



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

# **ELECTROLOGÍSTICA:**

## **Distribución urbana de mercancías a través de vehículos eléctricos**

---

Miguel Gastón Cedillo Campos  
Hipólito Martell Flores

Publicación Técnica No. 682  
**Sanfandila, Qro.**  
**2022**

ISSN 0188-7297



Este breve análisis exploratorio fue realizado en el marco de la colaboración internacional entre el Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos, Responsable Técnico del Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística (SiT-LOG), de la Coordinación de Transporte Integrado y Logística del Instituto Mexicano del Transporte, y el Dr. Hipolito Martell-Flores, Profesor del Departamento de Ingeniería Urbana de la Universidad de Tecnología de Compiègne e Investigador Asociado de la Universidad de Havre, Francia.

La presente publicación se desarrolló en el marco del proyecto de investigación interno TI-14/20 Propuesta para medir el valor logístico de la Infraestructura de Transporte Carretero. Los autores desean agradecer las valiosas contribuciones tanto del Profesor Jan Fransoo (Tilburg University) durante las discusiones durante el desarrollo del *LogistiX-Lab*, como aquellas de nuestros colegas investigadores del Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Jared Piña, César Montiel, Bernardo Hernández, y Marisol Barrón. Igualmente, el primer autor desea agradecer la atenta colaboración del Dr. Alfredo Santana, Profesor del Tec de Monterrey, Campus Querétaro, durante el levantamiento de información durante el diseño y desarrollo del *LogistiX-Lab*.

Una primera versión del presente documento fue expuesta durante la edición 2021 del *Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG)*, organizado por la Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C. (AML). Los autores agradecen los análisis y comentarios compartidos por tres revisores anónimos, los cuales han permitido mejorar el presente trabajo.

Sin embargo, cabe aclarar que, a pesar de toda la colaboración recibida, los autores asumen la total responsabilidad de la información y los análisis aquí expuestos.



# Contenido

---

	Página
Índice de figuras .....	v
Sinopsis .....	vii
Abstract .....	viii
Resumen ejecutivo .....	ix
1. Introducción .....	1
2. Antecedentes.....	5
2.1 Infraestructura .....	6
3. Distribución urbana de mercancías .....	9
4. Uso de vehículos eléctricos de carga .....	13
5. Implementación .....	15
6. Conclusiones .....	19



## Índice de figuras

---

Figura 3.1	Zona de pruebas en tiempo real del <i>LogistiX-Lab</i> . .....	9
Figura 3.2	“ <i>Súper Bahía</i> ” de carga/descarga durante el programa piloto.....	10
Figura 3.3	Mapas de intensidad en las operaciones de carga/descarga.....	11
Figura 3.4	Zonas definidas para las operaciones de carga y descarga. ....	11
Figura 4.1	Tipos de vehículos eléctricos. ....	14
Figura 5.1	ELYSIUM ( <i>Espacio Logístico y de Soporte Integrado Urbano a la Movilidad</i> ). ...	18



## Sinopsis

---

Una reducida fluidez en la distribución urbana de mercancías impulsa tanto barreras para el desarrollo económico de las ciudades, como para el ineficiente uso de los recursos energéticos. De este modo, una logística poco efectiva, aunada al uso de tecnologías motrices a base de combustibles fósiles, están mermando tanto la competitividad de las empresas, como de las ciudades. En consecuencia, hoy se abre una nueva perspectiva para soluciones innovadoras. La intersección entre el área conocida como “*Electromovilidad*” y la denominada “*logística de la carga urbana*”, define lo que nosotros entendemos como: “*Electrologística*”. Para este documento, la definimos como el área de conocimiento que se ocupa del diseño de estructuras y sistemas para una mejor distribución urbana de mercancías, a través de vehículos eléctricos. Con base en los resultados alcanzados con la implementación del *LogistiX-Lab* en la ciudad de Querétaro (México), se explora la posibilidad de utilizar una flota de vehículos de carga movidos por electricidad. Como resultado, se presentan retos y oportunidades, además de aspectos iniciales de lo que implicaría un enfoque de electrologística en zonas con patrimonio histórico, especialmente Centros Históricos. Finalmente, se presentan conclusiones de interés tanto para investigadores, como para tomadores de decisión públicos y privados.

## Abstract

---

A reduced fluidity in the urban freight distribution creates barriers to the economic development of cities, as well as to the inefficient use of energy resources. In this way, an ineffective logistics and the use of powertrain technologies based on fossil fuels are reducing both the competitiveness of companies and cities. Consequently, today a new perspective for innovative solutions is open. The intersection between the area known as “*electromobility*” and the so-called “*urban freight logistics*” defines which we understand as “*Electrologistics*”. For this document, we defined it as the area of knowledge that deals with the design of structures and systems for an improved urban freight distribution, based on electric vehicles. Based on the results obtained thanks to the *LogistiX-Lab* execution in the city of Querétaro (Mexico), It is explored the possibility of using a fleet of freight electric vehicles. As a result, challenges and opportunities are presented, in addition to preliminary issues about what an electro-logistics approach would imply for cities with historical heritage, known as historic centers. Finally, conclusions of interest for researchers and public and private decision makers are presented.

## Resumen ejecutivo

---

Si bien recientemente se han desarrollado grandes avances en cuanto a mejorar la distribución urbana de mercancías, la realidad es que, en regiones como América Latina, aún existen retos y oportunidades por resolver. Una de ellas es la “*Electrologística*”. Brevemente, denominamos electrologística al área del conocimiento que se ocupa del diseño, organización y gestión de modelos y sistemas para la mejor distribución urbana de mercancías, a través de vehículos eléctricos.

Hasta hoy, la “*optimización*” de las operaciones de distribución se hace por empresa, es decir, desde una perspectiva individual. Sin embargo, con la intensificación de las entregas, se ha puesto en evidencia grandes problemas que deben ser resueltos tanto en el ámbito de las empresas, como de las autoridades municipales. Para percatarse del problema, basta identificar las zonas con alta concentración de pequeños negocios, en donde convergen una gran cantidad de vehículos de diversos tipos y tonelajes. Tanto los sistemas logísticos, como los sistemas urbanos, se encuentran bajo mucha tensión.

Debido a que no existe actualmente alguna forma de coordinación público-privada, la cual permita optimizar el uso, en área y tiempo, del espacio público dedicado a las operaciones de carga y descarga necesarias para completar el abastecimiento, las entregas de “*últimos metros*” se vuelven cada vez más ineficientes y costosas. En realidad, cada vez se muestra más evidente que la autoridad pública local (autoridades municipales) y privados (empresas repartidoras, pequeños negocios, etc.), rediseñen la forma de tomar decisiones logísticas. Avanzar desde una perspectiva individual, a una con una visión de “*inteligencia colectiva en logística*” (Cedillo-Campos, 2020). Es decir, que sus decisiones tomen en cuenta una mayor cantidad de información y perspectivas de los diferentes actores, con el interés de que se puedan tomar decisiones colaborativas de forma dinámica y confiable, ante las cambiantes circunstancias de las entregas urbanas.

Cabe resaltar que una solución de distribución urbana de mercancías depende del contexto (Savy, 2012), por lo tanto, si bien existen bases estándar que son uniformes a diferentes contextos, es necesario considerar que cada solución debe tener sus propias características. De hecho, un modelo efectivo responde tanto a las características intrínsecas de la operación de las empresas, como a las contextuales del entorno urbano. Es por ello que se requieren soluciones ajustadas a la realidad imperante. Es así que las soluciones deben ser dinámicas, ya que deben cambiar junto con la realidad.

En la mayoría de las grandes ciudades, la distribución urbana de mercancías representa un problema con diferentes tipos de afectaciones, entre ellos dos principales: i) Bloqueo temporal de calles, avenidas y plazas de estacionamiento reservadas para otro tipo de servicios (por ejemplo: espacios para minusválidos, para bomberos, ambulancias, transportes públicos, entradas de estacionamientos, etc.); y ii) Impacto ambiental creciente.

Es importante destacar que debido a que cada zona urbana cuenta con un trazado urbano, dinámicas económicas y poblacionales, así como aspiraciones de desarrollo en su calidad de vida que les son particulares, las soluciones de distribución urbana de mercancías no pueden ser exactamente iguales. Existen factores de base que son comunes al momento de diseñar una solución y por lo tanto con potencial para ser “*estandarizados*”. Sin embargo, otros muy específicos vinculados a las dinámicas urbanas, deben ser adaptados. Sobre todo, las soluciones requieren actualmente el ser parte de un proceso de “*inteligencia colectiva*” en el que todos los actores las consideren suyas.

Otro elemento a considerar es la sustitución de los vehículos de carga con tren motriz a base de combustión interna, por otros con base en la energía eléctrica. Lo cual se ha popularizado como una alternativa viable para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, de ruido y de calor en los centros urbanos. De hecho, se ha comprobado que los vehículos eléctricos han resultado efectivos como medio para contribuir a mejorar la calidad de vida e incrementar la imagen de modernidad de los centros históricos (Martell-Flores, y Molines, 2021). Sin embargo, podemos decir que, en general, la autonomía de los vehículos eléctricos corresponde a entre 1/4 y 1/3 de la autonomía de los vehículos de combustión interna.

Desde el punto de vista logístico, esta desventaja disminuye la flexibilidad y las distancias de servicio de las flotas de distribución. Es por ello, que resulta necesario un rediseño de los sistemas de distribución que actualmente operan. Para ello se debe considerar los diferentes sistemas de recarga para los vehículos eléctricos, entre ellos:

- i. Recarga completa en el centro de distribución (CEDIS) de cada empresa, siendo el origen y fin de la ruta de reparto;
- ii. Recarga completa en el CEDIS de cada empresa, siendo el origen y fin de la ruta de reparto, pero con recargas suplementarias puntuales durante el desarrollo de la ruta;
- iii. Recarga completa en el CEDIS de cada empresa, siendo el origen y fin de la ruta de reparto, pero con una recarga completa en un solo punto intermedio de la ruta.

# 1. Introducción

---

Si bien recientemente se han desarrollado grandes avances en cuanto a mejorar la distribución urbana de mercancías, la realidad es que, en regiones como América Latina, aún existen retos y oportunidades por resolver. Una de ellas es la “*Electrológica*”. Brevemente, denominamos *electrológica* al área del conocimiento que se ocupa del diseño, organización y gestión de modelos y sistemas, que favorecen la optimización de la distribución urbana de mercancías a través de vehículos eléctricos.

Con el crecimiento de las ciudades y la densificación de los centros urbanos, la concentración de consumidores latinoamericanos ha llamado la atención de las empresas de diversos tamaños. En consecuencia, estas empresas enfocan ahora su atención en los retos que les plantea la distribución urbana de mercancías en esta región. Actualmente, con el aumento de las compras vía internet, la distribución urbana de mercancías en América Latina ya es compleja, y se espera que en los próximos años lo sea aún más. En realidad, la situación merece urgente atención (ver Figura 1 y Figura 2).



Fuente: Fotografía tomada por el primer autor.

**Figura 1.1** Falta de coordinación en el abastecimiento a pequeños negocios.



Fuente: Fotografía tomada por el primer autor.

**Figura 1.2** Falta de previsión de espacios adecuados para la carga y descarga.

Hasta hoy, la “*optimización*” de las operaciones de distribución se hace por empresa, es decir, desde una perspectiva individual. Sin embargo, con la intensificación de las entregas, se ha puesto en evidencia grandes problemas que deben ser resueltos tanto en el ámbito de acción de las empresas, como aquel de las autoridades municipales. Para percatarse del problema, basta identificar las zonas con alta concentración de pequeños negocios, en donde convergen una gran cantidad de vehículos de diversos tipos y tonelajes. Tanto los sistemas logísticos, como los sistemas urbanos, se encuentran bajo mucha tensión.

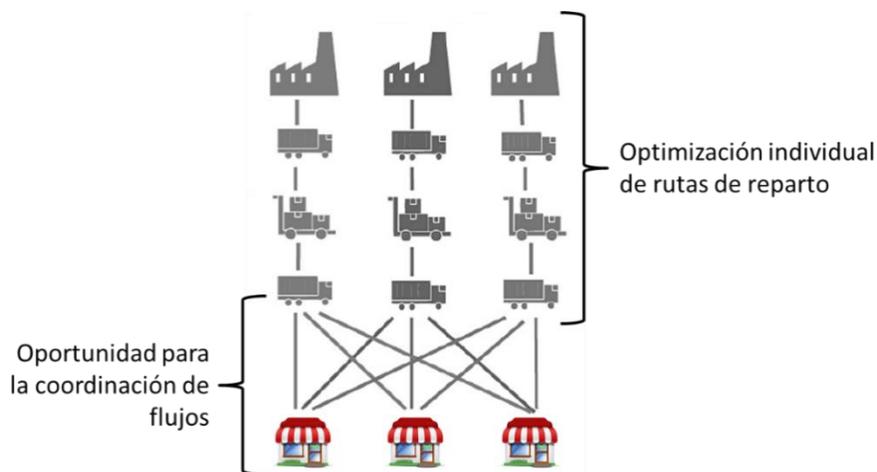
Debido a que no existe actualmente alguna forma de coordinación público-privada, la cual permita optimizar el uso en área y tiempo del espacio público dedicado a las operaciones de carga y descarga necesarias para completar el abastecimiento, las entregas de “*últimos metros*” se vuelven cada vez más ineficientes y costosas. En realidad, es necesario que la autoridad pública local (autoridades municipales) y privados (empresas repartidoras, pequeños negocios, etc.), rediseñen la forma de tomar decisiones. Avanzar desde una perspectiva individual, a una con una visión de “*inteligencia colectiva en logística*”<sup>1</sup> (Cedillo-Campos, 2020). Es decir, que sus decisiones tomen en cuenta una mayor cantidad de información y perspectivas de los diferentes actores, con el interés de que se puedan tomar decisiones

---

<sup>1</sup> “*Habilidad para co-crear soluciones a desafíos logísticos complejos por medio de la sinergia con un grupo diverso de personas, miembros de un ecosistema de organizaciones, quienes constantemente comparten información, conocimiento y mejores prácticas de forma coordinada, para alcanzar un desempeño común que no podría ser alcanzado de manera individual.*”

colaborativas de forma dinámica y confiable, ante las cambiantes circunstancias de las entregas urbanas.

En este trabajo hacemos énfasis en que las decisiones de cada actor, no dependen solamente de sus propias estrategias, sino también de las estrategias del resto de los participantes. Es decir, actualmente resulta necesario un enfoque de colaboración para hacer racional uso de los limitados espacios disponibles para las operaciones de carga y descarga (ver Figura 3). En realidad, se trata de un tipo de problema con más de una solución (la cual depende, entre otros, de aspectos como el tipo de traza de la ciudad, dinámica económica, etc.), asemejándose a lo que en teoría de juegos se conoce como juegos con equilibrios múltiples.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 1.3** Oportunidad para la coordinación de flujos.

De hecho, la revisión de trabajos previos sobre la distribución urbana en América Latina, permitió constatar que actualmente los actores privados con operaciones en la región no son conscientes de que una estrategia colectiva puede permitirles maximizar sus ganancias. Pero al mismo tiempo, la mayoría de las autoridades en la región, tampoco identifican la oportunidad, por lo tanto, no se crean los incentivos para provocar un ajuste de lo individual a lo colectivo en sus estrategias (Nash, 1950). Es así que las entregas se desarrollan con demoras que no solo demeritan a la operación logística de las empresas en costos y calidad de servicio, sino que también, generan impactos urbanos visibles en congestión, contaminación y riesgo de accidentes viales, por mencionar algunos.

Por otro lado, a pesar de la importancia de los flujos de carga urbana para el desarrollo competitivo de las ciudades, el sector público aún no se percata de que el conocimiento y prácticas en logística, son un elemento clave en la planeación

urbana y regional. En concreto, actualmente es prácticamente imposible localizar a especialistas con formación en logística dentro de los equipos técnicos de los municipios. Por tanto, las decisiones técnicas municipales conllevan de manera intrínseca una “*ceguera técnica*” en logística.

De este modo, derivado de la baja fluidez en las operaciones de abastecimiento de las zonas urbanas, no solo se crean barreras al desarrollo económico de las ciudades, sino que, al mismo tiempo, se provoca el ineficiente uso de los recursos energéticos. La baja efectividad logística en la distribución urbana, aunada al uso de tecnologías motrices a base de combustibles fósiles, están mermando tanto la competitividad de las empresas, como de las ciudades. Es aquí donde otro tipo de vehículos, ya sean movidos por la fuerza del ser humano (como el caso de las bicicletas de carga) o con una tecnología de tren motriz a base de electricidad, juegan un papel clave en la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del ruido en las zonas urbanas.

Entre las zonas urbanas con mayor interés por ser preservadas a nivel mundial, se encuentran aquellas que, debido a su valor histórico (preservación del patrimonio colectivo) y económico (derivado de la derrama que generan sus visitantes), son una prioridad para las ciudades, los llamados centros históricos. Es debido a lo anterior que, para el presente trabajo, los autores se han enfocado en identificar soluciones para este tipo de zonas.

En este contexto, el objetivo del presente artículo es el explorar el potencial que puede generar la integración al modelo de bahías de carga y descarga desarrollado por Cedillo-Campos y Fransoo (2019) y Fransoo et al. (2020), con uno de localización de estaciones de recarga para vehículos de carga eléctricos. Es así que se toma como base tanto el caso del sistema de bahías de carga y descarga desarrollado para el *LogistiX-Lab* de la ciudad de Querétaro (Cedillo-Campos, 2018; Cedillo-Campos y Fransoo, 2019; Fransoo et al., 2020), como el caso del desarrollo del sistema de decisión para la ubicación de estaciones de recarga desarrollado por (Martell y Molines, 2021) para la ciudad francesa de Compiègne.

Las siguientes secciones se organizan como sigue: en la Sección 2, se presentarán los antecedentes de la problemática que aborda el presente documento. En la Sección 3, se expondrá la forma en la que, a través del enfoque de “*Living Lab*”, el *LogistiX-Lab* desarrollado para el Centro Histórico de la ciudad de Querétaro propuso una solución factible para la distribución urbana de mercancías. En la Sección 4, se discutirá el uso de vehículos eléctricos, a la luz de los resultados de un proyecto realizado para el Centro Histórico de la ciudad francesa de Compiègne. En la Sección 5, se presentarán las conclusiones del análisis, destacando los retos y oportunidades para la implementación de proyectos de “*electrologística*” que favorezcan tanto la competitividad de las empresas y las ciudades, como una reducción de las emisiones contaminantes en los centros históricos de las ciudades.

## 2. Antecedentes

---

La distribución urbana de mercancías es contextual (Savy, 2012). Un modelo efectivo responde tanto a las características intrínsecas de la operación de las empresas, como a las contextuales del entorno urbano. Es por ello que se requieren soluciones adaptadas a la realidad imperante. De hecho, las soluciones deben ser dinámicas, ya que, para mantenerse efectivas, deben ajustarse constantemente a la cambiante realidad.

Para el caso latinoamericano, el comercio minorista es altamente fragmentado y de hecho, las pequeñas tiendas familiares tienen una amplia presencia en el sector. En México, este tipo de negocios es mejor conocido como tiendas de abarrotes, tienditas o changarros (con varias denominaciones según los países: "*Mom and Pop Stores*" en la India, "*Konbini*" en Japón, etc.).

Debido a una mínima área de venta y almacenamiento, además de un reducido flujo de caja, las tienditas son abastecidas con base en entregas de pequeñas cantidades de mercancía, con una alta frecuencia y en muchos casos directamente por cada empresa. A su vez, cada empresa, para bajar los costos de transporte, busca circular con el tamaño de vehículo más grande permitido por las autoridades, y con el mayor factor de carga posible. Esto hace que haya un amplio número de vehículos de carga circulando constantemente, los cuales sufren de la congestión urbana con la consecuente pobre efectividad logística, pero también, producen externalidades negativas para sociedad al contaminar e impactar la infraestructura pública urbana.

Dado que cada tienda de abarrotes maneja una gran cantidad de productos de diferentes marcas, cada uno de estos negocios se convierte en un "*polo atractor*" de vehículos de carga de diferentes empresas. Es la vía pública que funciona como "*patio de maniobras*" de los vehículos que acuden a abastecerlas. De hecho, abastecer a las tiendas de abarrotes en América Latina es más parecido a las entregas de mensajería exprés de los mercados desarrollados. De este modo, el nivel del costo logístico total para las empresas y el impacto ambiental y social para la ciudad, se definen en realidad más por la efectividad operativa de los últimos 50 metros de la entrega, que por los últimos 1,609.34 metros o "*última milla*" como comúnmente se le define.

## 2.1 Infraestructura

La actual distribución de mercancías en los centros históricos de las ciudades latinoamericanas, está retando los esfuerzos por conservar el patrimonio arquitectónico de la humanidad. Desafío que aumenta con la densificación de la población, el crecimiento de las actividades económicas y el desarrollo turístico, entre otros. Pero el reto es aún mayor cuando las ciudades cuentan con un trazo urbano donde las vialidades estrechas y geometrías intrincadas, son parte de sus características.

En muchas de estas áreas urbanas centrales con patrimonio histórico, tanto la población como las autoridades se enfrentan al dilema de guardar un constante equilibrio en el uso de suelo. La frecuente búsqueda de un balance entre el uso habitacional y el uso comercial. Por un lado, tanto los pobladores, como las autoridades, desearían no tener que lidiar con la circulación de vehículos de carga con las incomodidades para la población que ello implica. Por otro lado, es impensable contar con zonas habitacionales que no integren en su espacio, áreas de abasto para sus pobladores.

La densificación de la población que acompaña al desarrollo económico de estas zonas, impulsa el aumento de la demanda de mercancías de consumo general y de este modo, los flujos de abastecimiento. Asimismo, tratándose de centros históricos, se desarrollan una gran cantidad de servicios para la atención de sus visitantes. Es así que aumentan de actividades de restauración y de hotelería. De esta manera, un círculo virtuoso de desarrollo de los centros históricos de las ciudades implica volúmenes de mercancías a suministrar cada vez más importantes.

En la mayoría de las grandes ciudades, la distribución urbana de mercancías representa un problema con diferentes tipos de afectaciones, entre ellos dos principales:

- a) ***Bloqueo temporal, pero con alta frecuencia de calles, avenidas y plazas de estacionamiento reservadas para otro tipo de servicios*** (por ejemplo: espacios para minusválidos, para bomberos, ambulancias, transportes públicos, entradas de estacionamientos, etc.). Este bloqueo “*temporal y frecuente*” para las operaciones de carga/descarga, implica congestionamientos puntuales en calles y avenidas. Debido a la multiplicidad de actividades, en los centros urbanos encontramos en general un tráfico poco fluido y en ocasiones con recurrente congestión. La respuesta de las empresas al problema del tráfico lento y las necesidades crecientes de distribución, ha sido el aumento en el número de vehículos en sus flotas. Además de incrementar las frecuencias de reparto e incluso, el tamaño de los vehículos de carga. Sin embargo, estas soluciones, desde la perspectiva privada, cuando son adoptadas por una gran cantidad de actores, reducen aún más el espacio público urbano disponible. Como resultado, terminan afectando al total de los usuarios del espacio, incluidas por supuesto, las

empresas mismas. Se trata entonces, de un típico caso de lo que Garrett Hardin denominó la “*Tragedia de los (bienes) comunes*” (Hardin, 1968).

- b) ***Impacto ambiental creciente.*** El bloqueo temporal y frecuente debido a la distribución de mercancías, provoca indirectamente un aumento adicional de las emisiones de CO<sub>2</sub>, de ruido y de calor, en alrededor de un 12 % (MTES, 2018). Si bien el problema de las emisiones de CO<sub>2</sub>, de ruido y de calor no es únicamente provocado por la distribución urbana de mercancías, toda medida de reducción de circulación de vehículos de distribución en los centros urbanos, contribuye a mejorar la calidad ambiental. Por ejemplo, en las ciudades francesas, la sobrecarga promedio de la circulación debido a la distribución de mercancías contribuye de manera directa, con aproximadamente un 8 % a las emisiones de CO<sub>2</sub>, de ruido y de calor en las calles y avenidas de los centros urbanos (Martell y Molines, 2021).

Por otra parte, además de la reducción de las afectaciones debidas al bloqueo temporal y las emisiones, una efectiva política de logística urbana, dado el orden que impone a los flujos de distribución, tiene un papel importante en la imagen de las ciudades. Un sistema eficiente y moderno de distribución de mercancías es también un vector de promoción de la ciudad desde el punto de vista del desarrollo sostenible “*ecológico y económico*”.

Sin embargo, es importante destacar que debido a que cada zona urbana cuenta con un trazo urbano, dinámicas económicas y poblacionales, así como aspiraciones de desarrollo en su calidad de vida que les son particulares, las soluciones de distribución urbana de mercancías no pueden “*pensarse*” como exactamente iguales. Existen factores de base que son comunes al momento de diseñar una solución y por lo tanto con potencial para ser “*estandarizados*”. Sin embargo, otros aspectos muy específicos vinculados a las dinámicas urbanas, deben ser adaptados. Sobre todo, las soluciones involucrando aspectos públicos y privados, para ser exitosas, deben ser parte de un proceso de “*inteligencia colectiva*” en el que todos los actores las consideren suyas.

Para lograr un sistema adaptado a cada tipo de ciudad, es necesario tomar en cuenta diversos factores propios a cada lugar. De manera general, se pueden mencionar los siguientes:

- 1) Trazo urbano, donde se consideren aspectos como los anchos de calles y avenidas que permitan o no, la ubicación de espacios para las operaciones de carga/descarga;
- 2) Horarios de otras actividades con uso simultaneo de la zona (establecer el perfil de los horarios de congestión);
- 3) Densidad y tipo de negocios en la zona;
- 4) Longitud de las rutas de distribución;
- 5) Tiempo medio de carga/descarga por tipo de productos a distribuir;
- 6) Velocidad promedio de los vehículos de distribución en las diferentes rutas;

- 7) Usos, prácticas y/o costumbres de reparto y recepción de mercancías (cantidades, horarios, verificaciones de recibo de las mercancías, proceso de pago y facturación, etc.)
- 8) Tipo de tren motriz de los vehículos de carga a utilizar (a gasolina, a diésel, eléctricos o bicicletas) y capacidad (en volumen y peso);
- 9) Equipos adicionales que permitan hacer más eficientes las operaciones de carga y descarga (camiones con elevador integrado o no) (ver Figura 4).

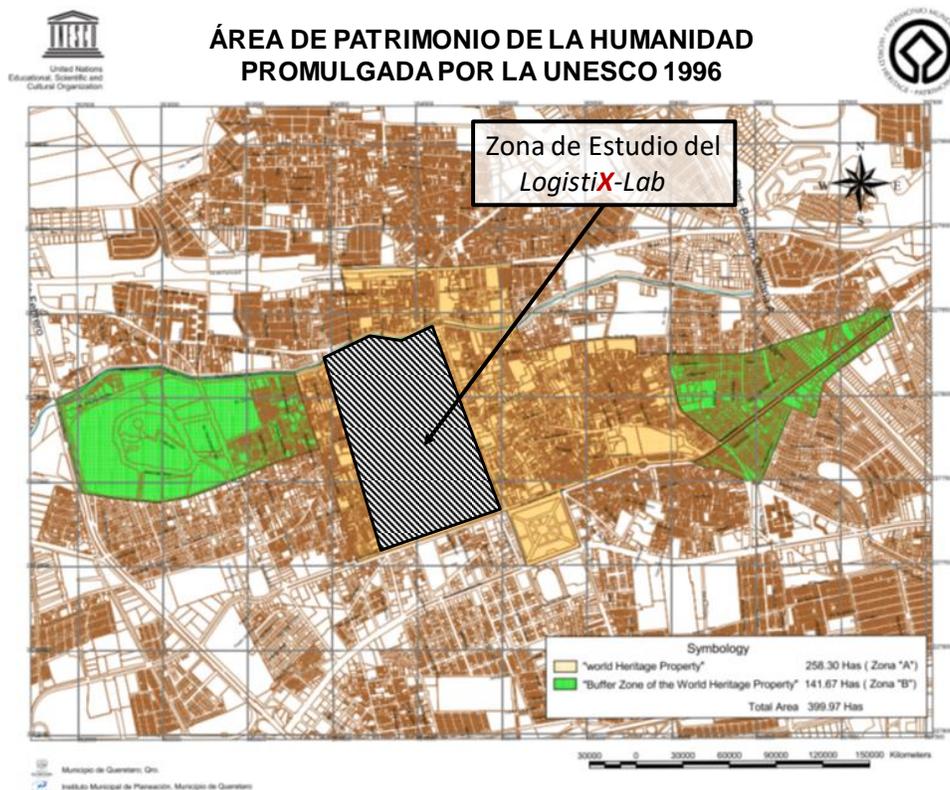


Fuente: STIRAM & EAS Automobile

**Figura 2.1** Mejora en la tecnología de los vehículos de reparto.

### 3. Distribución urbana de mercancías

Dado que el mayor reto logístico de la distribución urbana de mercancías se presenta en los últimos 50 metros de la entrega, una parte importante se relaciona con problemas de estacionamiento de los vehículos de carga para realizar la descarga. Esta es una de las varias partes que permiten mejorar la fluidez en la distribución urbana de mercancías que fue abordado por Cedillo-Campos y Fransoo (2019), así como por Fransoo et al. (2020). Para ello se definió un espacio delimitado de pruebas en “*tiempo real*”. Un espacio de 1 Km cuadrado en la zona de monumentos históricos de la Ciudad de Santiago de Querétaro (ver Figura 5).



Fuente: Imagen proporcionada por el Instituto Municipal de Planeación de la ciudad de Santiago de Querétaro, México, con adaptaciones propias para indicar la zona de intervención.

**Figura 3.1** Zona de pruebas en tiempo real del *LogistiX-Lab*.

El objetivo del *LogistiX-Lab* fue desarrollar “*inteligencia colectiva en logística*”. Es decir, la capacidad para co-crear soluciones a retos logísticos complicados mediante la sinergia de un grupo diverso de personas, miembros de un ecosistema de organizaciones, quienes compartieron información, conocimiento y mejores prácticas para conseguir un desempeño conjunto que individualmente les era imposible alcanzar (Cedillo-Campos, 2020).

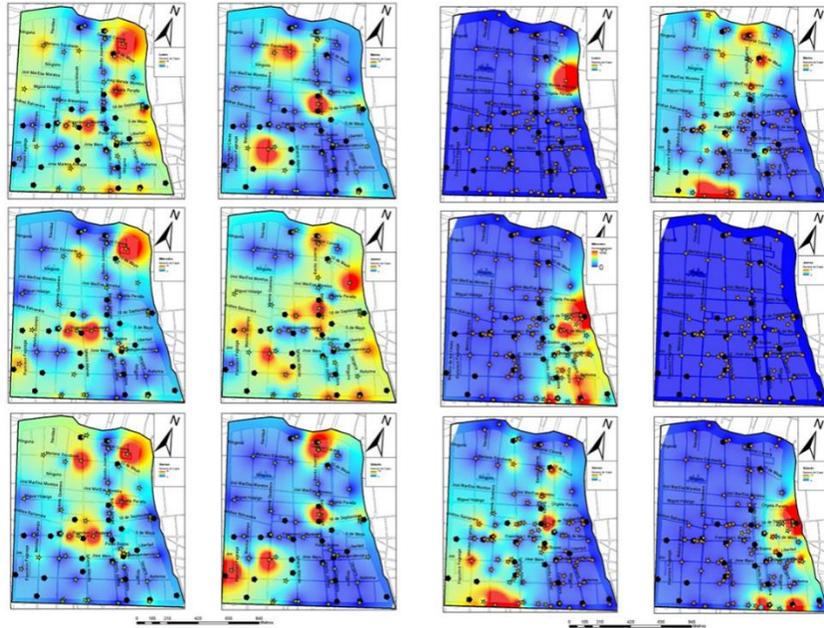
Es en este contexto se tomó la decisión de diseñar y operar el *LogistiX-Lab* como una plataforma para la innovación en logística urbana. Como primer resultado, se generó un espacio de interacciones en donde se pudo observar de forma directa las prácticas logísticas de las empresas y los retos que enfrentaban para desarrollarlas de manera fluida. Se impulsó un proceso colaboración entre actores de la academia, la industria, el gobierno y la sociedad civil, para establecer un proceso de innovación continua. Es decir, más allá de buscar soluciones específicas (uso de bahías de carga/descarga, optimización en el ruteo de vehículos, etc.), el objetivo del *LogistiX-Lab* fue sentar las bases para experimentar soluciones innovadoras que, de forma continua, mejoraran los flujos de distribución urbana de mercancías en la zona.

Como resultado de la **Fase 0: Definición de zonas de carga y descarga** (ver Figuras 6, 7 y 8), se mejoró la entrega de mercancías (reduciendo los costos logísticos para las empresas). Además de reducir la congestión de tráfico en la zona de implementación, con el consecuente impacto positivo tanto en el medio ambiente (emisiones y ruido), como en el incremento de la seguridad vial (ver Figura 8).



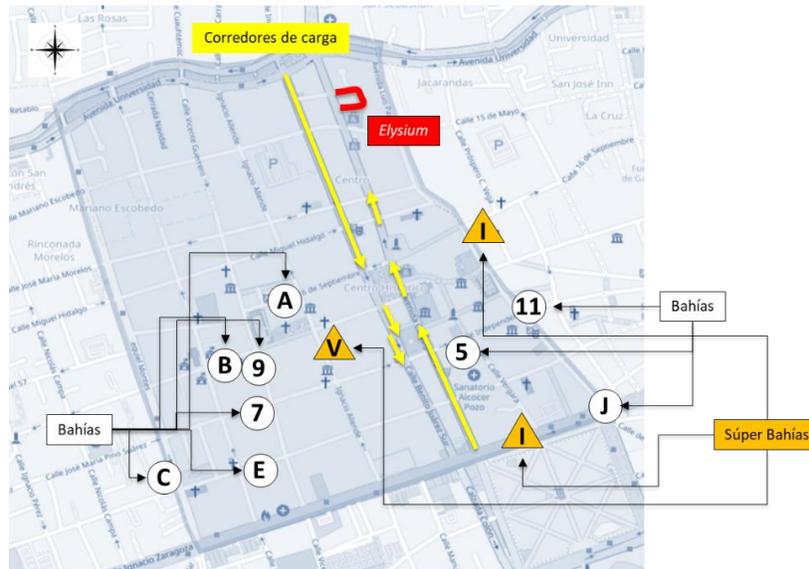
Fuente: Fotografía tomada por el primer autor.

**Figura 3.2** “*Súper Bahía*” de carga/descarga durante el programa piloto.



Fuente: Elaborado por el equipo de análisis del IMT, 2017.

**Figura 3.3** Mapas de intensidad en las operaciones de carga/descarga.



Fuente: Diagrama elaborado por el primer autor.

**Figura 3.4** Zonas definidas para las operaciones de carga y descarga.

Más allá de los resultados obtenidos, el valor agregado diferenciado del enfoque adoptado, fue construir la colaboración industria-gobierno-academia-sociedad civil. Esto permitió el desarrollo de la innovación en el diseño de soluciones “a la medida” mejor adaptadas a la dinámica de la zona de estudio.

Para esta solución se conjugaron varios componentes:

- **Bahías de carga y descarga:** Espacios adyacentes a la banqueta, exclusivos para el estacionamiento temporal de vehículos de carga a proximidad del punto de entrega, cuya localización permite el abasto dentro de un radio de alcance de entre 50 y 100 metros.
- **Súper bahías:** Espacios con características similares a las bahías de carga y descarga, pero con capacidad extendida para albergar la operación de tres o más vehículos de carga;
- **Corredores de carga:** Ejes viales con suficiente capacidad viaria, los cuales permiten asignar, en horas valle, la utilización de uno de sus carriles laterales a las operaciones de carga/descarga;
- **ELYSIUM (Espacio Logístico y de Soporte Integrado Urbano a la Movilidad):** Área con capacidad para desarrollar operaciones complejas a través de vehículos de carga que funcionan como “*almacenes móviles*”, a partir de los cuales vehículos más pequeños (potencialmente eléctricos) logran desarrollar con efectividad la distribución de “*últimos metros*”.

## 4. Uso de vehículos eléctricos de carga

---

La sustitución de los vehículos de carga con tren motriz a base de combustión interna por otros, con base en electricidad, se ha popularizado como una alternativa viable para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, de ruido y de calor en los centros urbanos. De hecho, se ha comprobado que los vehículos eléctricos han resultado efectivos como medios para contribuir a mejorar la calidad de vida e incrementar la imagen de modernidad de los centros históricos (Sechilariu et al., 2019; Martell-Flores, y Molines, 2021).

Varios autores prevén que el remplazo de las actuales flotas de vehículos de carga, por vehículos eléctricos, sería una manera de disminuir de forma directa hasta en un 8 % las emisiones de CO<sub>2</sub>, de ruido y de calor (Sechilariu et al., 2019; Martell-Flores, y Molines, 2021). Pero, además, si dichos vehículos son parte de un proceso de ordenamiento en horarios y uso de lugares específicos para las operaciones de carga y descarga de mercancías, su impacto indirecto podría reducir en un 12 % suplementario las emisiones (MTES, 2018).

Las ventajas ambientales y posibles economías en el costo de la energía eléctrica respecto a los combustibles fósiles hacen atractivos estos vehículos, tanto para las empresas, como para los responsables de la planeación urbana. Sin embargo, los vehículos eléctricos tienen también desventajas tecnológicas que inducirían ciertos cambios en la manera de realizar la distribución urbana de mercancías. Estas desventajas son principalmente la poca autonomía y el tiempo considerable de inmovilización de los vehículos para la recarga de sus baterías. Donde la autonomía de los vehículos eléctricos depende de la capacidad de almacenamiento de la batería.

Con base en las fichas técnicas publicadas por los diferentes fabricantes, se comparó la autonomía entre vehículos 100 % eléctricos y aquellos de combustión interna. Como resultado, se observó que, en general, la autonomía de los vehículos eléctricos corresponde a entre 1/4 y 1/3 de la autonomía de los vehículos de combustión interna. Es decir, entre 150 km y 250 km para cada carga completa de batería, contra entre 600 y 800 km por tanque de combustible lleno. Esto reduce la posibilidad de rutas largas y obliga a un mínimo de entregas directas dentro de varios kilómetros en una misma zona.

Desde el punto de vista logístico, esta desventaja disminuye la flexibilidad y las distancias de servicio de las flotas de distribución. Haciendo necesario un mayor número de vehículos eléctricos, para alcanzar los mismos indicadores de reparto que hoy cumplen los vehículos con motor de combustión interna. Sin embargo, en

el caso de los centros históricos, debido a la densidad de la zona de reparto, los beneficios medio ambientales y en imagen de modernidad hace que los vehículos eléctricos puedan resultar viables (ver Figura 9). Desde luego, análisis más detallados deben ser aún realizados.



Fuente: DAF & DB SHENKER Libner

**Figura 4.1** Tipos de vehículos eléctricos.

## 5. Implementación

---

Para el caso de flotas exclusivas operando en territorios bien definidos, como el caso de la zona ocupada por el *LogistiX-Lab* en el centro histórico de Querétaro, es posible imaginar diferentes esquemas de recarga para los vehículos eléctricos:

### **CASO A: recarga completa en el centro de distribución (CEDIS) de cada empresa, siendo el origen y fin de la ruta de reparto.**

Con este sistema de recarga, las rutas quedan limitadas en distancia de recorrido, por la autonomía de la batería de los vehículos, menos una reserva mínima de seguridad de 10 % de la carga en caso de tráfico intenso o de un desvío de la ruta, la cual aumente el tiempo de recorrido previsto. Por lo tanto, para incrementar la robustez logística, habría que aumentar el número de vehículos. Como resultado general, los recorridos de las rutas se reducirían y la flota de vehículos crecería.

La principal ventaja de este sistema de recarga sería que la distribución podría hacerse de la misma manera que se hace actualmente, es decir, utilizando un solo vehículo para una ruta que distribuye punto por punto de entrega y que regresa al depósito. Desde el punto de vista logístico no se cambian las prácticas actuales, el chofer repartidor llega al punto de entrega, descarga, le reciben la mercancía y otros procesos como el cobro, continuando su ruta al siguiente punto.

### **CASO B: recarga completa en el CEDIS de cada empresa, siendo el origen y fin de la ruta de reparto, pero con recargas suplementarias puntuales durante el desarrollo de la ruta.**

Este sistema de recarga permite que las rutas no sean limitadas en distancia de recorrido por la autonomía de la batería de los vehículos. Esto es debido a que podrían recargarse en cualquier punto de carga a lo largo de la ruta cuando resultara necesario o incluso, recargar sistemáticamente varias veces si resultara preciso cuando la carga bajara a un 30 %. Esta reserva de carga permanente, ofrecería la seguridad de que el vehículo no se quede bloqueado por falta de energía en caso de un fuerte congestionamiento o desvío importante de su ruta.

Pero hay dos condiciones para que este sistema de recarga sea viable: i) la disponibilidad de estaciones de recarga; y ii) el tiempo de recarga necesario.

Ante ello, cabe señalar que el principal problema sería la escasez de equipamiento urbano de recarga para vehículos eléctricos. La inversión en estaciones de recarga puede ser muy alta y la relación “*beneficio-costo*” para las ciudades llega a ser muy bajo. En el caso francés, las ciudades se han equipado progresivamente a lo largo de prácticamente 20 años, sin la ambición de alcanzar la rentabilidad. Las inversiones en este equipamiento urbano, como los semáforos y las luminarias, son hechas por el Estado y bajo una política voluntarista de disminución de las emisiones de contaminantes en las ciudades (France Relance, 2021). Estos altos costos han obligado a la selección estratégica de puntos de recarga (como son los espacios de estacionamiento público), las cuales deben ser equipados de manera prioritaria. Lo anterior, para racionalizar los costos de este equipamiento, adaptándolo a las funciones urbanas de cada zona. Por ejemplo, las zonas habitacionales, de oficinas, de comercio, de servicios administrativos o zonas con funciones mixtas. Este análisis con base en la función urbana es necesario, ya que la función determina los usos del estacionamiento y la disponibilidad de tiempo para la recarga de los vehículos eléctricos. (Martell y Molines, 2021).

Por otra parte, el mantener un mínimo de carga gracias a varias recargas parciales durante el recorrido de la ruta, presenta inconvenientes técnicos y logísticos. Desde un punto de vista técnico, el hecho de multiplicar los ciclos de carga de la batería implica una reducción de su vida útil y aumenta los costos de mantenimiento de la flota de los vehículos de reparto. Desde un punto de vista logístico, las recargas parciales (25 %), implican un tiempo perdido del conductor/repartidor de entre 15 a 20 minutos para la recarga acelerada “*Very Fast Charge*”, o de entre 45 a 60 minutos para la recarga rápida “*Fast Charge*”. La recarga normal completa de una batería se realiza entre 8 y 12 horas.

La principal ventaja de este sistema de recarga sería que, la distribución podría hacerse de la misma manera que se hace actualmente, y se podría evitar la condición de rutas cortas limitadas por la autonomía, pero la inversión en equipamiento urbano es alta. A título de ejemplo, una estación de recarga rápida cuesta alrededor de €12,000 (aproximadamente \$290,000 pesos mexicanos), y una estación de recarga acelerada alrededor de €40,000 (aproximadamente \$965,000 pesos mexicanos). Desde el punto de vista logístico no hay restricción en la distancia de las rutas debido a la autonomía, pero se debe evaluar si los ahorros derivados del menor costo de la energía eléctrica, compensarían los tiempos perdidos por la inmovilización del vehículo durante las recargas.

**CASO C: recarga completa en el CEDIS de cada empresa, siendo el origen y fin de la ruta de reparto, pero con una recarga completa en un solo punto intermedio de la ruta.**

Esta modalidad de carga permitiría ganar en autonomía para no restringir las zonas de servicio como en el Caso A, pero sin tener una autonomía absoluta que expone el Caso B. Es una solución intermedia que obliga a la cercanía entre las estaciones de recarga y las rutas o zonas urbanas principales de distribución. Lo anterior, para poder recargar los vehículos durante su ruta si la distancia recorrida es mayor que la autonomía del vehículo.

A diferencia del Caso A, en este caso se trataría de definir la ubicación de un solo punto estratégico de recarga en el centro histórico y con ello, recargar un conjunto de vehículos de distribución. La ubicación sería idealmente un punto de la ciudad con capacidad de estacionamiento para varios camiones de reparto de manera simultánea. Todas las bahías de carga y descarga exclusivas para las flotas de reparto, podrían ser equipadas con estaciones de “*recarga acelerada*”, para reducir los tiempos de inmovilización de los vehículos.

Este punto de recarga de uso común para todas las empresas, les permitiría contar con una estación central de recarga exclusiva para las flotas de distribución. Sin embargo, sería necesario estudiar los actuales tiempos promedio de inmovilización de los vehículos debido a recarga de combustible, para comparar y juzgar hasta qué punto sería una desventaja en realidad, o si, por otra parte, representaría una ventaja de reducción de tiempo para los vehículos de distribución. Desde el punto de vista logístico, este sistema centralizado y de recarga exclusiva de las flotas de distribución, hace que el punto estratégico seleccionado pudiese también tener una función logística de “*Hub*” o concentrador.

Esto permitiría una “*ruptura de carga*” entre vehículos de diferente capacidad de la misma flota durante la recarga. Además, facilitaría contar con un solo “*vehículo nodriza*” que realizaría un circuito pendular entre el depósito principal de la empresa y el “*Hub*”. Punto desde el que se podría distribuir dentro de una zona urbana, con rutas de distribución utilizando vehículos de carga más pequeños. Lo que reduciría las distancias totales recorridas por los vehículos de la flota.

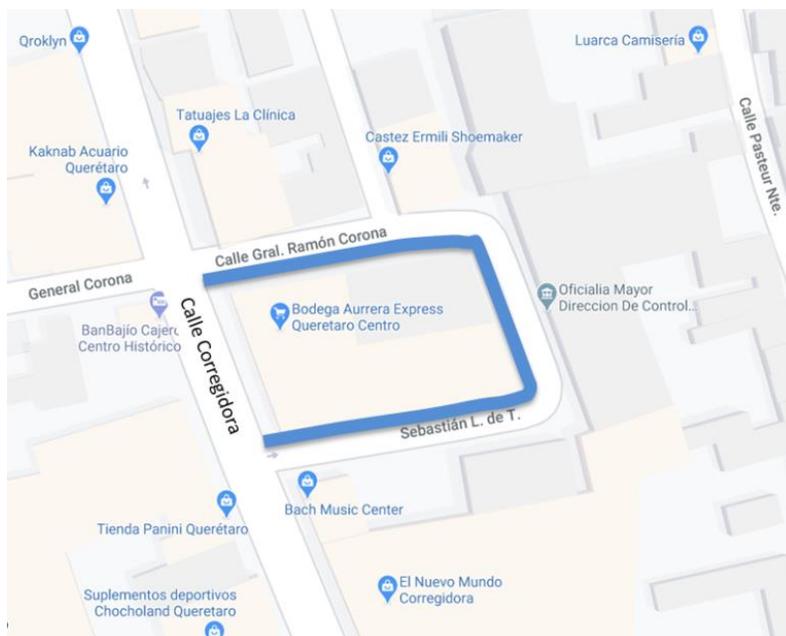
Otra posibilidad logística gracias al “*Hub*” propuesto, sería mutualizar las flotas de diferentes empresas favoreciendo un enfoque de “*Internet Físico*”<sup>2</sup>. Pero también, surge aquí la posibilidad de utilizar a 3PL

---

<sup>2</sup> Ballot, E., Montreuil, B, Meller, R. (2014). *The Physical Internet*. La Documentation Francaise, Paris, France.

urbanos, permitiendo a las empresas distribuidoras, subcontratar el servicio de reparto capilar en las zonas con mayores retos para la fluidez, como lo son los centros históricos. Impulsando así el incremento del factor de carga en la flota tanto de las empresas distribuidoras, como del 3PL urbano.

Para este último caso, durante el desarrollo de piloto dentro del *LogistiX-Lab*, se identificó una zona susceptible de ser utilizada según se describe en el Caso C. Se trata del ELYSIUM (Espacio Logístico y de Soporte Integrado Urbano). Dicho espacio cuenta con las características necesarias para ser un punto de recarga de vehículos “*nodriza*” (ver Figura 10).



Fuente: Propuesta elaborada por el primer autor.

**Figura 5.1** ELYSIUM (*Espacio Logístico y de Soporte Integrado Urbano a la Movilidad*).

## 6. Conclusiones

---

Este documento ha tenido como objetivo el explorar las posibilidades para una nueva área de desarrollo en América Latina, la “*Electrologística*”. Las propuestas aquí expuestas, son iniciales, pero permiten establecer las áreas de oportunidad tanto para continuar investigaciones más detalladas, como para implementaciones en ciudades con centros históricos. Es importante insistir en el hecho de que cada ciudad es un caso diferente debido a su trazo urbano, la distribución geográfica de sus funciones urbanas, las distancias de sus rutas de distribución, las posibilidades físicas (espacios en calles y avenidas) y las posibilidades financieras tanto del sector público como del sector privado local.

De manera general, se puede establecer que las flotas de vehículos eléctricos de carga de distribución urbana de mercancías han probado ser eficientes en zonas urbanas bien definidas. Actualmente, contribuyen tanto a promover una imagen moderna de la ciudad, como a disminuir de manera efectiva tanto las emisiones de contaminantes, como el ruido. En las ciudades que han reglamentado las dimensiones máximas de los vehículos y que han identificado de manera estratégica las zonas de carga y descarga en las calles y avenidas, la congestión del tráfico provocada por las flotas de distribución urbana ha sido prácticamente eliminada.

Finalmente, cabe destacar que la combinación de nuevas flotas de vehículos eléctricos y de una logística urbana inteligente y sostenible, puede ofrecer a las ciudades importantes contribuciones a mejorar la calidad de vida de sus habitantes, haciéndolas más atractivas. Para el flujo de tráfico urbano, dicha combinación puede disminuir las obstrucciones debidas a la distribución de mercancías. Para los industriales puede significar menores costos logísticos.



## Bibliografía

---

Cedillo-Campos, M. (2020). Web platform to develop collective intelligence in logistics for Latin American SMEs: the case of SmartLogistiX3.com. *Nova Scientia*, Vol. 12 No. 25, December, pp. 1-29.

Cedillo-Campos, M & Fransoo, J. (2019). Distribución urbana inteligente de mercancías. *Revista IC*, Julio, Colegio de Ingenieros Civiles de México, México [En línea] Recuperado de [https://issuu.com/cicm\\_oficial/docs/ic599-final](https://issuu.com/cicm_oficial/docs/ic599-final)

Cedillo-Campos, M. (2018). Inteligencia colectiva en logística. Presentación. Instituto Mexicano del Transporte [En línea] Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=hX7OjopggkU&t=3676s>

France Relance (2021). *Instaurant une aide en faveur des investissements relatifs aux installations de recharge rapide pour véhicules électriques sur les grands axes routiers*. Décret n° 2021-153 du 12 février 2021, Paris, France.

Fransoo, J., Cedillo-Campos, M. and Gamez-Perez, K. (2020). Estimating the benefits of dedicated unloading bays by field experimentation. SSRN preprint. [En línea] Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3768028>

Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, Vol. 162, No. 3859, December 13, 1968, pp. 1243-1248.

Martell-Flores, H. & Molines, N. (2021). Decision support tool to identify the optimal location of IRVE's for an urban space, *Mobel\_City*, Web Conference: "*Sustainable Transport & Sustainable Cities*".

Ministère de la Transition Energetique et Solidaire [MTES] (2018). *Enquête sur l'utilisation du Transport Routier de Marchandises (RTM)*, Paris, France.

Nash, J. (1950). Equilibrium points in n-person games, *PNAS*, January 1, Vol. 36, No. 1, pp. 48-49.

Savy, M. (2012). European Urban Freight: a comprehensive approach. In: Wolmar (Ed.) *Urban Freight for Livable Cities*. The Volvo Research and Educational Foundations (VREF), Göteborg.

Sechilariu, M., Molines, N., Richard, G. Martell-Flores, H., Locment, F., & Baert, J. (2019). *Electromobility framework study: infrastructure and urban planning for EV*

charging station empowered by PV-based microgrid, IET Electrical Systems in *Transportation*, Volume 9, Issue 4, December, pp. 176-185.



**COMUNICACIONES**  
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”**  
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,  
Querétaro, México. C.P. 76703  
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610  
Fax: +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>