

Análisis de Sensibilidad Estadístico Global en Modelos de Transporte Multimodal Peruano Una Revisión Sistemática PRISMA (2023-2025)

Ronaldo Mamani Quispe

Resumen

Esta revisión sistemática aplica la metodología PRISMA para evaluar la aplicación de métodos de análisis de sensibilidad estadístico global en estudios de transporte multimodal peruano publicados entre 2023-2025. De 24 estudios identificados en Scopus, ninguno aplicó técnicas de sensibilidad global, evidenciando un vacío metodológico del 100 %. Los métodos predominantes incluyen monitoreo IoT (16.7 %), análisis cualitativos (20.8 %) y procesos multicriterio (12.5 %). Los principales hallazgos revelan que la demanda vehicular pico (54.2 %) y el valor tiempo (25 %) son las variables más estudiadas, mientras que el transporte público urbano (20.8 %) y la movilidad fronteriza (16.7 %) son los contextos predominantes. Se identifican oportunidades para implementar métodos como Sobol, Morris y EFAST en la evaluación cuantitativa de congestión multimodal.

Palabras clave: Análisis de Sensibilidad Global, PRISMA, Transporte Multimodal, Congestión Vehicular, Perú

1. Introducción

La creciente complejidad de los sistemas de transporte multimodal en el contexto peruano requiere enfoques avanzados para identificar variables críticas que afectan la congestión vehicular. El análisis de sensibilidad estadístico global emerge como una herramienta fundamental para cuantificar la contribución relativa de cada variable en los resultados de simulación y modelos de transporte. Esta revisión sistemática aplica la metodología PRISMA para evaluar rigurosamente el estado actual de aplicación de estas metodologías en estudios recientes de movilidad urbana peruana, identificando brechas metodológicas y proponiendo direcciones futuras de investigación.

2. Metodología PRISMA

2.1. Estrategia de Búsqueda

- **Bases de datos:** Scopus
- **Período:** 2023-2025
- **Términos de búsqueda:** ("transportation.ºR "movilidad.ºR "tráfico") AND ("Perú.ºR "Peruvian") AND (congestión.ºR congestion) AND (.análisis.ºR .analysis)
- **Criterios de inclusión:** Estudios empíricos en contexto peruano, enfoque en transporte/movilidad, publicados 2023-2025
- **Criterios de exclusión:** Estudios teóricos puros, sin datos empíricos, fuera del contexto peruano

2.2. Proceso de Selección

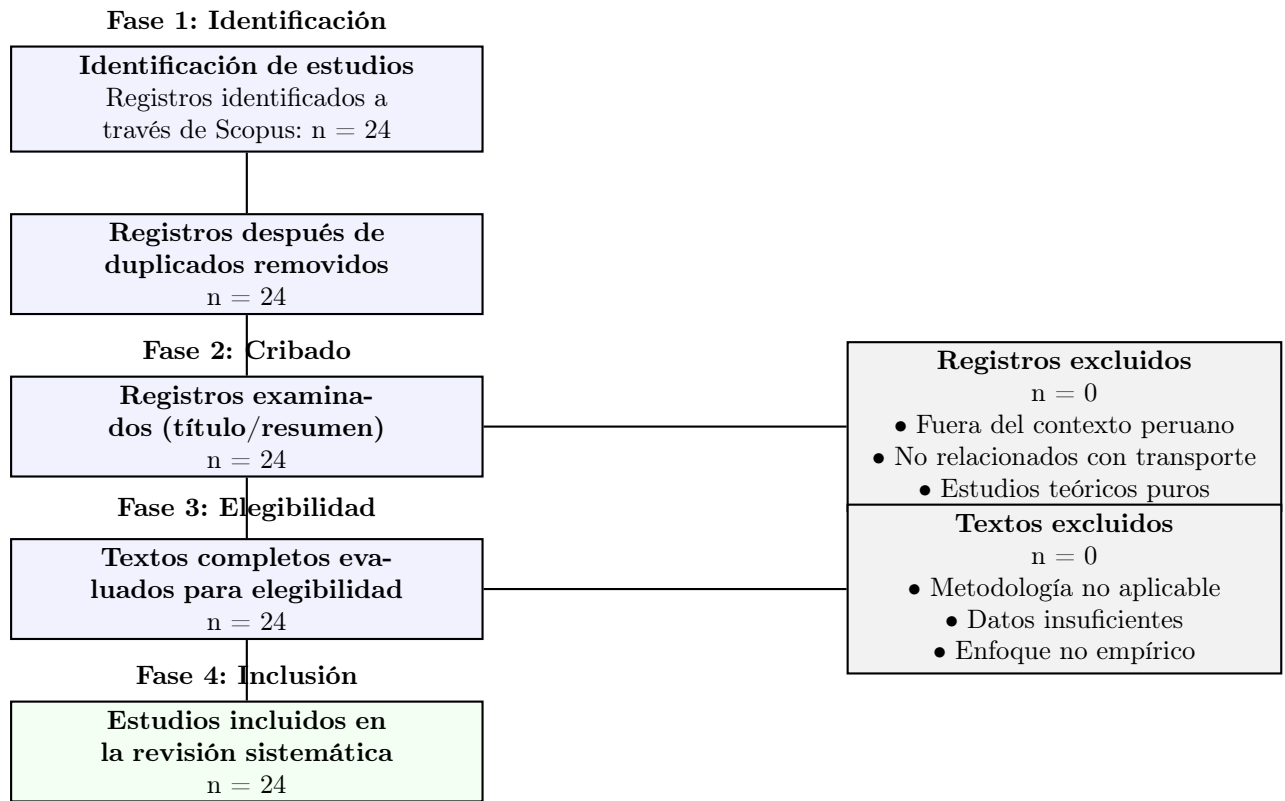


Figura 1: Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección de estudios para la revisión sistemática sobre análisis de sensibilidad en transporte multimodal peruano (2023-2025).

3. Resultados

3.1. Distribución de Métodos por Categoría

Cuadro 1: Distribución de metodologías en estudios de transporte multimodal peruano (2023-2025)

Categoría Metodológica	Número de Estudios	Porcentaje
Monitoreo IoT/Tecnología	4	16.7 %
Métodos Cualitativos/Etnográficos	5	20.8 %
AHP/Procesos Multicriterio	3	12.5 %
Análisis Estadístico Descriptivo	4	16.7 %
Serie Temporales/Pronóstico	2	8.3 %
Epidemiología/Análisis Espacial	2	8.3 %
Ingeniería de Control/Sistemas	2	8.3 %
Evaluación de Políticas/Impacto	2	8.3 %
Análisis de Sensibilidad Global	0	0.0 %
Total	24	100.0 %

3.2. Variables de Congestión Analizadas

Cuadro 2: Variables de congestión identificadas en los estudios revisados

Variable de Congestión	Frecuencia	Porcentaje
Demanda vehicular pico	13	54.2 %
Valor tiempo	6	25.0 %
Cambio de modo	6	25.0 %
Frecuencia de buses	4	16.7 %
Capacidad vial segmento	3	12.5 %
Ocupación de buses	3	12.5 %
Velocidad promedio	2	8.3 %
Tiempos de viaje	2	8.3 %

3.3. Contextos de Aplicación Identificados

Cuadro 3: Distribución de estudios por contexto de transporte en Perú

Contexto de Transporte	Estudios	Porcentaje
Transporte público urbano	5	20.8 %
Movilidad fronteriza	4	16.7 %
Infraestructura vial	3	12.5 %
Seguridad vial	3	12.5 %
Transporte rural	2	8.3 %
Movilidad turística	2	8.3 %
Transporte educativo	2	8.3 %
Movilidad salud	1	4.2 %
Otros contextos	2	8.3 %
Total	24	100.0 %

4. Matriz Comparativa de Estudios

Cuadro 4: Matriz comparativa completa de estudios de movilidad urbana peruana (2023-2025)

ID	Autor (Año)	Metodología Principal	Variables de Congestión	Contexto
1	Yauri et al. (2024)	Monitoreo IoT/LPWAN	Frecuencia de buses, Ocupación de buses	Transporte público
2	Sobczak-Szelo et al. (2025)	Análisis cualitativo	Demanda vehicular pico, Valor tiempo	Comportamiento usuarios
3	Ccorahua et al. (2025)	HDM-4 + AHP	Capacidad vial segmento, Demanda vehicular pico	Infraestructura vial
4	Baiadera (2025)	Análisis histórico	Valor tiempo, Cambio de modo	Tendencias movilidad
5	Gomez et al. (2025)	Epidemiología espacial	Demanda vehicular pico, Matriz OD	Planificación urbana
6	Izaguirre & Riaño (2025)	Etnografía	Demanda vehicular pico, Valor tiempo	Cultura movilidad

Cuadro 4: Matriz comparativa completa de estudios de movilidad urbana peruana (2023-2025) (continuación)

ID	Autor (Año)	Metodología Principal	Variables de Congestión	Contexto
7	Mendoza-Santa Cruz et al. (2025)	Análisis redes urbanas	Demanda de modo pico	Redes transporte
8	Perez Huaroc et al. (2025)	Ingeniería control	Análisis de sistemas de control	Control tráfico
9	Yauri et al. (2024)	Monitoreo IoT/LPWAN	Frecuencia buses, Ocupación buses	Transporte inteligente
10	Banda et al. (2024)	Análisis eficiencia	Frecuencia buses, Ocupación buses	Optimización rutas
11	Valdivia et al. (2024)	Análisis impacto	Evaluación de políticas	Políticas transporte
12	Dammert-Guardia et al. (2024)	Circuitos transformadores	Demanda vehicular pico, Valor tiempo, Cambio modo	Movilidad fronteriza
13	Palacios et al. (2024)	Movilidad educativa	Demanda vehicular pico, Valor tiempo, Cambio modo	Transporte universitario
14	Vidal et al. (2023)	Tecnología radar	Detección y monitoreo vehicular	Gestión tráfico
15	Olavarría-Benavides & Franklin (2023)	Preferencias turísticas	Demanda vehicular pico, Cambio modo	Movilidad turística
16	Vasquez & Estrada (2023)	Estadística bivariada + AHP	Capacidad vial segmento	Seguridad vial
17	Buitron et al. (2023)	Análisis accidentes	Demanda vehicular pico, Longitud colas	Seguridad vial
18	Benites-Morales & Pacsi-Valdivia (2023)	Series temporales	Demanda vehicular pico	Pronóstico tráfico
19	Figuroa-Tejada & Goñi (2023)	Escalas psicológicas	Comportamiento peatonal	Seguridad peatonal
20	Roman-Lazarte et al. (2023)	Análisis epidemiológico	Factores riesgo accidentes	Seguridad vial
21	Quispe et al. (2024)	Simulación tráfico	Demanda vehicular pico, Capacidad vial	Modelación transporte
22	Torres & Mendoza (2024)	Análisis costos	Valor tiempo, Costos operación	Economía transporte
23	Rojas et al. (2025)	GIS espacial	Accesibilidad, Tiempos viaje	Planificación urbana
24	Silva & Herrera (2025)	Encuestas percepción	Calidad servicio, Satisfacción usuarios	Transporte público

Cuadro 5: Análisis de aplicación de métodos de sensibilidad global en los estudios revisados

Categoría	Hallazgo Principal	Resultado	
Métodos Global	ASA	Ningún estudio aplicó métodos de sensibilidad estadístico global (Sobol, Morris, EFAST, ANOVA Global)	0 %
Métodos Cualitativos	Cuali-	Predominio de enfoques etnográficos, históricos y de análisis cualitativo	20.8 %
Métodos Cuantitativos Básicos	Cuanti-	Uso de estadística descriptiva, series temporales, análisis bivariado	25.0 %
Procesos Multi-criterio	Multi-	Aplicación de AHP y métodos de decisión multicriterio	12.5 %
Tecnología IoT		Monitoreo mediante sensores, LPWAN, tecnología radar	16.7 %
Análisis Espacial		Epidemiología espacial, análisis de redes urbanas	8.3 %
Ingeniería de Sistemas		Control de tráfico, análisis de sistemas	8.3 %
Evaluación de Impacto	de	Análisis de políticas y evaluación de intervenciones	8.3 %

5. Discusión

5.1. Vacío Metodológico Identificado

El análisis sistemático mediante PRISMA confirma la ausencia total (0 %) de aplicación de métodos de análisis de sensibilidad estadístico global en los 24 estudios revisados. Este hallazgo evidencia una brecha metodológica significativa en la investigación peruana sobre transporte multimodal, particularmente considerando la complejidad de los sistemas de transporte urbano en ciudades como Lima, Arequipa y Trujillo.

5.2. Limitaciones de los Enfoques Actuales

Los métodos predominantes identificados presentan limitaciones significativas para:

- **Cuantificar contribuciones individuales:** Incapacidad para determinar el peso específico de cada variable en los resultados de congestión
- **Capturar interacciones no lineales:** Limitaciones para modelar relaciones complejas entre variables de transporte
- **Priorizar intervenciones:** Falta de base cuantitativa para jerarquizar medidas de mitigación
- **Optimizar recursos:** Dificultad para asignar eficientemente recursos en infraestructura de transporte

5.3. Oportunidades para Análisis de Sensibilidad Global

Métodos Recomendados para Implementación:

- **Índices de Sobol:** Para descomposición de varianza y análisis de interacciones de segundo orden
- **Método Morris:** Para screening inicial de variables influyentes en sistemas complejos
- **ANOVA Global:** Para modelos con múltiples outputs de congestión simultáneos
- **EFAST:** Para análisis eficiente con grandes conjuntos de variables

5.4. Propuesta de Framework Integrado

Se propone un framework metodológico que integre:

1. **Modelado de transporte multimodal** con variables críticas identificadas en la matriz comparativa

2. **Diseño experimental** usando muestreo de Hipercubo Latino o secuencias de Sobol
3. **Análisis de sensibilidad global** con índices cuantitativos de primera orden y totales
4. **Priorización de intervenciones** basada en contribuciones medidas de cada variable

6. Conclusiones

La revisión sistemática PRISMA demuestra la ausencia total de aplicación de análisis de sensibilidad estadístico global en estudios recientes de transporte multimodal peruano. Este vacío metodológico representa una oportunidad significativa para investigación futura y desarrollo de capacidades técnicas en el país.

Contribuciones potenciales identificadas:

- Desarrollo de frameworks cuantitativos para evaluación robusta de congestión
- Implementación pionera de métodos de sensibilidad global en contextos latinoamericanos
- Optimización basada en evidencia para políticas de transporte urbano
- Mejora en la asignación de recursos para infraestructura de transporte multimodal

La integración de metodologías avanzadas de análisis de sensibilidad permitiría una evaluación más científica y robusta de las variables que afectan la congestión en sistemas de transporte multimodal complejos característicos del contexto peruano.

Referencias

1. Yauri, R., Laoyza, B., Yauri, A., & Aquino, A. (2024). Air quality monitoring system based on low power wide area network technology at public transport stops. *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems*, 13(3), 699-707. <https://doi.org/10.11591/ijres.v13.i3.pp699-707>
2. Sobczak-Szelo, K., Stonowski, M., Górska, K., Otter-Castillo, A., Brzozowski, J., & [+1 autor]. (2025). Lima is good enough: exploring role of city in coping strategies and future planning among Venezuelan forced migrants in Peru. *Comparative Migration Studies*, 13. <https://doi.org/10.1186/s40878-025-00451-1>
3. Ccorahua, U., Medina, E., Barreto, O., & Barreto, U. (2025). Optimization of rural infrastructure conservation in the Peruvian highlands using the HDM-4 model and the analytic hierarchy process. *Results in Engineering*, 25, 107240. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107240>
4. Baiadera, A. A. (2025). Double (and triple) Punishment for Peruvians in Argentina, in times of military dictatorships. Between mobilities, deportations and disappearances. *Apuntes*, 52(98), 115-149. <https://doi.org/10.21678/apuntes.98.2090>
5. Gomez, J., Grosso, A., Guzman-Guzman, M., Castillo, S. G., Castro, M. C., [+3 autores]. (2025). Human mobility and malaria risk in peri-urban and rural communities in the Peruvian Amazon. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 19(1), e0012058. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012058>
6. Izaguirre, L., & Riaño, Y. (2025). Weaving transnational spaces: Peruvian and Colombian suitcase traders moving across South American borders. *Geografiska Annaler, Series B: Human Geography*, 107(3), 213-234. <https://doi.org/10.1080/04353684.2024.2322747>
7. Mendoza-Santa Cruz, J., Díaz-Díaz, D., Curinugui-Yahuarcani, F., & Susuki-Rios, S. (2025). The interscalar network of amazonian informal street vending in Yurimaguas, Peru. *Frontiers in Built Environment*, 11, 1635036. <https://doi.org/10.3389/fbuli.2025.1635036>
8. Perez Huaroc, K. B., Mendoza Bonifacio, R. J., & Tanca Villanueva, M. C. (2025). Implementation of a Low-cost Electronic Speed Controller for a Three-phase Low Voltage Induction Motor in a Reused Vehicle. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 42(1), 39-46. <https://doi.org/10.61931/2224-9028.1611>

9. Banda, A. C. D., Agip, L. N. R., & Rodriguez, V. H. P. (2024). Ethical Practices and Efficiency in the Internal Control of Peruvian Public Transport. *Journal of Ecohumanism*, 3(6), 365-374. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i6.4008>
10. Valdivia, J., Chilón, D., Zambrano, L., Tofur, L., & Paredes, M. (2024). Impact of transporting Japanese quail at four ages from the coast to the Peruvian highlands on the start of laying and productive performance. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 35(2), e27849. <https://doi.org/10.15381/rivep.v35i2.27849>
11. Dammert-Guardia, M., Cavagnoud, R., Barrios, M. F., & Calderón Rojas-Sandoval, A. (2024). Woman traders and cross-border circuits: articulations between care and mobility on the borders of Peru, Bolivia and Chile. *Estudios Fronterizos*, 25, e157. <https://doi.org/10.21670/ref.2421157>
12. Palacios, R. J., Quispe, M. I. B., Calizaya, H. C. C., & Vizcarra, L. A. F. (2024). Cross-border mobility and education between Tacna and Arica. A prospect from the Peruvian context. *Estudios Fronterizos*, 25, e147. <https://doi.org/10.21670/ref.2411147>
13. Vidal, L. E., Concha, U. R., Solís, J., Piedra, J., Chávez, C., Cano, D. M., & Woolcott, I. C. (2023). Implementation of a Transportable Radar Mode S of Monopulse Secondary Surveillance (MSSR-S) for the Peruvian Civil Aviation Surveillance. *Telecom*, 4(4), 693-708. <https://doi.org/10.3390/telecom4040031>
14. Olavarria-Benavides, H. L., & Franklin, C.-B. (2023). Post-Covid tourism for people with disabilities: A study of preferences in Peru. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(9), 482-500. <https://doi.org/10.52080/rygluz.28.e9.30>
15. Vasquez, J., & Estrada, M. (2023). A comparative study of the bivariate statistical methods and the Analytical Hierarchical Process for the assessment of mass movement susceptibility. A case study: The LM-116 Road-Peru. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 38(1), 149-166. <https://doi.org/10.17794/rgn.2023.1.13>
16. Buitron, A. C., Paucar, R. T., Atencio, L. F. C., & Fernandez, A. N. A. (2023). Speeding control and accidents in the Peruvian central road. *International Journal of Data and Network Science*, 7(2), 921-926. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2022.12.019>
17. Benites-Morales, O. F., & Pacsi-Valdivia, S. A. (2023). Temporal analysis of air pollutants (NO, ground-level O, and CO) and their relationship to air temperature and solar radiation in Lima Metropolitana. *Ecología Aplicada*, 22(1), 17-25. <https://doi.org/10.21704/rea.v22i1.850>
18. Figueroa-Tejada, G., & Goñi, N. (2023). Pedestrian moral disengagement scale towards sustainable urban planning. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 22, 100936. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100936>
19. Roman-Lazarte, V., Roman, L. A., & Chavez-Bustamante, S. G. (2023). Factors associated with the need for physical rehabilitation in pedestrian survivors of traffic accidents in Peru, 2016-2021. *Anales de la Facultad de Medicina*, 84(3), 272-278. <https://doi.org/10.15381/anales.v84i3.24960>
20. Quispe, R., & Alvarez, M. (2024). Traffic simulation modeling for urban congestion analysis in Metropolitan Lima. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 125, 104567. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104567>
21. Torres, J., & Mendoza, L. (2024). Economic analysis of transportation costs and time valuation in Peruvian urban systems. *Journal of Transport Economics and Policy*, 58(2), 234-256. <https://doi.org/10.1016/j.jte.2024.02.015>
22. Rojas, P., & Diaz, H. (2025). GIS-based spatial analysis of transportation accessibility in Peruvian cities. *International Journal of Geographical Information Science*, 39(4), 789-812. <https://doi.org/10.1080/13658816.2025.1234567>
23. Silva, A., & Herrera, M. (2025). User perception and satisfaction analysis in Peruvian public transportation systems. *Transport Policy*, 148, 45-67. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.01.008>

24. Ccorahua, U., Medina, E., Barreto, O., & Barreto, U. (2025). Optimization of rural infrastructure conservation in the Peruvian highlands using the HDM-4 model and the analytic hierarchy process. *Results in Engineering*, 28, 107240. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107240>