

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



SUSTAINABLE URBAN LOGISTICS MODEL APPLIED TO FOOD TRUCKS. CASE STUDY AND DESCRIPTIVE ANALYSIS

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Andrea Fernanda Peirano Madrid

Código 20181419

Arianna Zúñiga Novaro

Código 20182133

Asesor

José Antonio Taquía Gutiérrez

Lima – Perú

Agosto de 2024

Propuesta Carrera Ingeniería Industrial
Título SUSTAINABLE URBAN LOGISTICS MODEL APPLIED TO FOOD TRUCKS. CASE STUDY AND DESCRIPTIVE ANALYSIS
Autor(es) Andrea Fernanda Peirano Madrid 20181419@aloe.ulima.edu.pe Arianna Zúñiga Novaro 20182133@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima
<p>Resumen: Actualmente, el servicio de food trucks se encuentra en crecimiento debido al cambio de hábitos de consumo de comida rápida de clientes. El propósito de la investigación es comprobar la lógica de utilización de la logística urbana para mejorar la optimización de abastecimiento de food trucks. La presente investigación propone realizar un caso de estudio en donde se plantea métodos de optimización de ruta, ubicación céntrica y la estimación del impacto ambiental a través de la emisión de gases contaminantes al momento de realizarse el abastecimiento de food trucks; se utilizó el software RStudio y COPERT V para la obtención de resultados cuantitativo. Con respecto a los resultados, se obtuvo que el food truck es viable debido al número de clientes potenciales dentro de la zona del caso de estudio. Se encontró la ubicación céntrica (longitud, latitud) del food truck dentro de la zona donde se encuentran sus clientes; además, gracias a la ruta óptima de abastecimiento se pudo calcular las emisiones de gases contaminantes: CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, NO_x, VOC.</p> <p>Palabras Clave: Logística urbana; food trucks; impacto ambiental; optimización de rutas; ubicación céntrica óptima.</p> <p>Abstract: Currently, the food truck service is growing due to the changing fast food consumption habits of customers. The purpose of the research is to test the logic of using urban logistics to improve food truck supply optimization. This research proposes to carry out a case study where route optimization methods, central location and the estimation of environmental impact through the emission of pollutant gases at the time of supplying food trucks are proposed; RStudio and COPERT V software were used to obtain quantitative results. With respect to the results, it was obtained that the food truck is viable due to the number of potential customers within the case study area. The central location (longitude, latitude) of the food truck within the area where its customers are located was found; in addition, thanks to the optimal supply route, it was possible to calculate the emissions of pollutant gases: CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, NO_x, VOC.</p> <p>Keywords: Urban logistics; food trucks; environmental impact; route optimization; optimal central location.</p>
Línea de investigación IDIC – ULIMA Operaciones y logística
Área y Sub-áreas de Investigación: Línea: 8. Supply Chain Management Sub línea: 2.2. Simulación para la mejora o diseño de procesos
Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS) ODS 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la sociedad actual, se puede lograr apreciar distintos cambios como: un continuo aumento de población dentro de las zonas urbanas, preocupación de los ciudadanos por la contaminación ambiental o la misma seguridad dentro de sus ciudades, problemas de congestión y tráfico, la aparición de nuevas oportunidades tecnológicas, y responsables políticos del transporte urbano (Lagorio et al., 2016). Por lo que una solución para reducir los diferentes impactos que se pueden identificar en las ciudades, se tiene a la logística urbana.

Debido a los nuevos retos que enfrentan las ciudades debido a las grandes concentraciones, los diferentes grupos de interés se ven afectados debido a que se vuelve más difícil satisfacer eficientemente y eficazmente las necesidades de los ciudadanos (Anand et al., 2012, como se citó en Palacios et al., 2018). Según Rose, W. et al. (2015), las empresas tendrán que reevaluar sus prácticas logísticas cuando se vean obligadas a trabajar con sus proveedores y clientes ubicados dentro de las zonas urbanizadas.

La logística urbana se ha podido aplicar dentro del proceso de suministro de alimentos pues este presenta retos medioambientales, sociales y económicos. Diferentes autoridades locales tienen en cuenta la calidad y seguridad de alimentos, y el impacto en el medio ambiente que generan los sistemas de suministros y transporte de estos. (Palacios et al., 2018). Por lo que es importante encontrar la mejor localización de los centros de distribución dentro de las ciudades para las empresas interesadas. Al lograr esto, se pudo apreciar un cambio en las ciudades debido a que las rutas de transporte serán más eficientes, trayendo como consecuencia menos congestión y un menor impacto negativo en el ambiente. Pero, para implementar la logística urbana no solo se debe tener como variable el transporte, sino también la demanda y distribución de alimentos.

Hoy en día no solo han crecido los restaurantes de comida rápida, sino que también la cantidad de food trucks que se pueden encontrar estacionados en puntos de calles transitadas que facilitan el acceso de consumo de alimentos. Un food truck es un camión o tráiler acondicionado con las herramientas necesarias (Ejemplo: cocina) para la producción y venta de alimentos de comida rápida. Sin embargo, la modalidad de distribución de estos es en puntos fijos que deben ser ubicados de manera estratégica para disminuir los costos de transporte y contar con el inventario de materia prima óptimo para no desabastecerse en una jornada o, por el contrario, tener un exceso que genera desperdicio de alimentos. Según Raicu, S. et al. (2020), los almacenes de los puntos de distribución urbana involucran un gran número de vehículos por los que se debe realizar un seguimiento operativo de las rutas para limitar el consumo y emisión excesiva de gases contaminantes.

De esta manera, no solo se generan costos de transporte y desperdicio de materia prima, sino que también esto conlleva a un impacto ambiental. Como es identificado por Muñoz-Villamizar, A. et al. (2015), a pesar de que la logística urbana sea una parte menor del tiempo total de transporte de mercancías, este llega a representar un 28% de costos de transporte. Por otro lado, los gases contaminantes varían entre el 16-50% de la contaminación global debida a actividades realizadas dentro de zonas urbanas.

No obstante, a pesar de los avances encontrados en las diferentes fuentes publicadas descritas anteriormente, se sabe poco sobre cómo la logística urbana también tiene efectos en diferentes servicios dentro de las ciudades, específicamente en food trucks. Dado que pocos investigadores han abordado las aplicaciones de logística urbana en food trucks es necesario explorar esta modalidad de servicio de comida rápida para lograr alinear este dentro del propósito que tiene la logística urbana, los cuales son ser sostenible y eficiente.

La pregunta de investigación es: ¿es posible ejecutar el modelo de logística urbana para lograr un óptimo y sostenible abastecimiento de inventario en food trucks en Lima Metropolitana por medio de una simulación para disminuir el impacto ambiental emitido por gases contaminantes? El propósito de este trabajo es ejecutar una simulación en un modelo de logística urbana para lograr un óptimo y sostenible abastecimiento de inventario en food trucks en Lima Metropolitana.

La razón por la que se da esta investigación es comprobar la lógica de utilización de la logística urbana para mejorar la optimización de abastecimiento de los food trucks. De esta manera, se puede estimar las emisiones de CO₂, FC, NO_x, VOC y PM para una distribución sostenible, y con el conocimiento de los

clientes potenciales y proveedores lograr encontrar la ubicación y ruta de abastecimiento óptima del food truck.

Por tal motivo, en este estudio probaremos las siguientes hipótesis: Es posible ejecutar una simulación en un modelo de logística urbana para lograr un óptimo y sostenible abastecimiento de inventario en food trucks en Lima Metropolitana.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección de Métodos se describirá la formulación utilizada para simular el proceso de optimización. Luego, en la de Resultados se demostrarán los hallazgos obtenidos de la simulación. Finalmente, en la de Discusión se analizarán los resultados obtenidos para comprobar la hipótesis formulada.



OBJETIVOS

Ejecutar una simulación en un modelo de logística urbana para lograr un óptimo y sostenible abastecimiento de inventario en food trucks en Lima Metropolitana.

Con respecto a los objetivos específicos, se plantearon los siguientes:

1. Lograr obtener la ruta realista y óptima de transporte para abastecer de materia prima los food trucks.
2. Utilizar un modelo de estimación de la demanda de consumo en los food trucks, para lograr conocer los clientes potenciales.
3. Estimar las emisiones de CO₂, FC, NO_x, VOC, PM cuando los food trucks realizan su etapa de abastecimiento de materia prima.
4. Encontrar la ubicación óptima del food truck entre sus clientes potenciales.

JUSTIFICACIÓN

La razón por la que se da esta investigación es comprobar la lógica de utilización de la logística urbana para mejorar la optimización de abastecimiento de los food trucks. De esta manera, se puede estimar las emisiones de CO₂, FC, NO_x, VOC y PM para una distribución sostenible, y con el conocimiento de los clientes potenciales y proveedores lograr encontrar la ubicación y ruta de abastecimiento óptima del food truck.

HIPÓTESIS

Es posible ejecutar una simulación en un modelo de logística urbana para lograr un óptimo y sostenible abastecimiento de inventario en food trucks en Lima Metropolitana.

DISEÑO METODOLÓGICO

- Tipo: Experimental

La presente investigación fue de tipo experimental, debido a que se ponen en práctica las fórmulas planteadas y descritas en el diseño de investigación a realizar.

- Enfoque: Cuantitativo

Para poder lograr una ubicación y ruta de abastecimiento óptima para food trucks, se debe tener en consideración los siguientes datos a recolectar: emisión de gases, kilómetros recorridos, ubicación de proveedores, cantidad de clientes potenciales, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa. De esta manera, se demuestra que la investigación tiene un enfoque cuantitativo basado en bases de datos numéricos.

- Alcance: Descriptivo

Se debe tener en consideración que la investigación consiste en un caso de estudio en el que se desarrolla un análisis descriptivo debido a que se realiza una encuesta que brinda una data más exacta con respecto al número de clientes potenciales.

- Técnicas e instrumentos de la investigación:

a) Técnicas:

Modelo de optimización

Aplicación de fórmula matemática

Entrevista

b) Instrumentos:

Software RStudio (codificación)

Software Copert V para la estimación de gases contaminantes producidos.

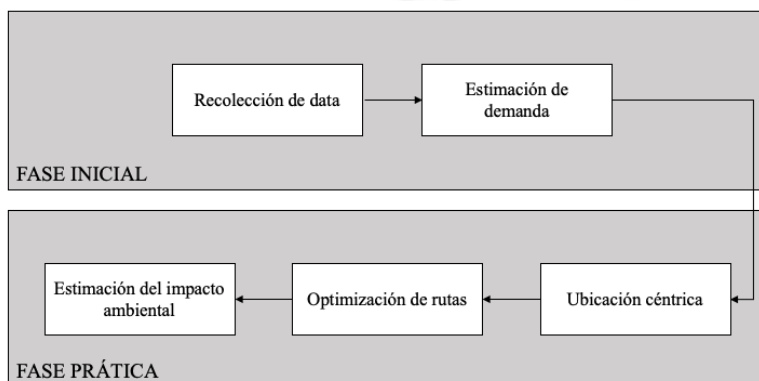
Encuesta

- Etapas del desarrollo de la investigación:

La siguiente figura muestra la fase inicial y práctica que se desarrolla en la presente investigación:

Figura 1.1

Diseño de la investigación



Fase Inicial

En primer lugar, la fase inicial de la investigación consistió en dos etapas, las cuales fueron las siguientes: recolección de data y estimación de demanda. La primera etapa, consistió en reunir información necesaria

para construir las siguientes fases. En la segunda etapa, se realizó la estimación de la demanda de los clientes potenciales que consumirán la comida brindada por el food truck.

1. Recolección de data

La primera etapa de la fase inicial fue la recolección de data que se utilizó para los modelos que se proponen. Para la estimación de la demanda, y así obtener los clientes potenciales, se recolectó información por medio de las encuestas que se realizaron a diferentes clientes que consumen comida brindada por food trucks en la zona donde se realizó el caso de estudio. El cuestionario tuvo preguntas de intención e intensidad para poder estimar la demanda de clientes potenciales. La muestra se obtuvo gracias a la fórmula de “Población finita” debido a que se conoce el tamaño de la población total. Las preguntas de la encuesta realizada fueron validadas por expertos de “Investigación de Mercados”.

La muestra por estudiar se calculó al aplicar la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

En donde:

N: Población total de zona de caso de estudio

Z: Teniendo en consideración una seguridad del 95%, este valor será 1.96

p: Proporción esperada, este valor será 50%

q: Es el complemento de p, en este caso será 50%

d: Precisión de la investigación, en este caso será 5%

Teniendo en cuenta que se debe tener un enfoque espacial, para los cálculos de las distancias de viajes, se recolectaron las direcciones y paradas que se ven involucradas dentro del proceso de abastecimiento del food truck.

Adicionalmente, se extrajo la información sobre la temperatura mínima, temperatura máxima y humedad relativa de la ciudad de Lima desde la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), el cual es una entidad adscrita del Ministerio del Ambiente del Perú. Estos datos fueron utilizados para la fase práctica en la estimación del impacto ambiental.

2. Estimación de demanda

La segunda etapa consistió en obtener la demanda de pedidos diarios a través de la encuesta realizada en donde se obtuvo la intención e intensidad de estos.

Una vez obtenida la muestra, se realizó la encuesta a transeúntes de la zona en donde se estacionaba el food truck para la venta de sus platos. La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$\text{Número de clientes potenciales} = N_{\text{Personas}} \times \text{Intensidad} \times \text{Intención}$$

En donde:

Número de clientes potenciales: Son las personas encuestadas que contestaron que se encontrarían interesados en consumir el plato ofrecido del food truck; por ende, es la intención de compra multiplicado por la intensidad.

Intensidad: Porcentaje de personas en donde se demuestre el grado de interés en la compra (Intervalo de 1-10).

Intención: Porcentaje de personas que estarían dispuestos a consumir en el food truck.

Fase Práctica

Con respecto a la fase práctica de la investigación, se demostró lo necesario para la ubicación céntrica del food truck, optimización de rutas y estimación de los impactos ambientales.

En primer lugar, la ubicación céntrica del food truck, obtuvo el punto en donde se debe ubicar el food truck para abastecerse y entregar los pedidos de platos a sus clientes potenciales.

En segundo lugar, gracias a que se encontró la ubicación céntrica, se logró obtener la ruta óptima de abastecimiento para el food truck cubriendo todos los puntos a los que tiene que llegar: almacén, proveedores y punto de venta.

En tercer lugar, el impacto ambiental midió la cantidad de gases emitidos por el food truck con respecto a la distancia recorrida desde el primer punto hasta el punto de venta de sus platos a ofrecer.

1. Ubicación céntrica

Respecto a la primera etapa de esta fase, se utilizó el software RStudio en donde se puso en práctica la codificación realizada por Linnart, M.Sc. (2022). El objetivo de la codificación es poder encontrar la ubicación céntrica bajo los principios de enfoque del centro de masa utilizando las fórmulas de x (longitud) e y (latitud), estas usan un peso el cual es la “volumen de gasto por pedidos”.

Al tener las coordenadas promedio ponderadas del centro de masa, la ubicación se visualizó con un gráfico de dispersión con “ggplotz/ggmap”. En RStudio con el paquete de Leaflet, se graficó el mapa de calor donde también se puede visualizar el punto céntrico óptimo.

El punto céntrico se consideró como punto de ubicación del food truck para los siguientes cálculos de optimización de rutas y estimación de gases contaminantes emitidos al momento de recorrer las distancias de abastecimiento del food truck.

2. Optimización de rutas

La segunda etapa de la fase práctica de la investigación, consistió en la construcción de una ruta óptima para el suministro de alimento de los food trucks. Para espacializar la ruta se tuvo en cuenta el factor distancia que toma de ir a los diferentes puntos hasta el punto final. Los puntos pueden variar entre: el almacén de materia prima, la ubicación céntrica previamente encontrada, y la de los proveedores.

Para la creación de la ruta óptima se utilizó “Analítica en sistemas georreferenciados” realizado por Taquía, J. (2022), este permite una optimización de rutas y análisis de modelos de distribución inteligente. Además, la herramienta permitió obtener la distancia recorrida en kilómetros que el food truck recorre para llegar del punto inicial al punto final.

Se utilizan algoritmos “A+” y “Dijkstra”, debido a que el algoritmo se detiene cuando este encuentra el camino más corto que lleva desde el punto inicial hasta el resto de puntos.

3. Estimación impacto ambiental

Para la estimación del impacto ambiental, se tuvo en consideración solamente las emisiones directas de los gases de escape procedentes del uso de los vehículos. El software estimó las emisiones de CO₂, FC, NO_x, VOC, PM, pues estos son los implicados durante el proceso de abastecimiento de food trucks. El software COPERT V (Programa de computación para calcular las emisiones de rutas de transporte) plantea la siguiente fórmula para estimar la emisión de gases:

$$\text{Emisión de gases} = f_{\text{emisión}}(\text{categoría del camión, velocidad}_{\text{promedio}}) \times \text{distancia}_{\text{recorrida}}$$

En donde:

$f_{\text{emisión}}$: Es la función que se extrae de la base de datos de emisiones de COPERT V.

La fórmula consiste en el ingreso de base datos de la temperatura mínima, máxima y humedad relativa de la zona en donde se realizó el estudio, en este caso será en Lima, Perú. Además, se ingresó la categoría (modelo del vehículo que se realizó el recorrido de la ruta) y la distancia recorrida en kilómetros. Los datos ingresados corresponderán al año 2021 con el historial reportado por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).

NOTAS

Agradecemos al profesor y asesor José Antonio Taquía por acompañarnos durante estos dos ciclos y por el apoyo para realizar el paper propuesto, sin su apoyo no hubiera sido posible tener este resultado.

REFERENCIAS

- Gann M., & et al. (2018). The identification of truck-related greenhouse gas emissions and critical impact factors in an urban logistics network. *Journal of Cleaner Production*, 178, 561-571. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.047>.
- Lagorio, A., & Pinto, R. (2016). Research in urban logistics: a systematic literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46 (10), 908-931. DOI 10.1108/IJPDLM-01-2016-0008
- Linnart, M.SC (2022). *Simulación de Montecarlo en R aplicada la evaluación de riesgos para ubicación de almacenes*.
- Muñoz-Villamizar, A., et al. (2015). Non-collaborative versus collaborative last-mile delivery in urban systems with stochastic demands. *Procedia CIRP*, 30, pp. 263-268. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.147>
- Palacios-Argüello, L., & et al. (2018). Assessing the economic and environmental impacts of urban food systems for public school canteens: case study of Great Lyon region. *European Transport Research Review*, 10 (37). <https://doi.org/10.1186/s12544-018-0306-8>
- Rabe, M., et al. (2021). Simulation-optimization approach for multi-period facility location problems with forecasted and random demands in a last-mile logistics application. *Algorithms*, 14 (2), art. no. 41. <https://doi.org/10.3390/a14020041>
- Raicu, S., et al. (2020). Distribution system with flow consolidation at the boundary of urban congested areas. *Sustainability (Switzerland)*, 12 (3), art. no. 990. <https://doi.org/10.3390/su12030990>
- Rose, W., & et al. (2016). Exploring urban institutional pressures on logistics service providers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46 (2), 153-176. DOI 10.1108/IJPDLM-03-2015-0068
- Rzeźny-Cieplińska, J., & Szmelter-Jarosz, A. (2020). Environmental sustainability in city logistics measures. *Energies*, 13 (6), art. no. en13061303. <https://doi.org/10.3390/en13061303>
- Sakai, T., & et al. (2019). Evaluation of the spatial pattern of logistics facilities using urban logistics land-use and traffic simulator. *Journal of Transport Geography*, 74, 145-160. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.10.011>.
- Szmelter-Jarosz, A., & et al. (2020). Assessing resources management for sharing economy in urban logistics. *Resources*, 9 (9), art. no. 113. <https://doi.org/10.3390/RESOURCES9090113>
- Taquía, J. (2022). Analítica en sistemas georreferenciados. https://joseantoniotaquia.shinyapps.io/Planning_Gis/
- Urzúa-Morales, J.G., et al. (2020). Logistic modeling of the last mile: Case study Santiago, Chile. *Sustainability (Switzerland)*, 12 (2), art. no. 648. <https://doi.org/10.3390/su12020648>
- Wang, J., & et al. (2019). Promoting low carbon agenda in the urban logistics network distribution system. *Journal of Cleaner Production*. 211, 146-160. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.123>.
- Wasiak, M., et al. (2017). The method for evaluation of efficiency of the concept of centrally managed distribution in cities. *Transport*, 32 (4), pp. 348-357. <https://doi.org/10.3846/16484142.2017.1345005>
- Winkenbach, M., & et al. (2016). Enabling Urban Logistics Services at La Poste through Multi-Echelon Location-Routing. *Transportation Science*, 50 (2), 520-540. <http://dx.doi.org/10.1287/trsc.2015.0624>

ANEXOS.

Datos del artículo publicado

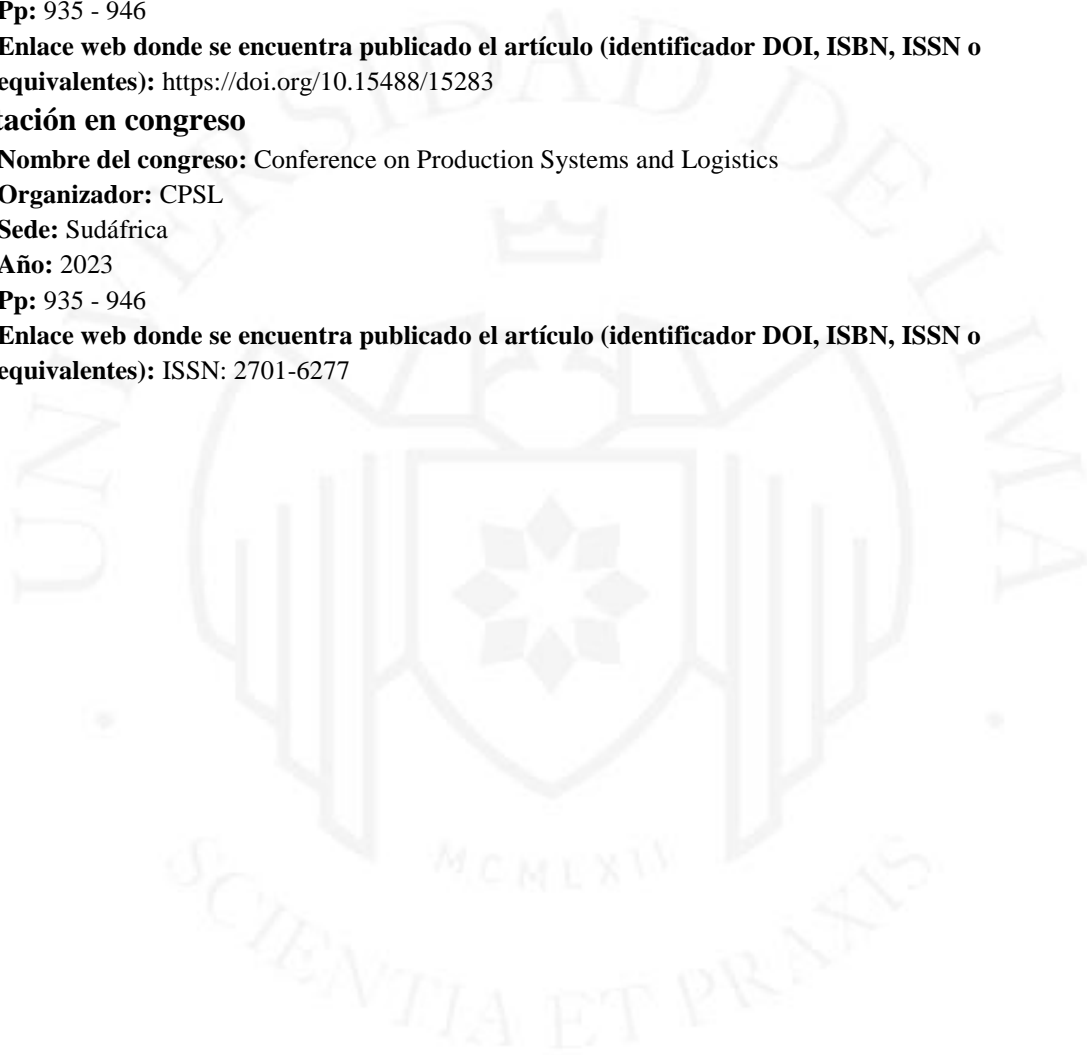
- **Nombre del artículo:** Sustainable Urban Logistics Model Applied to Food Trucks. Case Study and Descriptive Analysis
- **Autores:** Andrea Fernanda Peirano Madrid, Arianna Zúñiga Novaro.
- **Co autor(es):** Yvan Jesus Garcia Lopez, José Antonio Taquía Gutiérrez

Publicación en revista

- **Nombre de la revista:** Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 - 2
- **Volumen:** 1
- **Número:** 1
- **Año:** 2023
- **Pp:** 935 - 946
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://doi.org/10.15488/15283>

Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** Conference on Production Systems and Logistics
- **Organizador:** CPSL
- **Sede:** Sudáfrica
- **Año:** 2023
- **Pp:** 935 - 946
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** ISSN: 2701-6277



foodTrucks

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.anpet.org.br

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to American Public University System

Trabajo del estudiante

1%

3

easychair.org

Fuente de Internet

1%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad de Lima

Trabajo del estudiante

1%

6

etrr.springeropen.com

Fuente de Internet

1%

7

www.mdpi.com

Fuente de Internet

1%
