

## ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DEL TRÁNSITO MOTORIZADO EN REDES VIALES USANDO TECNOLOGÍAS COMPUTACIONALES

**Guillermo Rodríguez López**✉ mgrodriguezl@ucacue.edu.ec  
Universidad Católica de Cuenca – Ecuador**Gabriela Cedeño León**✉ ana.cedeno@est.ucacue.edu.ec  
Universidad Católica de Cuenca – Ecuador**Hover Torres Gutama**✉ hover.torres@est.ucacue.edu.ec  
Universidad Católica de Cuenca – Ecuador

### RESUMEN

En las ciudades latinoamericanas, existen serios inconvenientes de tráfico motorizado debido al crecimiento de la población y la alta demanda por viajar en vehículos motorizados. Por tal motivo, el propósito de esta investigación es solventar esta problemática usando indicadores apropiados que ayuden a evaluar las características actuales de una ciudad. Por un lado, se evaluó la morfología y topología de la red urbana detectando posibles factores que provocan, la congestión del tráfico motorizado, pérdida de tiempo e interrupciones de calles. Por otro lado, se analizó a través de tecnologías emergentes que proporcionan ponderaciones de las redes viales urbanas e interurbanas para calcular tiempos, distancia y rutas óptimas de viaje. Los resultados de estos estudios son de interés para organismos públicos y privados dedicados a la planificación y movilidad urbana, gestión del transporte en pequeñas urbes y válidas para medianas o grandes ciudades. Por lo que, lo relevante de estos resultados obtenidos son datos confiables que muestran las principales calles y avenidas de las ciudades ecuatorianas vulnerables al aumento del tráfico y movilidad de pasajeros, para tomar decisiones correctivas que mejoren la calidad de vida de sus habitantes.

**Palabras clave:** Centralidad, movilidad, transporte motorizado, redes viales

### ABSTRACT

In Latin American cities, there are serious drawbacks to motorized traffic due to population growth and high demand for traveling in motor vehicles. For this reason, the purpose of this research is to solve this problem using appropriate indicators that help to evaluate the current characteristics of a city. On one hand, the morphology and topology of the urban network were evaluated, detecting possible factors that cause, motorized traffic congestion, loss of time and street interruptions. On the other hand, it was analyzed through emerging technologies that provide weighing of urban and interurban road networks to calculate optimal travel times, distances and routes. The results of these studies are of interest to public and private organizations dedicated to urban planning and mobility, transport management in small cities and valid for medium or large cities. Therefore, what is relevant in these obtained results is reliable data that shows the main streets and avenues of Ecuadorian cities vulnerable to increased traffic and passenger mobility, to make corrective decisions that would improve the quality of life of its inhabitants.

**KEYWORDS:** Centrality, mobility, motorized transport, road networks

## 1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades del mundo continúan en un proceso de crecimiento poblacional y extensión urbana a gran escala. Por lo tanto, los temas de optimización de la planificación urbana, resiliencia y sostenibilidad de pequeñas, intermedias y grandes ciudades se han vuelto temas de discusión en la última década (Batty, 2013). Algunas estadísticas emitidas por las Naciones Unidas muestran que en año 2050 el 70 por ciento de la población mundial vivirá en áreas urbanas, esto significa que, las ciudades deben elaborar planificaciones urbanas sostenibles en el tiempo con mayor seriedad y responsabilidad. Puesto que, las personas que circulan por una ciudad perciben los inconvenientes derivados del transporte como determinantes en su calidad de vida: la congestión, la contaminación y los accidentes son parte de las principales molestias cotidianas. En el mundo actual, la movilidad está ligada a otro tema de estudio contemporáneo que es la sostenibilidad (CEPAL, 2003). Por su complejidad de análisis de estos temas se precisó utilizar la tecnología computarizada; por ejemplo, descargar grandes volúmenes de datos geoespaciales y analizarlos en grafos de red y medir sus características o propiedades en cuestión de segundos o minutos. Sobre esta base, el presente estudio está enfocado en la importancia que la sociedad debe tener acerca de la movilidad y el transporte (Salazar, et al., 2018). En función de esto, en el presente trabajo se prioriza la estimación del valor del tiempo y distancias como factor clave. Se pretende aportar a mejorar la planificación urbana para obtener ciudades sostenibles en infraestructura de transporte que satisfaga la demanda de los viajeros respetando el medio ambiente ( Xie & Wang, 2018).

Para esto se considera medidas como: morfología de las redes urbanas, conectividad y movilidad, son elementos asociados al transporte atribuibles a la fiabilidad de las personas y aumento en la productividad equitativa (Quintero-González & Quintero González, 2016). La Movilidad Urbana, se describe como la capacidad de moverse entre el perímetro urbano de una ciudad o metrópoli (Lizarreta-Barrios, 2017). En esta investigación, también se consideró los distintos transportes que intervienen en el traslado de mercancías usando medios y sin que exista ruptura de la cadena (Raghunathan, et al., 2018). Finalmente, se evaluó las características de la movilidad y la accesibilidad como un bien que debe ser protegido por la sociedad (Serrano-Romero, 2018, págs. 41-45). Por lo tanto, la movilidad es un factor determinante en el desarrollo y sostenibilidad de las urbes en el futuro cercano, para el traslado fluido de la población urbana en crecimiento; donde día tras día se aumenta la cantidad de vehículos y reduce el flujo en las vías. En consecuencia, los avances de las nuevas tecnologías es un potencial para transformar la movilidad urbana con la automatización, análisis de datos masivos y la inteligencia artificial. El aporte de la tecnología permitirá atenuar el congestionamiento de vehículos motorizados e insertar vehículos autónomos para viajes cortos y de última milla (Kondor, et al., 2020). Por lo tanto, si aplicamos estos mecanismos en un sistema integrado de transporte, contribuirían significativamente en la restauración de los sistemas de movilidad. Para alcanzar esto, el transporte inteligente aprovecha las tecnologías de la información para adquirir datos masivos de transporte y analizarlos rápidamente inclusive en tiempo real ( Dabiri & Heaslip, 2018). En algunas ciudades desarrolladas que sobrepasan los 10 millones de habitantes, han

implementado tecnologías, para ayudar mejorar la movilidad, y se han obtenido buenos resultados. En cambio, en ciudades medianas o pequeñas subdesarrolladas no existe muchos estudios que ayuden a comprender su realidad actual. Estos estudios, deben enfocarse en reducir el índice de accidentes, congestionamiento, demoras, interrupciones, inconvenientes que afectan de manera negativa al progreso de las urbes. También, esperamos combatir estos desafíos para integrar servicios de transporte inteligentes, usando IoT, redes inalámbricas, sensores, GPS, que cubra las necesidades de los ciudadanos (Sadiku, Shadare, & Musa, 2017). Esta propuesta, facilita la obtención de datos de vehículos en tiempo real para eventos adversos, tales como: inundaciones, deslaves, terremotos, mítines políticos, esto se amplía en (Wang, 2015) (Ganin, 2017).. Finalmente, la fiabilidad de los sistemas de transporte, se define como la probabilidad de que un componente funcione apropiadamente durante un período determinado, bajo condiciones operativas específicas (Silva-Morales & Torres-Sanchez, 2017).

Considerando que, la demanda del transporte es una consecuencia; es decir, solo algunas veces los viajes se originan por un deseo personal de desplazarse; generalmente, los viajes se dan por la necesidad de llegar a un lugar en especial. En los cuales, se realizan un conjunto de diligencias en lugares diferentes; por ejemplo: trabajo, compras, estudio, entre otras (Herrera-Herrera, Luján-Mora, & Gómez-Torres, 2018). El factor primario de la congestión es generado diariamente por vehículos motorizados pequeños que trasladan generalmente una persona. Para medir la usabilidad de los medios de transporte se usa el PCU, que significa passenger car unit, o unidades de coches por personas (CEPAL, 2003). Los autos

tienen un coeficiente de 1 en cambio un bus el coeficiente es de 3 aproximadamente y un camión de 2. Si bien un bus ocupa mayor espacio dentro de una carretera que un auto, sin embargo, cuando está en servicio transporta más personas que el auto, lo que hace conveniente incrementar la participación de los buces.

### Centralidad Intermedia (Betweenness Centrality BC)

La centralidad de la intermediación se basa en la idea de que un vértice es más central a medida que más rutas de bajo costo pasan a través de él. Esta es una medida que se utiliza en varios estudios de redes, y han sido destacadas recientemente por (Altshuler, Puzis, Elovici, Bekhor, & Pentland, 2011) (Masucci & Molinero, 2016). Dado un grafo  $G(V, E)$  donde  $V$  es un conjunto de nodos o vértices y  $E$  es un conjunto de aristas o arcos, la Centralidad Intermedia mide la importancia de un vértice  $v \in V$  para conectar dos aristas  $p, q \in E$  considerando las rutas más cortas. La Centralidad Intermedia está dada por la ecuación.

$$B_i = \sum_{(j \neq g \in G)} \frac{C_{jg}(i)}{C_{jg}} \quad (1)$$

Donde  $C_{jg}(i)$ , es el número de rutas más cortas entre los dos vértices  $j$  y  $g$  que pasan por el vértice  $i$ ,  $C_{jg}$ , es el número de caminos más cortos entre ellos.

### Centralidad Cercana (Closeness Centrality CC)

La centralidad cercana es una medida que indica de la distancia promedio de todas las rutas más cortas desde un vértice  $v$  hasta cualquier otro vértice  $n-1$  accesible dentro de la red (Yaoli, Song, & Yu, 2013). La centralidad cercana indica la conectividad

de un nodo en el grafo y se normaliza sumando todas las distancias mínimas posibles y se calcula con:

$$C_i = (v-1) / (\sum_{i \neq v \in G} d_{iv}) \quad (2)$$

Donde  $d_{iv}$ , es la distancia más corta en un grafo  $G$  entre un vértice  $i$  y otro vértice  $v$ . Los vértices que tienen una longitud promedio pequeña hacia el resto de los vértices, se dice que tienen una gran centralidad cercana (Wang, 2015).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio, se consideró herramientas tecnológicas disponibles, para realizar mediciones y cálculos de indicadores de redes viales urbanas e interurbanas. Para las mediciones, se tomó datos masivos provenientes de tecnologías en línea como Waze para el cálculo de tiempos de viaje. Para el análisis de las redes viales urbanas se descargó desde Open Street Maps OSM, con estas redes primarias se construyó grafos para calcular los indicadores de centralidad intermedia y cercana. Luego aplicando las ecuaciones (1) y (2) se determinó los nodos y enlaces más relevantes para el flujo de tráfico y aglomeración humana.

Finalmente, el resultado cuantitativo se visualiza en mapas geoespaciales para interpretar y explicar fácilmente el comportamiento de las zonas urbanas en crecimiento constante. Para fundamentar el estudio se revisó trabajos relacionados, sumado el uso de plataformas tecnológicas y técnicas de vanguardia, empleadas en países desarrollados que fueron valiosas para sustentar los resultados.

## 3. RESULTADOS

La gestión del tránsito motorizado es un problema contemporáneo tanto en vías urbanas como interurbanas.

Para extraer los datos geoespaciales descargamos las redes urbanas de La Troncal y El Triunfo desde OSM, ver Figura 1.



Figura 1: Muestra las redes urbanas originales de (a) La Troncal y (b) El Triunfo cargado desde OSM para el análisis.

Fuente: OSM  
Elaborado por los autores

Las redes urbanas de la Figura 1, son de ciudades pequeñas, el interés de estudiar este tipo de redes se debe a la necesidad de evaluar a tiempo las características topológicas, geológicas y morfológicas para prever y pronosticar soluciones oportunas. Puesto que, en otros estudios, vemos que al evaluar ciudades grandes poseen problemas de crecimiento y falta de planificación urbana desde sus inicios, es decir cuando las ciudades todavía estaban pequeñas.

Una vez extraídas las redes, procedimos a realizar las mediciones topológicas y morfológicas de cada ciudad para caracterizar su infraestructura urbana. En primer lugar, buscamos los nodos sin

salida y los nodos de cuatro enlaces tipo malla, ver en la Figura 2.



Figura 2: En (a) se muestra el número de nodos sin salida 106 de 1435, 7%, en (b) se muestra el número de nodos de 4 enlaces 504 de 1435, 35%, ciudad La Troncal  
Fuente: Propia  
Elaborado: Por los autores

A continuación, el mismo análisis para la red urbana de la ciudad El Triunfo, ver Figura 3.

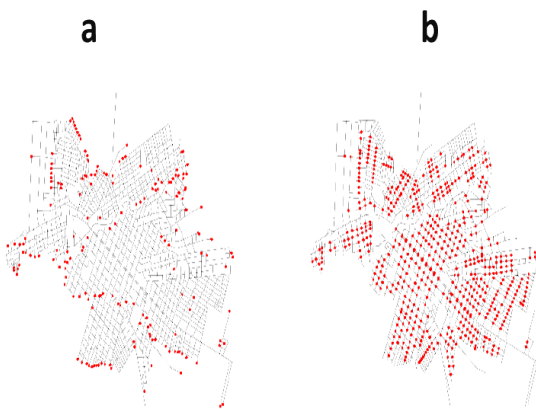


Figura 3: En (a) se muestra el número de nodos sin salida 179 de 1389, 13%, en (b) se muestra el número de nodos de 4 enlaces 579 de 1389, 41%, ciudad El Triunfo  
Fuente: Propia  
Elaborado: Por los autores

Estos datos de este cálculo revelan que la redes tienen un alto porcentaje de tipo malla, esto significa que es significativa su planificación. Porque, el porcentaje de nodos sin salida es relativamente bajo con el 7% para La Troncal y el 13% para El Triunfo. Por otro lado, tenemos el 35% de

enlaces de cuatro uniones para La Troncal y el 41% para El Triunfo. Estos datos son alentadores y son típicos de ver en ciudades pequeñas, el problema es que tienden a cambiar según las ciudades van creciendo.

Otro tipo de análisis que desarrollamos para evaluar las características de las redes viales que inciden en el flujo y congestión del tráfico motorizado fueron las centralidades de Intermediación y las centralidades de cercanía. Los resultados lo detallamos en la Figura 1, allí mostramos los cruces de calles (nodos) de mayor centralidad de intermediación y de menor centralidad de cercanía. Los nodos de color amarillo intenso son los cruces calle de mayor centralidad de intermediación y cercanía. Los nodos de intermediación cercana expresan de manera visual los lugares críticos tener mayor flujo de tráfico y posible congestión. En cambio, los nodos extraídos con la centralidad de cercana, responden a la concentración o aglomeración de centros comerciales, industriales, negocios, centros de salud, entre otros. Para este trabajo analizamos las mediciones en las zonas urbanas de La Troncal y El Triunfo en Ecuador; que si bien son ciudades pequeñas tienen una proyección de crecimiento acelerado. Para los cálculos de las Centralidades de Intermediación BC y las Centralidades de Cercanía CC, mostramos los nodos más significativos con un color amarillo intenso y los menos significativos con un color púrpura para cada caso. Por un lado, los nodos de mayor BC representan las intersecciones de calles de candidatas a tener alto flujo de tráfico vehicular y posibles congestiones Figura 3a. Por otro lado, los nodos de menor promedio de CC, representan las intersecciones de calles y sectores propensos a mayores aglomeraciones de personas, centros comerciales, financieros, salud, educativos, entre otros; esto se da por su ubicación céntrica y más cercana al resto de nodos de la red.

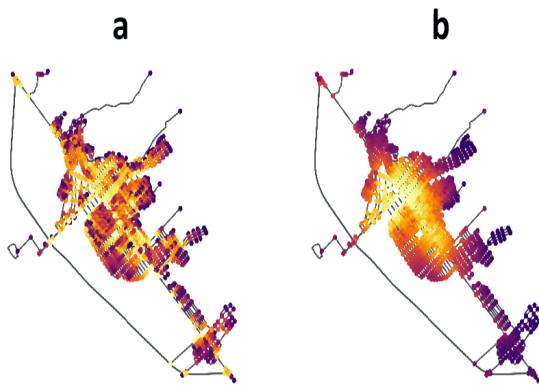


Figura 3. Muestra (a) la centralidad de intermediación BC, (b) la centralidad cercana CC, red urbana, La Troncal, Ecuador.  
Fuente: Propia  
Elaborado: Por los autores

Mientras vamos disminuyendo el porcentaje de nodos significativos, el cálculo nos muestra los nodos de mayor BC y de menor CC. Esto nos permite determinar el sector donde se localizan estos nodos y enlaces para tomar medidas correctivas que mejoren el nivel de resiliencia y sostenibilidad de cada ciudad a futuro.

Los resultados también permiten evidenciar que, que los nodos y enlaces de mayor BC se distribuyen por las avenidas céntricas que cruzan cada ciudad. En cabio, la CC demuestra que los nodos están agrupados en el centro de la red, esto significa que según este indicador la aglomeración de personas y centros de comercio, financieros y otros se localizan en este sector. Esto implica que en estos lugares son proclives a mayor movilidad urbana de personas y alto índice de tráfico motorizado.

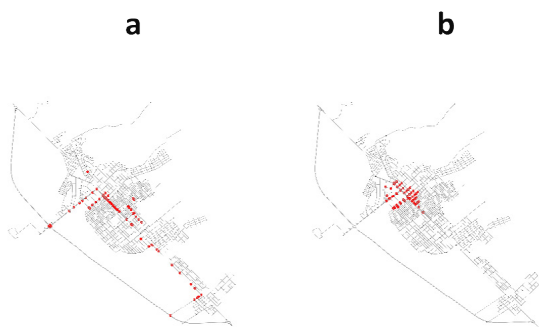


Figura 4. Muestra (a) 5% de nodos de mayor centralidad de intermediación, (b) 5% de nodos de menor centralidad cercana, red urbana, La Troncal, Ecuador.  
Fuente: Propia  
Elaborado: Por los autores

Para complementar este estudio de transporte motorizado y movilidad de las personas en zonas urbanas e interurbanas, según la demanda de viajeros en días y horas específicas. Para lo cual, desarrollamos un proceso de medición sistemático de tiempos estimados en cubrir las distancias entre diferentes ciudades incluyendo. Para evaluar los tiempos de viaje desde un lugar de origen a otro de destino, utilizamos la librería de WazeRouteCalculator, proporcionada libremente en Github por la compañía Waze. Este código permite selección rutas cortas mediante algoritmos computacionales, por ejemplo, Dijkstra, además, su API es compatible con sistemas libres y propietarios. En este trabajo, calculamos algunos valores de tiempo y distancias tomando como origen y destino vías inter urbanas de ciudades del Ecuador. Los tiempos estimados se calculan en función de la hora del día y las condiciones de la ruta en ese instante o

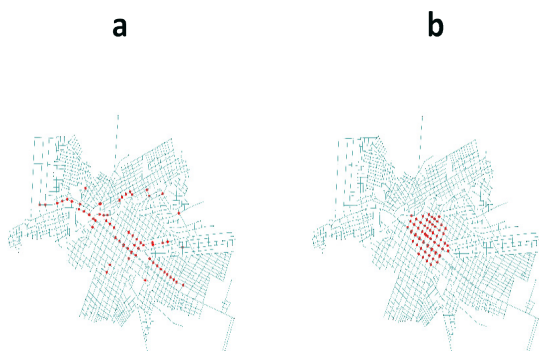


Fig. 5. Muestra (a) 5% de nodos de mayor centralidad de intermediación, (b) 5% de nodos de menor centralidad cercana, red urbana, El Triunfo, Ecuador.  
Fuente: Propia  
Elaborado: Por los autores

en tiempo real, ver Tabla 1. Allí podemos apreciar los tiempos estimados de llegada en formato horas, minutos y las distancias en km, obtenido a partir del lugar de origen y destino. Los datos fueron tomados los días, viernes 15:00 y martes 10h00, lo que se destaca que el tiempo de viaje es mayor los días viernes.

Origen	Destino	Tiempo Viernes	Tiempo Martes	Distancia Km.
La Troncal	Guayaquil	1,26	1,25	80
El Triunfo	Guayaquil	1,07	1,06	66
Cuenca	Guayaquil	3,22	3,15	198,7
Cuenca	Loja	2,50	2,51	213,8
Cuenca	Riobamba	5,38	4,13	345,7/ 253,3
Guayaquil	Machala	3,43	3,36	186,2
Guayaquil	Quito	7,37	6,54	432,4
Quito	Ibarra	2,21	1,35	112,6
Quito	Ambato	2,28	2,11	156,9
Quito	S. Domingo	2,54	2,38	152

*Tabla 1: Muestra los tiempos y distancia entre una ciudad de origen y otra de destino  
Fuente: Propia  
Elaborado: Por los Autores*

#### 4. DISCUSIÓN

Según la CEPAL y la ONU, el congestionamiento de tráfico en ciudades latinoamericanas origina un crecimiento lento de la economía de la región. Por lo que se debe generar trabajos de investigación que busque dar explicación de los factores y causas que provocan que las ciudades tengan dificultades de planificación urbana, ordenamiento del transporte motorizado que cubra la demanda de movilidad urbana acorde al crecimiento continuo de las ciudades.

Para contribuir con estos escenarios en el presente artículo analizamos las

características y propiedades de las redes viales de ciudades pequeñas del Ecuador, como parte de América Latina. Para identificar las vulnerabilidades de la infraestructura urbana, por un lado, detectando las vías de mayor congestionamiento de tráfico por su grado de intermediación y por el grado de cercanía. Este análisis permite determinar si estos lugares formados por calles e intersecciones están en condiciones óptimas para enfrentarse a los distintos eventos adversos que pudieran azotar a su infraestructura y debilitar fuertemente, lo que provocaría una lenta recuperación de la ciudad. En consecuencia, los resultados de este estudio ayudan a tomar decisiones para mejorar la planificación urbana y justificar nuevas políticas públicas que beneficien la resiliencia y sostenibilidad de nuestras ciudades. También, al conocer la realidad actual de la infraestructura vial de una ciudad facilita el crecimiento planificado para satisfacer la demanda urbana.

El estudio de los tiempos de viaje que presentamos en este artículo, es un inicio para ampliar en futuras investigaciones que guiara a disponer de información valiosa para tomar decisiones de viaje según las condiciones actuales que incidan en el tiempo de llegada a su destino en otra ciudad. Optimizando el uso del tiempo, decidiendo que día y a qué hora realizar un viaje y las medidas cautelares que se deben tomar según sus condiciones. Estos indicadores aportan a mejorar las condiciones de transporte motorizado y movilidad de las personas dentro y fuera de las ciudades, que contribuya al desarrollo sostenible en lo social y económico de nuestra región.

## 5. CONCLUSIONES

- Las tecnologías de la información y las comunicaciones tienen un gran potencial para mejorar la gestión del tráfico relativo a planificación, organización y prevención.
- En esta investigación evaluamos indicadores de tiempo aprovechando la librería WazeRouteCalculator para extraer la ruta entre dos ciudades y calcular el tiempo de viaje y la distancia recorrida en función de los días de la semana y la hora.
- El otro aporte, es evaluar las redes urbanas de ciudades pequeñas e identificar los sectores de mayor centralidad de intermediación y centralidad de cercanía; sensibles a congestión de tráfico motorizado y conglomeraciones de personas.
- Esta información es de interés para gobiernos locales y nacionales para mejorar las políticas públicas de planificación y regeneración urbana; que ayuden a que las ciudades sean más resilientes y sostenibles a los eventos adversos y desastres en el futuro.
- Esta investigación también hace un aporte en el manejo de datos georreferenciales masivos para calcular una variedad de indicadores relacionados con el tráfico motorizado y movilidad urbana partir de grafos de red.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Dabiri, S., & Heaslip, K. (2018). Transport-domain applications of widely used data sources in the smart transportation: A survey. *Applications (stat.AP)*; *Computers and Society (cs.CY)*, arXiv:1803.10902 [stat.AP].
2. Xie, X.-F., & Wang, Z. J. (2018). Uncovering Urban Mobility and City Dynamics from Large-Scale Taxi Origin-Destination (O-D) Trips: Case Study in Washington DC Area. *Computation (stat.CO)*; *Data Structures and Algorithms (cs.DS)*; *Physics and Society (physics.soc-ph)*, arXiv:1812.09583 [stat.CO].
3. Altshuler, Y., Puzis, R., Elovici, Y., Bekhor, S., & Pentland, A. (2011). Augmented Betweenness Centrality for Mobility Prediction in Transportation Networks. *Securing Transportation Systems, Protecting Critical Infrastructures Series*.
4. Batty, M. (2013). Resilient Cities, Networks, and Disruption. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(4), 571–573.
5. CEPAL. (2003). Congestion de Tránsito; El problema y como enfrentarlo. Naciones Unidas CEPAL, p. 194.
6. Ganin, A. A. (2017). Resilience and efficiency in transportation networks. *Science Advances* 20 Dec 2017: Vol. 3, no. 12, e1701079 DOI: 10.1126/sciadv.1701079.
7. Herrera-Herrera, N., Luján-Mora, S., & Gómez-Torres, E. R. (2018). Integración de herramientas para la toma de decisiones en la congestión vehicular. *DYNA*, vol. 85, núm. 205, Abril-Junio, 2018, pp. 363-370.
8. Kondor, D., Zhang, X., Meghjani, M., Santi, P., Zhao, J., & Ratti, C. (2020). Estimating the potential for shared autonomous scooters. arXiv:1909.03679v3 [cs.CY] 1 Feb 2020.
9. Liu, W., Li, X., Liu, T., & Liu, B.



- (2019). Approximating Betweenness Centrality to Identify Key Nodes in a Weighted Urban Complex Transportation Network. *Journal of Advanced Transportation*, <https://doi.org/10.1155/2019/9024745>.
10. Lizarreta-Barrios, P. (2017). EL TRANSPORTE MULTIMODAL DE MERCANCÍAS EN LA REGULACIÓN UNIMODAL. doi: [http://dx.doi.org/10.18543/ed-65\(1\)-2017pp363-400](http://dx.doi.org/10.18543/ed-65(1)-2017pp363-400).
  11. Masucci, A. P., & Molinero, C. (2016). Robustness and closeness centrality for self-organized and planned cities. *Eur. Phys. J. B* (2016) 89: 53.
  12. Quintero-González, J. R., & Quintero González, L. E. (2016). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano. *Revista Ingeniería y Región*. Vol. 14(2):87-97.
  13. Raghunathan, A. U., Bergman, D., Hooker, J., Serra, T., & Kobori, S. (2018). Seamless Multimodal Transportation Scheduling. *Optimization and Control (math.OC)*, arXiv:1807.09676 [math.OC].
  14. Sadiku, M. N., Shadare, A. E., & Musa, S. M. (2017). *Smart Transportation: A Primer*. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*.
  15. Salazar, M., Rossi, F., Schiffer, M., Onder, C. H., & Pavone, M. (2018). On the Interaction between Autonomous Mobility-on-Demand and Public Transportation Systems. *Systems and Control (eess.SY); Robotics (cs.RO)*, arXiv:1804.11278 [cs.SY].
  16. Serrano-Romero, R. O. (2018). *MOVILIDAD URBANA Y ESPACIO PÚBLICO, REFLEXIONES, MÉTODOS Y CONTEXTOS*. Bogota: DGP Editores, SAS.
  17. Silva-Morales, N., & Torres-Sanchez, C. (2017). Calidad del Servicio de transporte en la Ciudad de Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14263/1/UPS-CT007011.pdf>.
  18. Wang, J. (2015). Resilience of Self-Organised and Top-Down Planned Cities—A Case Study on London and Beijing Street Networks. *PLoS ONE* 10(12): e0141736. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141736>.
  19. Yaoli, W., Song, G., & Yu, L. (2013). Exploration into urban street closeness centrality and its application methods—A case study of Qingdao. *GEOGRAPHICAL RESEARCH*, 32(3): 452-464.

## 7. TRABAJOS FUTUROS

Ampliar la investigación para las ciudades más vulnerables al tráfico y movilidad urbana de Latinoamérica. Agregar ponderaciones en tiempo real, identificando interrupciones ocasionadas por desastres recurrentes de tipo natural o humana; para calcular tiempos de respuesta y recomendar nuevas rutas óptimas para construir ciudades resilientes y sostenibles.ç