para aplicar cada método. Para el segundo, se enumeran algunos ciclos de regiones similares a Lima Metropolitana, la razón de su similitud y la metodología utilizada.

5.1. Resultados del análisis de metodologías

Para la metodología de microtrips, se encontró la ventaja principal de que, dadas las condiciones de tráfico de Lima, las paradas constantes garantizan la existencia de microtrips. Además, Lima Metropolitana es un área eminentemente urbana, por lo que las limitaciones mencionadas por Giakomus no se acentúan mucho. Dada la ausencia de ciclos de conducción en Lima, está dentro de la recomendación de Galgamuwa para aplicar microtrips. Una desventaja, es que existen vías de alta velocidad que, de no ser una de las horas punta, pueden tener periodos de varios minutos sin una parada. Además, al tener un método de división particular para los modos de manejo o condiciones de conducción, no captaría de forma muy precisa la dinámica de conducción.

La aplicación del método basado en segmentos tendría la ventaja de añadir criterios de conducción y vías, además de las paradas, para la división de los datos de conducción real. Esto podría también permitir observar y caracterizar con más precisión la dinámica de conducción en Lima Metropolitana. Además, podría contrarrestar el problema de los microviajes muy largos para las vías de alta velocidad. Sin embargo, existe la desventaja del consumo de tiempo que tendría que tomarse para hacer la separación por tipo de vía y nivel de superficie. Por otro lado, dadas las constantes paradas debido al tráfico, existe la posibilidad de que finalmente la gran mayoría de segmentos obtenidos sean microtrips, lo que haría que el tiempo consumido en el estudio previo de las condiciones de tránsito no tenga un efecto significativo en la construcción del ciclo.

El método por clasificación de patrones podría ser útil si es que se quiere analizar detalladamente el comportamiento de conducción en Lima Metropolitana, y su principal ventaja sería poder capturar tendencias y características modales en cada condición de conducción o tipo de vía. Sin embargo, la dinámica de conducción en Lima varía muy poco a las horas de tráfico denso y ya no depende del tipo de vía o modo de conducción. Además, si se busca utilizar el estudio para un estudio de emisiones, el método perdería hasta cierto punto su sentido principal, además de consumir un tiempo considerable (en los estudios previos) para no orientarse a su principal ventaja (el estudio de tráfico).

Por último, se analizó la metodología estocástica modal. Esta tiene, en primer lugar, la ventaja de poder captar comportamientos de conducción no limitados por paradas, a diferencia de los microtrips. Dado que la separación de clases es de acuerdo a la aceleración y no al tipo de vía de circulación, no se distancia de propósitos de emisiones, sino que puede detectar tanto fenómenos de tránsito como emisiones. Por otro lado, considerando que la conducción típica en Lima es “agresiva”, la aplicación de este método en este caso, especialmente para situaciones donde no se tenga paradas, podría ser bastante beneficiosa, de acuerdo a lo mencionado por Galgamuwa. Sin embargo, necesita de una muestra diversa y extensa de datos de conducción real, cuya recolección puede consumir un tiempo considerable. Además, en condiciones de tráfico, las clases de conducción para aceleraciones bajas (como el modo crucero) tendrían pocos datos o serían de duraciones muy cortas, pues en tráfico denso la conducción se caracteriza por cortos periodos de aceleración y desaceleración alta limitados por paradas, de forma repetida.

5.2. Resultados del análisis comparativo

Con los resultados de este análisis se elaboró la **Tabla 1**.

Tabla 1

Metodologías utilizadas para ciclos de conducción construidos en ciudades similares a Lima.

Ciclos	Similitud con Lima	Metodología usada	Fuente
Ciclo de Bangkok	Ciudad con tráfico bastante denso (53% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018)) de un país en vías de desarrollo (ISI-WEB.org, 2019)	Microtrips	Nutramon, Supachart, & Chungpaibulpatana (2009)
Ciclos de Beijing	Ciudad con tráfico muy denso (40% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018)) de un país en vías de desarrollo (ISI-WEB.org, 2019)	Microtrips	Tong y Hung (2010)
Ciclo de Chennai	Ciudad de un país en vías de desarrollo (ISI-WEB.org, 2019)	Microtrips	Arun, Mahesh, Ramadurai, & Shiva Nagendra (2017)
Ciclo de Colombo	Ciudad de un país en vías de desarrollo (ISI-WEB.org, 2019)	Estocástica modal	Galgamuwa, Perera, & Bandara (2016)
Ciclo de Edinburgo	Ciudad con tráfico muy denso (40% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018))	Microtrips	Esteves-Booth, Muneer, Kirby, Kubie, & Hunter (2001)
Ciclo de Hong Kong	Ciudad con tráfico denso (32% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018)) de un país en vías de desarrollo (ISI-WEB.org, 2019)	Microtrips	Hung et al. (2007)
Ciclo de Kaohsiung	Ciudad con tráfico denso ((34% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018))	Microtrips	Tong y Hung (2010)
Ciclo de Los Angeles (1992)	Ciudad con tráfico muy denso (41% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018))	Microtrips	Lin & Niemeier (2002)
Ciclo de Los Angeles (2001)	Ciudad con tráfico muy denso (41% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018))	Estocástica modal	Lin & Niemeier (2002)
Ciclo de Pereira	Ciudad de un país en vías de desarrollo (ISI-WEB.org, 2019)	Selección de una ruta	Restrepo Victoria, Carranza Sánchez, & Tibaquirá (2007)
Ciclo de Pune	Ciudad de un país en vías de desarrollo (ISI-WEB.org, 2019)	Microtrips	Kamble, Mathew, & Sharma (2009)
Ciclo de Sydney	Ciudad con tráfico denso ((34% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018))	Microtrips	Tong, & Hung (2010)
Ciclo de Taipei	Ciudad con tráfico denso ((34% de tiempo extra de acuerdo a TomTom (2018))	Selección de una ruta	Tzeng, & Chen (1998)
Ciclo de Teherán	Ciudad de un país en vías de desarrollo (ISI-WEB.org, 2019)	Microtrips	Fotouhi, & Montazeri-Gh (2013)

Conclusiones

Del primer análisis realizado podemos concluir que la metodología a utilizar para construir un ciclo de conducción de Lima Metropolitana dependerá mucho del propósito del ciclo a construir. Si se desea construir un ciclo con fines de análisis y estudio de emisiones, podría utilizarse la metodología de microtrips o la estocástica modal, dependiendo principalmente del tiempo disponible y de las horas de toma de datos. Si se toma datos a horas fuera de pico, la metodología estocástica modal sería más apropiada por poder captar datos de conducción con aceleraciones agresivas, como es característico de Lima, sin paradas constantes necesariamente. Sin embargo, si se toma en horas pico, sería más conveniente utilizar microtrips, dado que es más sencillo de procesar y que las paradas constantes permiten captar toda la conducción. Es necesario considerar que en Lima las horas pico ocupan la mayor parte del día, por lo que, en un estudio general, podría resultar más conveniente (por su simplicidad) utilizar microtrips. Por otro lado, si se desea hacer un estudio de tráfico, con el fin de estudiar los comportamientos y la dinámica de conducción en Lima, podría ser más conveniente utilizar el método por segmentos o clasificación de patrones, dependiendo también del nivel de precisión con el que se desea estudiar el tránsito, siendo este último capaz de captar con mayor precisión algunas tendencias. Cabe resaltar que en condiciones de tráfico muy denso estos métodos podrían terminar con divisiones muy similares a los microtrips, pues los viajes con paradas constantes son la tendencia de conducción a horas punta en las vías más congestionadas.

Del segundo análisis, podemos ver claramente que la mayoría de ciclos de conducción para urbes como Lima fueron construidos utilizando microtrips. Esto no se debe necesariamente a que sea mejor o no, pues todos los métodos tienen ventajas y desventajas, sino que este método es más sencillo y puede captar con mucha representatividad los fenómenos de emisiones o conducción en áreas puramente urbanas.

En conclusión, si bien no existe un método que sea claramente mejor que el resto, podría resultar más apropiado utilizar la metodología de microtrips. Con esta metodología podría observarse tendencias de emisiones y tráfico, principalmente por el tráfico denso de Lima y por ser el primer enfoque a ciclos de conducción en esta ciudad. Para estudios más especializados podría utilizarse variaciones de la metodología de microtrips (variando los parámetros de evaluación) o utilizar otra metodología; mas, como primera referencia, utilizar este método representa una opción bastante apropiada.



Bibliografía

- Arun, N. H., Mahesh, S., Ramadurai, G., & Shiva Nagendra, S. M. (2017). Development of driving cycles for passenger cars and motorcycles in Chennai, India. *Sustainable Cities and Society*, 32, 508–512. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.001>
- Esteves-Booth, A., Muneer, T., Kirby, H., Kubie, J., & Hunter, J. (2001). The measurement of vehicular driving cycle within the city of Edinburgh. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6(3), 209–220. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(00\)00024-9](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(00)00024-9)
- Fotouhi, A., & Montazeri-Gh, M. (2013). Tehran driving cycle development using the k-means clustering method. *Scientia Iranica*, 20(2), 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2013.04.001>
- Galgamuwa, U., Perera, L., & Bandara, S. (2015). Developing a General Methodology for Driving Cycle Construction: Comparison of Various Established Driving Cycles in the World to Propose a General Approach. *Journal of Transportation Technologies*, 05(04), 191–203. <https://doi.org/10.4236/jtts.2015.54018>
- Galgamuwa, U., Perera, L., & Bandara, S. (2016). Development of a driving cycle for Colombo, Sri Lanka: an economical approach for developing countries. *Journal of Advanced Transportation*, 50(September), 1520–1530.
- Giakoumis, E. G. (2017). Driving and engine cycles. En *Driving and Engine Cycles*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49034-2>
- Hung, W. T., Tong, H. Y., Lee, C. P., Ha, K., & Pao, L. Y. (2007). Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(2), 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.01.002>
- ISI-WEB.org. (2019). Developing Countries. Recuperado el 7 de noviembre del 2019, de <https://www.isi->

web.org/index.php/resources/developing-countries

Kamble, S. H., Mathew, T. V., & Sharma, G. K. (2009). Development of real-world driving cycle: Case study of Pune, India. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(2), 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.008>

León, J. P. (2019, October 24). Lima es la tercera ciudad del mundo con más tráfico vehicular | #NoTePases Transporte | El Comercio Perú. *El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/lima/transporte/lima-tercera-ciudad-mundo-congestion-vehicular-400-noticia-ecpm-642900-noticia/>

Lin, J., & Niemeier, D. A. (2002). An exploratory analysis comparing a stochastic driving cycle to California's regulatory cycle. *Atmospheric Environment*, 36(38), 5759–5770. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00695-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00695-7)

Municipalidad Metropolitana de Lima. *Ordenanza N° 341-2001.*, (2001).

Nutramon, T., Supachart, & Chungpaibulpatana. (2009). Influence of driving cycles on exhaust emissions and fuel consumption of gasoline passenger car in Bangkok. *Journal of Environmental Sciences*, 21(5), 604–611. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62314-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62314-1)

Observatorio Urbano. (n.d.). Población en Lima Metropolitana. Recuperado el 2 de octubre del 2019, de <http://observatoriourbano.org.pe/project/poblacion-en-lima-metropolitana/>

Restrepo Victoria, A., Carranza Sánchez, Y., & Tibaquirá, J. (2007). Diseño y Aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira. *Scientia et Technica*, (37), 229–234.

RPP Noticias. (2017). *ONG Aire Limpio: “Parque automotor origina el 70% de la contaminación del aire en Lima.”* Recuperado de <https://rpp.pe/peru/actualidad/el-parque-automotor-origina-el-70-de->

la-contaminacion-del-aire-en-lima-noticia-1080213

TomTom. (2018). *Traffic Index results 2018*.

Tong, H. Y., & Hung, W. T. (2010). A framework for developing driving cycles with on-road driving data. *Transport Reviews*, 30(5), 589–615. <https://doi.org/10.1080/01441640903286134>

Tzeng, G.-H., & Chen, J.-J. (1998). Developing a Taipei Motorcycle Driving Cycle for. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 3(1), 19–27.

Vida, D. E., Callao, B., Carmen, C., Legua-Reynoso, L., Perla, L., Punta, L., ... Del Triunfo, M. (2018). *Lima Cómo Vamos 2018: IX Informe de percepción sobre calidad de vida en Lima y Callao*. Recuperado de <http://www.limacomovamos.org/cm/wp-content/uploads/2018/12/EncuestaLimaComoVamos2018.pdf>

