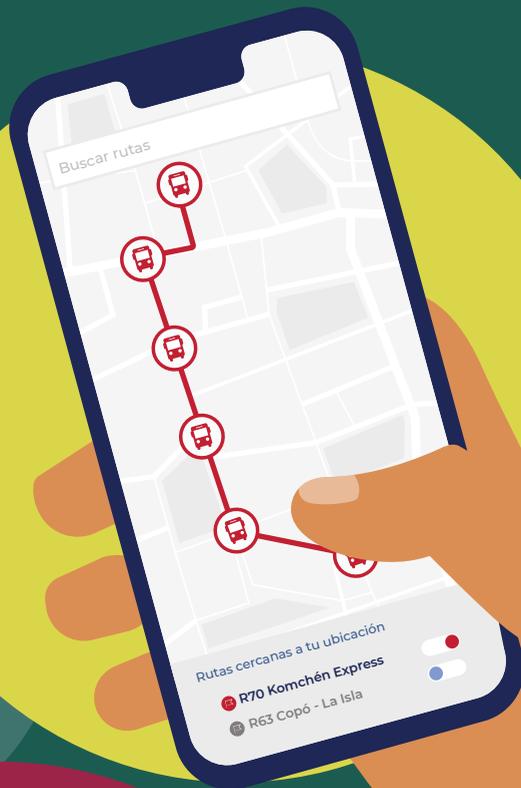


# LA DIGITALIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LAS CIUDADES MEXICANAS



GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**DESARROLLO TERRITORIAL**

SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

Este estudio fue financiado en el marco del proyecto de cooperación bilateral denominado “Transición hacia un Sistema Integrado e Inteligente de Transporte Público en México” (TranSIT) entre el Gobierno Federal Mexicano a través de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) y el Gobierno de Alemania, a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, que trabaja por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

El objetivo de TranSIT es mejorar la calidad y eficiencia del transporte público en México a nivel nacional y subnacional, a través de tres ejes temáticos: (1) desarrollo de instrumentos de toma de decisión, (2) diseño e implementación de proyectos demostrativos, y (3) intercambio de conocimientos y experiencia en temas relacionados con la movilidad.

Primera edición enero 2024

### Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit  
(GIZ) GmbH  
Dag- Hammarskjöld- Weg 1 - 5  
65760 Eschborn, Alemania  
T +49 61 96 79 -0  
F +49 61 96 79-11 15  
E info@giz.de  
I www.giz.de

Agencia de la GIZ en México  
Torre Hemícor, PH, Av. Insurgentes  
Sur 826, Col. del Valle, Juárez, 03100  
Ciudad de México, México  
T +52 55 55 36 23 44  
E giz-mexiko@giz.de  
I <https://www.giz.de/en/worldwide/33041.html>

### Proyecto

Transición hacia un Sistema  
Integrado e Inteligente del  
Transporte Público en México  
(TranSIT)

### Coordinación Institucional

#### Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

Román Guillermo Meyer Falcón  
*Secretario de Desarrollo, Agrario,  
Territorial y Urbano*

Daniel Octavio Fajardo Ortiz  
*Subsecretario de Desarrollo  
Urbano y Vivienda*

Cipactlic Casas Cruz  
*Titular de la Unidad de Planeación  
y Desarrollo Institucional (UPDI)*

Álvaro Lomelí Covarrubias  
*Coordinador General de Desarrollo*

#### Metropolitano y Movilidad (CGDMM)

Roxana Montealegre Salvador  
*Directora de Movilidad*

Diana Esmeralda Quiroz Benítez  
*Directora de Cooperación  
Internacional*

Juan Carlos Villagómez Espinosa  
*Jefe de Departamento en  
Seguimiento a Proyectos de  
Movilidad*

#### Cooperación Técnica Alemana (GIZ) en México

Isabel Von Griesheim  
*Directora del Proyecto TranSIT*

Andrea Cárdenas  
*Asesora técnica TranSIT*

Leon Becker  
*Asesor técnico TranSIT*

### Revisión de contenidos:

Ciani González Morales *Directora*

Nora G. Gutiérrez González  
*Asesor técnico Sedatu*

Joaquín Emigdio Arias  
*Asesor técnico Sedatu*

German Gutiérrez Ruiz  
*Asesor técnico Sedatu*

### Desarrollo de contenidos

Manuel Álvarez (Nommon)

Rubén Artime (Nommon)

Oliva G. Cantú (Nommon)

Ricardo Herranz (Nommon)

Roberto Martín (Nommon)

Inés Peirats (Nommon)

Miguel Picornell (Nommon)

Marta Ramírez (Nommon)

Pablo Ruiz (Nommon)

Diego Canales (E-Mobilitas)

Aldo Cerezo (E-Mobilitas)

Gustavo Jiménez (E-Mobilitas)

Josemaría Jiménez (E-Mobilitas)

Miriam Monterrubio (E-Mobilitas)

Daniel Bustillo (ITDP)

Lucía Taboada (ITDP)

### Diseño editorial e ilustraciones:

Laguna, CDMX

### Derechos de autor:

Se permite la reproducción, total o parcial, por razones educacionales o sin ánimo de lucro de esta publicación, sin la autorización especial del portador de los derechos de autor, siempre y cuando la fuente sea citada.

### Deslinde de responsabilidad:

Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento están con base en la metodología y recopilación de insumos facilitadores por la GIZ México y sus consultores. No obstante, GIZ México no puede ser responsable del contenido de este documento ni garantiza la precisión o integridad de la información por errores, omisiones o pérdidas que surjan de su uso.

### Forma de citar:

SEDATU & GIZ (2024). La digitalización del transporte público en las ciudades mexicanas.

Por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>9</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
1.1 Antecedentes: el proyecto TranSIT	19
1.2 Objetivos y alcance del estudio	20
1.3 Metodología	21
1.4 Estructura del documento	22
<b>2 LA DIGITALIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO: RETOS Y OPORTUNIDADES</b>	<b>23</b>
2.1 Tendencias globales	24
2.2 Principales tecnologías de digitalización del transporte público: descripción y casos de uso	31
2.3 Casos de estudio y lecciones aprendidas	41
<b>3 MARCO DE EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DIGITALIZACIÓN Y COMPETENCIAS DIGITALES EN EL TRANSPORTE PÚBLICO</b>	<b>55</b>
3.1 Requisitos del marco de evaluación	56
3.2 Revisión de indicadores y marcos de evaluación existentes	57
3.3 Estructura del marco de evaluación y definición de indicadores	59
3.4 Valores de referencia	64
3.5 Ejemplos de aplicación	65
<b>4 NIVEL DE DIGITALIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN MÉXICO</b>	<b>71</b>
4.1 Contexto institucional y actores clave	72
4.2 La digitalización del transporte público a escala nacional	80
4.3 La digitalización del transporte público en León, Oaxaca, Mérida y Toluca	84
<b>5 HACIA UN SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO INTELIGENTE, ACCESIBLE, EFICIENTE Y MEDIOAMBIENTALMENTE SOSTENIBLE</b>	<b>95</b>
5.1 Visión	96
5.2 Oportunidades	96
5.3 Riesgos	98

<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>101</b>
6.1	Conclusiones	102
6.2	Recomendaciones	103
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>106</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>109</b>

# TABLAS

Tabla 1.	Soluciones tecnológicas para el gobierno digital.	31
Tabla 2.	Soluciones tecnológicas para la planeación informada del transporte público.	33
Tabla 3.	Soluciones tecnológicas para la gestión inteligente del transporte público.	35
Tabla 4.	Soluciones tecnológicas para la mejora de la experiencia de las personas usuarias.	38
Tabla 5.	Marco de indicadores para la evaluación del nivel de digitalización del transporte público.	61
Tabla 6.	Valores de referencia para los indicadores propuestos.	65
Tabla 7.	Evaluación comparativa del nivel de digitalización de Londres y Santiago de Chile.	69
Tabla 8.	Principios atendidos por las Leyes de Movilidad en México.	79
Tabla 9.	Evaluación comparativa del nivel de digitalización de las ciudades analizadas.	92
Tabla 10.	Tecnologías de digitalización de transporte público disponibles en cada ciudad analizada.	109

# FIGURAS

Figura 1.	Clasificación de las tecnologías de digitalización del transporte público.	30
Figura 2.	Portal de contratación pública del gobierno de Hong Kong.	43
Figura 3.	Aplicación de planificación de rutas en Noruega.	45
Figura 4.	Arquitectura del sistema información al pasajero de Entur con OpenTripPlanner como el planeador de viajes y las diferentes interfaces de programación de aplicaciones (APIs).	46
Figura 5.	Comparación de matrices OD del transporte público para Bogotá.	49
Figura 6.	Solución implementada en SBB.	51
Figura 7.	Solución de AMT Génova para las personas usuarias.	52
Figura 8.	East Japan Railway Company.	53
Figura 9.	Chatbot TfL en Messenger de Facebook.	54
Figura 10.	Familias de indicadores de evaluación del nivel de digitalización en transporte público.	60
Figura 11.	Actores clave en el transporte público en México.	72
Figura 12.	Estados con Leyes de Movilidad.	78
Figura 13.	La movilidad en León: reparto modal.	85
Figura 14.	La movilidad en Oaxaca: reparto modal.	87
Figura 15.	La movilidad en Mérida: reparto modal.	89
Figura 16.	Recomendaciones.	105

# ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ADAS	Advanced Driving Assistance Systems (Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción)
ADIP	Agencia Digital de Innovación Pública
AMAM	Asociación Mexicana de Autoridades de Movilidad
AMT	Azienda Mobilità e Transporti
AMTM	Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad
ANPACT	Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones
APC	Automatic Passenger Counting (Conteo Automático de Pasajeros)
API	Application Programming Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones)
ATY	Agencia de Transporte de Yucatán
AVL	Automatic Vehicle Locator (Localización Automática de Vehículos)
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
BI	Business Intelligence (Inteligencia de Negocio)
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo)
BRT	Bus Rapid Transit (Buses de Tránsito Rápido)
CETRAM	Centro de Transferencia Multimodal
DOF	Diario Oficial de la Federación

DRP	Disaster Recovery Plan (Plan de Recuperación de Desastres)
DRT	Demand Responsive Transport (Transporte a la Demanda)
Edomex	Estado de México
ENAMOV	Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial
ETS	Electronic Tendering System (Sistema Electrónico de Licitación)
FONADIN	Fondo Nacional de Infraestructura
GBFS	General Bikeshare Feed Specification (Especificación General de Feeds de Bicicleta Compartida)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GLD	Government Logistics Department (Departamento de Logística del Gobierno)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
GTFS	General Transit Feed Specification (Especificación General de Feeds de Transporte Público)
HHA	Hamburger Hochbahn AG
HKD	Hong Kong Dollars (Dólar de Hong Kong)
IA	Inteligencia Artificial
IMDUT	Instituto de Movilidad y Desarrollo Urbano Territorial
IMPLAN	Instituto Municipal de Planeación de Mérida
IoT	Internet of Things (Internet de las Cosas)

IT	Information Technology (Tecnología de la Información)
LGAHOTDU	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGMSV	Ley General de Movilidad y Seguridad Vial
MaaS	Mobility as a Service (Movilidad como Servicio)
MRR	Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia
NDC	National Determined Contribution (Contribución Determinada a Nivel Nacional)
NFC	Near Field Communication (Comunicación de Campo Cercano)
NLP	Natural Language Processing (Procesamiento del Lenguaje Natural)
OD	Origen-Destino
ONG	Organización No Gubernamental
PCMS	Procurement and Contract Management System (Sistema de Gestión de Adquisiciones y Contratos)
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PROTRAM	Programa de Apoyo Federal al Transporte Masivo
Pyme	Pequeña y mediana empresa
RTP	Red de Transporte de Pasajeros
RTPI	Real Time Passenger Information (Información al Pasajero en Tiempo Real)
SaaS	Software as a Service (Software como Servicio)

SAE	Sistema de Ayuda a la Explotación
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
SBB	Schweizerische Bundesbahnen, SBB (Ferrocarriles Federales de Suiza)
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEMOVI	Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México
SICAC	Sistema de Control y Administración de Concesiones
SICT	Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIRI	Standard Interface for Real-time Information (Interfaz Estándar para Información en Tiempo Real)
SIT	Sistema Integrado de Transporte
SITRAMyTEM	Sistema de Transporte Masivo y Teleférico del Estado de México
SITU	Sistema de Información Territorial y Urbano
STC	Sistema de Transporte Colectivo
TCO	Total Cost of Ownership (Costo Total de Propiedad)
TfL	Transport for London
TMB	Transportes Metropolitanos de Barcelona
UE	Unión Europea
UITP	Unión Internacional de Transporte Público
USD	United States Dollars (Dólar estadounidense)
WRI	World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales)

# RESUMEN EJECUTIVO

## La importancia de la digitalización del transporte público en México

Actualmente, el sector del transporte es el mayor emisor de gases de efecto invernadero (GEI) en México, representando aproximadamente el 25% de las emisiones totales. Las emisiones del transporte repercuten además en la salud poblacional. Una de las principales razones es la baja calidad y la ineficiencia de los servicios de transporte público, que han llevado a una elevada cuota modal del vehículo privado. Para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de México es urgente implementar servicios de transporte público de calidad, inclusivos, seguros y medioambientalmente sostenibles, que sean capaces de competir con el automóvil privado. Las tecnologías de digitalización y las soluciones de movilidad inteligente están llamadas a desempeñar un papel fundamental en la modernización del transporte público en México. Las tendencias más recientes en digitalización, como las redes 5G, el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), la inteligencia artificial (IA) o el blockchain, entre otras, están teniendo un fuerte impacto en múltiples áreas de la sociedad y de la empresa, y el sector del transporte público no es una excepción: el impacto de la digitalización en el transporte público abarca múltiples dimensiones, tanto a nivel interno de la organización (p.ej., mejoras en la eficiencia de distintos procesos, necesidad de nuevas habilidades y competencias del personal) como en su relación con las personas usuarias (p.ej., mejoras en la fiabilidad y calidad del servicio).

## Principales tecnologías de digitalización del transporte público



### Soluciones digitales para la administración del transporte: gobierno digital.

En esta categoría se agrupan las tecnologías cuyo impacto principal está en el ámbito institucional. Las soluciones de gobierno digital incluyen las herramientas de comunicación digital y participación ciudadana, los sistemas de licitación electrónica y los portales de datos abiertos. El principal público usuario son las autoridades de transporte, así como el resto de actores que interactúan con dichas autoridades (operadores, proveedores de tecnología y usuarios del transporte público, entre otros).



### Soluciones digitales para la planeación del transporte.

Se incluyen aquí las tecnologías que facilitan la tarea de configurar el servicio de transporte para atender a una demanda de movilidad estimada de la forma más precisa posible, como las soluciones de análisis de datos masivos (big data) para el estudio de la demanda de movilidad, las herramientas de modelación y simulación del transporte, y los sistemas de información geográfica (SIG) y otras herramientas de visualización de datos. El principal público usuario de estas tecnologías son las autoridades de transporte.



### Soluciones digitales para la operación del transporte.

En esta categoría se encuentran todas las soluciones tecnológicas utilizadas en el día a día de la operación de transporte: herramientas de gestión de la operación (p.ej., sistemas de ayuda a la explotación, tecnologías vehiculares (sistemas de medición de ocupación, sistemas de conducción segura, etc.), soluciones de seguridad vial, soluciones de protección frente al crimen, y servicios emergentes de movilidad (p.ej., sistemas de movilidad compartida), entre otras. El principal público usuario de estas tecnologías son las empresas operadoras de transporte.



### Soluciones digitales para las personas usuarias del transporte público.

En este último grupo se incluyen las tecnologías que tienen como público a las personas usuarias del transporte público. Ejemplos de este tipo de soluciones digitales son los servicios de información, los métodos digitales de pago y validación, los planeadores de viaje y las soluciones de conectividad.

## Evaluando el nivel de digitalización del transporte público: marco de indicadores

Para identificar las tecnologías digitales que mejor contribuyen a los objetivos de movilidad de una ciudad o región es necesario realizar un **diagnóstico previo del estado de digitalización del sistema de transporte público**. Esto requiere disponer de un marco de evaluación que permita tanto caracterizar la situación de partida, como evaluar el impacto que tendrán las decisiones futuras y en qué

medida se lograrán los efectos previstos. A partir de una revisión exhaustiva de la literatura y de un amplio proceso de consulta con distintos actores del sector del transporte público en México, el presente estudio propone la utilización de un **conjunto de indicadores de naturaleza cualitativa**, con vistas a priorizar la facilidad de aplicación y la comparabilidad entre ciudades.

Los indicadores propuestos se han agrupado en 5 familias: (i) indicadores ligados al marco legal e institucional, (ii) indicadores asociados a la gobernanza digital, (iii) indicadores relacionados con el proceso de planeación del servicio de transporte, (iv) indicadores relacionados con la gestión y operación del servicio de transporte y finalmente (v) indicadores de confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio. Para cada uno de los indicadores identificados en estas 5 familias se propone un conjunto de valores posibles que permiten la comparabilidad entre diferentes situaciones.

Para sintetizar el grado de digitalización del transporte público se ha optado por generar un índice compuesto consistente en una media ponderada de los distintos indicadores, teniendo en cuenta la importancia relativa otorgada a los mismos por los expertos consultados. Con el objeto de establecer en qué punto se encuentra cada una de las ciudades evaluadas, se han identificado los siguientes **niveles de digitalización**, de acuerdo a la calificación descrita anteriormente:



**Digitalización inicial.** La ciudad se encuentra en las fases iniciales de la planeación y valoración de la digitalización de los componentes y procesos del transporte público.



**Digitalización intermedia.** La ciudad cuenta con algunos componentes y procesos digitalizados,

abarcando algunos componentes para la operación y la confiabilidad del usuario.



**Digitalización avanzada.** La ciudad cuenta con una mayoría de componentes y procesos digitalizados, incluidos los componentes administrativos.



**Digitalización consolidada.** La práctica totalidad de los componentes y procesos en todos los ejes estudiados están digitalizados y la ciudad lleva años operando estas tecnologías.

Familia de indicadores	Ponderación en el índice global	Nivel de digitalización			
		Inicial	Intermedia	Avanzada	Consolidada
Marco legal e institucional	15%	0-2.49	2.5-4.99	5-7.49	7.5-10
Gobernanza digital	15%				
Planeación informada	20%				
Gestión inteligente	25%				
Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio	25%				
Índice global	100%	0-2.49	2.5-4.99	5-7.49	7.5-10

## La digitalización del transporte público en México: contexto institucional

Dentro del andamiaje institucional mexicano, donde las responsabilidades en materia de transporte público recaen en gran medida en los Gobiernos Estatales y, sólo en algunos casos, en los Gobiernos Municipales, se dibuja un panorama marcado por la falta de una coordinación federal. Actualmente están en marcha algunos esfuerzos por coordinar la gestión del transporte público desde la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), pero todavía con poco impacto en materia de legislación y normativas que homologuen y estandaricen elementos, componentes y prácticas. Por su parte, la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) ha impulsado la implementación de la Ley General de Movi-

lidad y Seguridad Vial (LGMSV), publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) y en vigor desde mayo de 2022, así como la elaboración de la Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (ENAMOV), aprobada por el Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial el 22 de junio y publicada en el DOF el 10 de octubre de 2023.

En la LGMSV (Artículos 27-30) se resalta la necesidad de promover avances tecnológicos y en materia de gestión de datos, mientras que en la ENAMOV, en particular dentro del Eje 2 'Servicios de transporte público de personas', se incluyen varias líneas de acción e instrumentos orientados a la digitalización, como el lineamiento para la optimización de rutas de transporte a partir de datos de demanda obtenidos por sistemas de monitoreo o la digitalización de la información generada

por los servicios de transporte público para facilitar la toma de decisiones.

En México, todos los estados cuentan con una Ley de Transporte. Respecto a Leyes de Movilidad, Jalisco y Ciudad de México<sup>1</sup> fueron pioneras en implementarlas en 2013 y 2014, respectivamente. Desde entonces, otros 27 estados han adoptado leyes similares, la mayoría con cláusulas enfocadas en promover el uso de tecnologías para mejorar la seguridad, gestión, control, procesamiento, almacenamiento y distribución de información en el ámbito del transporte. Por ejemplo, la Ley de Movilidad de la Ciudad de México destaca la necesidad de emplear tecnología avanzada para lograr una gestión eficiente y la automatización, reduciendo así los errores y las externalidades negativas en los desplazamientos.

Pese a estos avances, existe aún un amplio margen de mejora para avanzar hacia una mayor digitalización del transporte público. En lo relativo al equipamiento y la infraestructura tecnológica, es necesario avanzar en la adquisición de hardware y software para la planeación y la operación del transporte público, el establecimiento de centros de control, la implantación de sistemas de recaudo electrónico, y el desarrollo de una infraestructura de almacenamiento y procesamiento de datos que facilite su correcta explotación. En el plano legal e institucional, es necesario incluir en dicho marco una estrategia a nivel federal con metas claras que señalen el camino y permitan medir los avances hacia un sistema de transporte público más digitalizado. Asimismo, es necesario dotarse de normas y estándares que permitan homologar el ma-

nejo, calidad, forma y estructura de la información, con el fin de facilitar el intercambio de información entre distintos sistemas y herramientas software. Existe también una importante necesidad de fortalecer la capacidad técnica del personal que trabaja en el transporte público. Finalmente, si bien existen distintos programas e iniciativas de digitalización de ámbito nacional, como el programa Ideamos, dichos programas son aún escasos, así como de alcance y presupuesto limitados.

### La digitalización del transporte público en León, Oaxaca, Mérida y Toluca

En el presente estudio se ha profundizado en los avances, desafíos y estrategias adoptadas en cuatro ciudades con niveles muy diferentes de digitalización: León (Guanajuato), Oaxaca de Juárez (Oaxaca), Mérida (Yucatán) y Toluca (Estado de México).



<sup>1</sup> Durante la elaboración del estudio, la Ciudad de México está en el proceso de actualizar su ley de movilidad. La información descrita en el estudio se basa aún en la versión de la Ley de Movilidad de la Ciudad de México, 2020.

Indicador global		León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
		6,83	7,97	2,79	1,86
		Avanzada	Consolidada	Intermedia	Inicial
1	Marco habilitante	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
1.1	Autoridad en transporte y movilidad	Dirección de Movilidad (municipal)	Dirección de Movilidad (estatal)	Dirección de Movilidad (estatal)	Dirección de Movilidad (estatal)
1.2	Ley de Movilidad	Existe	Existe	Existe	Existe
1.3	Objetivos específicos de digitalización en el marco regulatorio	Parcialmente abordados	Parcialmente abordados	Parcialmente abordados	Parcialmente abordados
1.4	Presupuesto para digitalización	No existe	Existe	No existe	No existe
1.5	Conectividad	Básica	Básica	Básica	Básica
1.6	Gestión integrada del transporte público	Implementación parcial	Implementación parcial	Implementación parcial	Implementación parcial
1.7	Protección de datos	Implementación completa	Implementación completa	Implementación completa	Implementación completa
<b>Valor del bloque 1</b>		<b>6,43</b>	<b>7,86</b>	<b>6,43</b>	<b>6,43</b>
2	Gobernanza digital	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
2.1	Área responsable de la información	Dirección de Movilidad	Dirección de Tecnologías	Planeación	Dirección de Registro Estatal
2.2	Área especializada y enfocada en el manejo de la información digital	Existe	Existe	Responsabilidad distribuida	Existe
2.3	Plataformas digitales	Implementación parcial	Implementación parcial	No existe	No existe
2.4	Plan de recuperación de desastre	Existe	Existe	Existe	No existe
2.5	Intranet	Existe	Existe	Existe	Existe
<b>Valor del bloque 2</b>		<b>9,00</b>	<b>9,00</b>	<b>7,00</b>	<b>6,00</b>
3	Planeación informada	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
3.1	Sistemas de recopilación de información	Implementación completa	Implementación parcial	No existe	No existe
3.2	Análisis de la demanda	No existe	Existe	No existe	No existe

<b>3</b>	<b>Planeación informada</b>	<b>León, Guanajuato</b>	<b>Mérida, Yucatán</b>	<b>Oaxaca, Oaxaca</b>	<b>Toluca, Estado de México</b>
3.3	Software de modelación y simulación de transporte	No existe	Existe	No existe	No existe
3.4	Sistemas GIS	Existe	Existe	Existe	No existe
<b>Valor del bloque 3</b>		<b>5,00</b>	<b>3,75</b>	<b>2,50</b>	<b>0,00</b>
<b>4</b>	<b>Gestión inteligente</b>	<b>León, Guanajuato</b>	<b>Mérida, Yucatán</b>	<b>Oaxaca, Oaxaca</b>	<b>Toluca, Estado de México</b>
4.1	Centro de control	Existe	Existe	No existe	No existe
4.2	SAE	Existe	Existe	No existe	No existe
4.3	Telemetría	Existe	Existe	No existe	No existe
4.4	Sistemas de ayuda a la conducción	No existe	Implementación parcial	No existe	No existe
4.5	Seguridad de la persona pasajera y protección frente al crimen	Implementación completa	Implementación completa	No existe	No existe
4.6	Sistemas de vehículos autónomos	No existe	No existe	No existe	No existe
4.7	Servicios emergentes de movilidad	No existe	Existe	No existe	No existe
<b>Valor del bloque 4</b>		<b>5,71</b>	<b>6,43</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>5</b>	<b>Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio</b>	<b>León, Guanajuato</b>	<b>Mérida, Yucatán</b>	<b>Oaxaca, Oaxaca</b>	<b>Toluca, Estado de México</b>
5.1	Plataforma para consulta de información en tiempo real	No existe	Implementación parcial	No existe	No existe
5.2	App de movilidad de la ciudad	Existe	Existe	No existe	No existe
5.3	Acuerdos con aplicaciones comerciales	Existe	Implementación parcial	No existe	No existe
5.4	Equipamiento de información en vehículos	Implementación completa	Implementación completa	No existe	No existe
5.5	Equipamiento de información en estaciones e infraestructura	Implementación completa	Implementación completa	No existe	No existe
5.6	GTFS	Existe	Existe	Existe	No existe

5	Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
5.7	Sistema digital de recaudo	Implementación completa	Implementación completa	No existe	No existe
5.8	Plataforma para planeación de viaje	Implementación parcial	Existe	No existe	No existe
5.9	Servicio de internet en estaciones	Implementación completa	Parcial	No existe	No existe
<b>Valor del bloque 5</b>		<b>8,33</b>	<b>8,33</b>	<b>1,11</b>	<b>0,00</b>

Del análisis llevado a cabo pueden extraerse las siguientes conclusiones principales:

- La diversidad en el nivel de digitalización.** El grado de avance y madurez tecnológica en las ciudades mexicanas analizadas es muy heterogéneo. Mientras que León y Mérida muestran avances significativos en la implementación de tecnologías digitales, Oaxaca y Toluca aún se encuentran comparativamente rezagadas en el ordenamiento del transporte público, su gestión y digitalización. Así, por ejemplo, mientras Mérida cuenta ya con un centro de control, integración tarifaria, y autobuses eléctricos, en Oaxaca aún no existe una base de datos confiable de las concesiones de transporte en la ciudad.
- La importancia del marco legal y la gobernanza digital.** La efectividad de la digitalización está intrínsecamente ligada a un marco legal habilitante y una gobernanza digital robusta. Las leyes de movilidad y la existencia de regulaciones específicas son fundamentales para impulsar y estandarizar los esfuerzos de digitalización. Aunque la nueva LGMSV ha supues-

to un importante avance, esta no ha sido adoptada aún por todas las entidades federativas ni tampoco se han impulsado normativamente los procesos de digitalización del transporte.

- Las brechas en planeación y gestión inteligente.** Pese a los avances en algunas áreas, como los sistemas de recaudo y monitoreo implantados en León y Mérida, en la mayoría de las ciudades analizadas persisten brechas significativas en la planeación informada y la gestión inteligente del transporte. La falta de análisis de datos de demanda y de sistemas de modelación y simulación del transporte, son ejemplos claros de que, en México, las herramientas digitales para la planeación estratégica y la gestión operativa de los sistemas de transporte están subutilizadas.
- Los desafíos de implementación y capacidad institucional.** Los gobiernos estatales enfrentan importantes desafíos relacionados con la implementación de tecnologías, la capacidad técnica y financiera, y la resistencia al cambio tanto de las empresas operadoras como de la po-

blación usuaria. Las entrevistas realizadas para este estudio confirman que la capacidad institucional para enfrentarse a los retos de la digitalización del sector transporte es aún insuficiente. En algunas ciudades, además, existen temas aún más críticos pendientes de resolver, como la formalización del sector transporte y la renovación de flotas, que en algunos casos son muy obsoletas.

## Hacia un sistema de transporte público inteligente, accesible, eficiente y medioambientalmente sostenible

El futuro del transporte en México pasa necesariamente por **mejorar la eficiencia, la accesibilidad y la sostenibilidad medioambiental del sistema de transporte público, así como la experiencia de movilidad de la población usuaria del sistema.** Un componente clave de esta visión es la incorporación de soluciones digitales en la administración, la planeación, la operación y la interacción con las personas usuarias de los sistemas de transporte público. La digitalización:

- **Aumentará la eficiencia de los procesos administrativos,** gracias a soluciones de gobierno digital tales como las herramientas de participación ciudadana, los sistemas de licitación electrónica y los portales de datos abiertos.
  - **Facilitará la tarea de diseñar servicios que respondan a las necesidades de movilidad de la población,** gracias a la posibilidad de conocer mejor dichas necesidades a través de nuevas fuentes de datos masivos de movilidad y la incorporación de herramientas avanzadas de modelación y planeación del transporte.
  - **Incrementará la eficiencia de las operaciones y reducirá su impacto ambiental,** gracias a la incorporación de sistemas de gestión de flotas, de nuevas tecnologías vehiculares más limpias, como autobuses eléctricos o híbridos, y de nuevos modos de transporte compartido que reducirán el uso del automóvil privado.
  - **Ayudará a desarrollar servicios de transporte público más accesibles,** guiados por los principios de inclusión y justicia social, mediante soluciones como las aplicaciones móviles para la compra de boletos, la provisión de información en tiempo real sobre los servicios y la integración de sistemas de pago electrónico.
- Para hacer realidad esta visión, es clave tener en cuenta los siguientes aspectos:
- **Fortalecimiento del marco legal y regulatorio:** Los gobiernos estatales deben trabajar en fortalecer el marco legal y regulatorio, incluyendo leyes específicas que impulsen la digitalización y establezcan estándares claros y uniformes. Asimismo, el marco legal debe permitir a los entes públicos el libre acceso a la información de todas las empresas operadoras de transporte público.
  - **Desarrollo de capacidades institucionales.** La inversión pública para el desarrollo de capacidades institucionales en la planeación, implementación y gestión de proyectos de digitalización es imperativa. Esto incluye la formación de personal especializado y la creación de unidades o departamentos dedicados a la transformación digital del transporte público.
  - **Integración del transporte público.** La planeación y operación integrada de los distintos servicios de transporte público

facilita la compartición de información y la adopción de medidas de forma coordinada, amplificando los beneficios de las tecnologías de digitalización. Avanzar hacia un sistema de transporte público integrado, por tanto, debería ser una prioridad para las ciudades mexicanas.

- **Fomento de la participación ciudadana y la colaboración sectorial.** Promover la participación ciudadana en la planeación y evaluación del transporte público ayuda a impulsar el uso de sistemas digitales para prestar una mejor atención a las personas usuarias. Además, fomenta la colaboración entre gobierno, sector privado, academia y organizaciones no gubernamentales para el desarrollo e implementación de tecnologías innovadoras.
  - **Apuesta por la planeación informada y la gestión inteligente.** Para lograr la implementación de sistemas avanzados para la recopilación y análisis de datos del transporte, que permitan una planeación informada y una gestión más eficiente del transporte público, se debe invertir desde el sector público y/o promover proyectos de colaboración público-privada. Las ciudades que han invertido en infraestructura digital (dispositivos GPS, sistemas de recaudo, centros de control, etc.), como Mérida y Ciudad de México, han dado un salto significativo en la operación del transporte público que está teniendo un impacto transformador en el sector.
  - **Enfoque en la accesibilidad y experiencia de las personas usuarias.** Se debe priorizar la accesibilidad y la experiencia de las personas usuarias, desarrollando interfaces amigables y plataformas de
- información en tiempo real. Para lograr una implementación efectiva de las herramientas de información a las personas usuarias, se debe tener en cuenta que ya existen esquemas (como son los GTFS), plataformas (como *Google Transit*) y herramientas (app de la CDMX) probados en México y en el mundo que pueden replicarse en las ciudades piloto analizadas.
- **Adopción de tecnologías emergentes y soluciones SaaS.** Incentivar la adopción de tecnologías emergentes y soluciones SaaS que permitan una mayor flexibilidad puede reducir los costos de implementación. Existen herramientas software ampliamente probadas que facilitan la digitalización del transporte, desde la planeación hasta la operación y el monitoreo. Si bien invertir en nuevos desarrollos puede ser atractivo, el empleo de soluciones SaaS y de servicios de almacenamiento y computación en la nube puede ahorrar mucho tiempo y reducir sensiblemente los costos.
  - **Estrategias de financiamiento y modelos de negocio sostenibles.** Para acelerar la transformación digital del transporte público, es necesario desarrollar estrategias de financiamiento innovadoras y modelos de negocio sostenibles que permitan la implementación y mantenimiento a largo plazo de sistemas tecnológicos avanzados. Ejemplos de estrategias de financiamiento pueden ser la colaboración público-privada, la concesión tecnológica, el financiamiento a través de fondos específicos, la publicidad digital o las tarifas dinámicas y los modelos de pago electrónicos.



# 1

## INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes: el proyecto TransIT

En noviembre de 2022, México presentó ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático la actualización de su **Contribución Determinada a Nivel Nacional**<sup>2</sup> (NDC, por sus siglas en inglés) (SEMARNAT, 2022), estableciendo nuevos compromisos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y refrendando sus compromisos de adaptación al cambio climático en todos los sectores de la economía. Para el cumplimiento de estos compromisos es especialmente relevante el **sector del transporte**, que a día de hoy es el mayor emisor de GEI en México, representando aproximadamente el 25% de las emisiones totales. Adicionalmente, el transporte genera otras emisiones con impactos importantes en la salud de la población, por lo que la Ley General de Cambio Climático (LGCC) pone especial énfasis en la transición hacia una movilidad más sostenible.

Una de las razones que explican el rápido crecimiento de las emisiones del transporte en México es **la baja calidad y la ineficiencia de los servicios de transporte público**, que proporcionan una conectividad limitada, con largos tiempos de espera, vehículos con un exceso de ocupación, barreras para el acceso de determinados grupos de población (personas con discapacidad, mujeres, niños y otros grupos vulnerables) y problemas de seguridad, como atracos, robos y agresiones sexuales. Estos factores han llevado a una elevada cuota modal del vehículo privado, que recientemente se vio agravada por la reducción del uso del transporte público debi-



da al miedo al contagio durante la pandemia por COVID-19.

Para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de México es urgente implementar servicios de transporte público de calidad, inteligentes, inclusivos, seguros y medioambientalmente sostenibles, que sean capaces de competir con el automóvil privado. El **proyecto TransIT** (“Transición hacia un sistema integrado e inteligente de transporte público en México”) pretende contribuir a este objetivo. TransIT es un proyecto de cooperación bilateral entre los Gobiernos de México y Alemania financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) alemán. En el marco de TransIT, la Cooperación Técnica Alemana (GIZ) en México, en colaboración con la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), implementa medidas para **contribuir a un transporte público más inteligente, accesible, eficiente y medioambientalmente sostenible**, a través de tres ejes principales:

1. Desarrollo y mejora de **herramientas para la toma de decisiones** y fortaleci-

2 SEMARNAT (2022). Contribución determinada a nivel nacional. [https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico\\_NDC\\_UNFCCC\\_update2022\\_FINAL.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico_NDC_UNFCCC_update2022_FINAL.pdf)

miento de las competencias profesionales de los principales actores del sector del transporte público.

2. Implementación de **proyectos de demostración** que permitan crear experiencias prácticas y generar el conocimiento necesario para aplicar nuevas mejoras y replicar medidas.
3. **Transferencia de conocimiento:** difusión de experiencias y lecciones aprendidas de los proyectos demostrativos a través de redes de intercambio tanto a nivel nacional como internacional.

Las tecnologías de digitalización y las soluciones de movilidad inteligente están llamadas a desempeñar un papel fundamental en estos tres ejes. El presente estudio analiza el **nivel de digitalización del transporte urbano en México y las principales oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías digitales para mejorar la calidad y la sostenibilidad del transporte urbano en el país.**

Cabe señalar que el presente estudio no es el único que analiza la digitalización del transporte público en México. El carácter multifacético del asunto es propicio para que sea analizado desde diferentes puntos de vista. Mientras que el presente estudio evalúa el nivel de digitalización y las oportunidades de mejora mediante un análisis de las principales tecnologías aplicables, otros estudios analizan la transformación digital del transporte público desde la perspectiva de los procesos. Así, por ejemplo, el Banco Interamericano de Desarrollo está llevando a cabo un estudio que analiza la transformación digital del

transporte público a través de un modelo de referencia de 5 etapas.

## 1.2 Objetivos y alcance del estudio

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

1. Analizar las principales **tendencias en la digitalización del transporte público urbano** a nivel global, identificando y describiendo las tecnologías más relevantes.
2. Definir un **marco de evaluación** del nivel de digitalización del transporte público alineado con las mejores prácticas internacionales.
3. Aplicar el marco de evaluación propuesto al **diagnóstico del nivel de digitalización actual del sistema de transporte público en México**, tanto a escala nacional como en las ciudades de León, Oaxaca, Mérida y Toluca.
4. Analizar las **oportunidades de mejora del transporte público a través de la digitalización** en los estados objeto de estudio y evaluar los beneficios esperados y los costos de implementación de las tecnologías identificadas.
5. Identificar las **tecnologías de digitalización del transporte público con mayor potencial de contribuir al desarrollo urbano sostenible** en México, definiendo una visión y un conjunto de recomendaciones para su implementación.

## 1.3 Metodología

La metodología empleada para el estudio consta de las siguientes tareas principales:

- En primer lugar, se ha llevado a cabo una revisión de la literatura para identificar las principales tecnologías de digitalización del transporte público. Se han identificado 15 tecnologías, clasificándolas en 4 grupos de acuerdo a los problemas a los que dan respuesta: gobierno digital, planeación, operación y servicios para las personas usuarias. Para cada tecnología, se han analizado sus principales características y las principales lecciones aprendidas de las experiencias de implementación en diferentes ciudades del mundo.
- En segundo lugar, a partir de una revisión de referencias y guías de buenas prácticas internacionales, se ha definido un marco de indicadores y métricas para la evaluación exhaustiva del nivel de digitalización del transporte público urbano.
- A continuación, se ha revisado el marco regulatorio y las principales iniciativas y programas gubernamentales para la digitalización del transporte público en México.
- Las tecnologías identificadas, el marco de evaluación propuesto y el diagnóstico inicial a escala nacional se han utilizado como base para diseñar un proceso de consulta con diferentes actores clave, tanto públicos como privados, del sector del transporte público en los estados de Guanajuato, Oaxaca, Yucatán y Estado de México, con el fin de profundizar en el diagnóstico de la situación en estos estados. Este proceso se ha implementado me-

dante una combinación de 15 entrevistas personales y 6 cuestionarios online.

- Tomando como base los resultados de las tareas anteriores, se ha realizado un diagnóstico detallado del nivel de digitalización del transporte público en las cuatro regiones de estudio, documentando la situación actual y las principales áreas de mejora e identificando las tecnologías digitales más prometedoras para mejorar el sistema de transporte público, analizando sus beneficios, los costos de adquirir y desplegar estas tecnologías, y los principales riesgos asociados a su implementación.
- Finalmente, se ha definido una visión para la transformación digital del transporte público en las regiones de estudio y un conjunto de recomendaciones para hacer realidad esta visión.

El enfoque principal del estudio ha sido el análisis de los servicios de transporte público urbano colectivo. Sin embargo, muchas de las tecnologías identificadas en este estudio también tienen aplicaciones en servicios individuales, como los servicios de taxi. La relación entre el transporte público colectivo y los servicios de taxi es compleja, con elementos de complementariedad, competencia y colaboración que dependen de factores como la disponibilidad, la accesibilidad y las preferencias de los usuarios. En este sentido, los avances tecnológicos pueden facilitar la integración de los servicios de transporte público y de taxi, contribuyendo a satisfacer las necesidades de transporte de la población de manera más eficiente, por lo que en el estudio se han incluido también algunas consideraciones relativas a la digitalización del sector del taxi.

## 1.4 Estructura del documento

El resto de este documento se estructura de la siguiente forma:

- El capítulo 2 **‘La digitalización del transporte público: retos y oportunidades’** presenta las tecnologías más relevantes para la transformación digital del transporte público clasificadas en cuatro grupos de acuerdo a su ámbito de aplicación: (i) gobierno digital, (ii) planeación del transporte público, (iii) operación del transporte público y (iv) soluciones para las personas usuarias. Se discuten de forma resumida las principales características y casos de uso de cada una de las tecnologías identificadas y se presenta un conjunto de casos de estudio que ilustran la aplicación de algunas de estas tecnologías en distintas ciudades del mundo con diferentes necesidades de movilidad y niveles de digitalización. El Anexo I proporciona información más detallada acerca de cada tecnología.
  - El capítulo 3 **‘Marco de evaluación del nivel de digitalización y competencias digitales en el transporte público’** propone un conjunto de indicadores y métricas para la evaluación del nivel de digitalización del transporte público y unos valores de referencia para dichos indicadores asociados a distintos niveles de digitalización. El marco propuesto consta de 32 indicadores organizados en 5 áreas: (i) marco legal e institucional; (ii) gobernanza digital; (iii) planeación informada; (iv) gestión inteligente; y (v) confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio. En este capítulo se presentan también dos
- ejemplos de aplicación del marco de evaluación propuesto a una ciudad europea líder en la digitalización del transporte, Londres, y a una de las ciudades latinoamericanas más avanzadas en este campo, Santiago de Chile.
- El capítulo 4 **‘Nivel de digitalización del transporte público en México’** empieza describiendo el contexto institucional y los actores clave del sector del transporte público en México; a continuación se presentan las principales iniciativas para la digitalización del transporte público a escala nacional; y finalmente se incluye un diagnóstico más profundo del nivel de digitalización del transporte público y las principales oportunidades de mejora en las cuatro ciudades seleccionadas para el presente proyecto: León (Guanajuato), Oaxaca de Juárez (Oaxaca), Mérida (Yucatán) y Toluca (Estado de México).
  - El capítulo 5 **‘Hacia un sistema de transporte público inteligente, accesible, eficiente y medioambientalmente sostenible’** delinea una visión para la transformación digital del transporte público en México, identificando las tecnologías más prometedoras y los beneficios, costos y riesgos asociados a dichas tecnologías.
  - Finalmente, el capítulo 6 **‘Conclusiones y recomendaciones’** resume las principales conclusiones del estudio y proporciona un conjunto de recomendaciones prácticas para contribuir a un transporte público más inteligente, accesible, eficiente y medioambientalmente sostenible.



# 2

## LA DIGITALIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO: RETOS Y OPORTUNIDADES

## 2.1 Tendencias globales

### 2.1.1 La transformación digital

La **transformación digital** es el proceso de adopción e implementación de tecnología digital por parte de una organización con el fin de crear nuevos productos, servicios y procesos o mejorar los existentes (Vial, 2021) Por este motivo, la digitalización se ha convertido en uno de los vectores de cambio más importantes para la modernización tanto del sector público como de las empresas privadas.

Las tendencias en digitalización evolucionan constantemente a medida que la tecnología avanza. Algunas de las tendencias más destacadas en digitalización incluyen el despliegue de **redes 5G** para proporcionar una conectividad más rápida y confiable, lo que impulsa aplicaciones como el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y la transmisión de datos de alta velocidad; el uso de dispositivos **IoT** para la recopilación de datos que permiten mejorar la eficiencia de los procesos y la toma de decisiones; las tecnologías de **computación en la nube** (*cloud computing*), que ofrecen flexibilidad y escalabilidad a la hora de gestionar los recursos de computación; la **automatización robótica de procesos**, que emplea robots de software para automatizar tareas repetitivas, mejorando la eficiencia y reduciendo errores; el empleo de la **IA** y el **aprendizaje automático** para la automatización de procesos, la analítica avanzada de datos y la toma de decisiones más inteligentes; la adopción de tecnologías inmersivas de **realidad aumentada y realidad virtual** para mejorar la experiencia de las personas usuarias; el uso de **blockchain** para mejorar la transparencia y la seguridad en transacciones financieras, cadenas de suministro y otras áreas; y la implementación de tecnologías avanzadas de **ciberseguridad**,

como el uso de IA para la detección y respuesta a amenazas.



**Personas usuarias de Internet:** el número de personas en todo el mundo con acceso a Internet supera los 4.900 millones.



**Dispositivos conectados:** se espera que en el año 2030 el número de dispositivos conectados a Internet, incluyendo dispositivos IoT, supere los 50.000 millones.



**Adopción de teléfonos inteligentes:** alrededor del 66 % de la población mundial posee un teléfono inteligente.



**Aplicaciones móviles:** se estimaba que hay más de 3,5 millones de aplicaciones disponibles en las principales tiendas de aplicaciones, con millones de descargas diarias.



**Uso de redes sociales:** más de 4.200 millones de personas en el mundo utilizan plataformas de redes sociales.



**Comercio electrónico:** el comercio electrónico representa alrededor del 20 % del total de las ventas minoristas globales.



**Servicios en la nube:** la adopción de servicios en la nube continúa en aumento, con ingresos que alcanzan ya cientos de miles de millones de dólares.



**Transformación digital empresarial:** la inversión global en tecnologías de transformación digital está en aumento y se prevé que alcance los 3.4 billones de dólares en 2026.

## EL CASO DE ESPAÑA

**Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia**

El 21 de julio de 2020 el Consejo Europeo acordó crear un instrumento excepcional de recuperación temporal, conocido como NextGenerationEU, que autoriza a la Comisión Europea a emitir hasta 750.000 millones de euros de deuda en nombre de la Unión Europea (UE). Es decir, los 27 estados miembros se pusieron de acuerdo para endeudarse juntos con la vista puesta en invertir en un futuro común.

El principal instrumento de NextGenerationEU es el Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia (MRR), que constituye el núcleo del fondo de recuperación y está dotado con 723.800 millones de euros. Su finalidad es apoyar la inversión y las reformas en los Estados Miembros para lograr una recuperación sostenible y resiliente. El estado español ha accedido a los recursos del MRR a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia con el objetivo de transformar la economía española para hacerla más verde, digital, inclusiva y cohesionada e incrementar su capacidad de crecimiento a medio y largo plazo.

El plan se asienta sobre cuatro ejes transversales: (i) transición ecológica, (ii) transformación digital, (iii) cohesión territorial y social e (iv) igualdad de género. En el terreno de la transformación digital, el plan supone inversiones públicas por 20.000 millones de euros con un horizonte temporal

fijado en el periodo 2023-2025. Esta cuantía supone aproximadamente un 30% de las inversiones previstas con las transferencias del Plan de Recuperación, un volumen de recursos sin precedentes para invertir en digitalización. A estas cifras hay que añadir las inversiones derivadas de la segunda fase del Plan de Recuperación, que prevé seguir desplegando inversiones en consonancia con la Agenda España Digital 2026, la hoja de ruta para impulsar el proceso de transformación digital del país. Para encauzar este proceso se han puesto en marcha ocho planes de digitalización específicos:

- Conectividad e Infraestructuras Digitales.
- Impulso del 5G.
- Plan nacional de ciberseguridad.
- Estrategia nacional de Inteligencia Artificial.
- Plan de digitalización de las administraciones públicas 2021-2025.
- Plan de digitalización de pymes 2021-2025.
- Plan de impulso al sector audiovisual.
- Plan nacional de competencias digitales.

Un aspecto particularmente relevante de los procesos de transformación digital es su capacidad para impactar en múltiples áreas de la sociedad y de la empresa. Algunas áreas donde el impacto de la digitalización es significativo son las siguientes:

- **Empresa.** La digitalización tiene un gran impacto en el mundo empresarial por su capacidad para crear nuevos modelos de negocio, optimizar los procesos y mejorar la experiencia del cliente a través de canales digitales y servicios más personalizados.
- **Educación.** Los procesos de digitalización aplicados en el ámbito de la educación han facilitado el acceso de una gran parte de la población a contenidos formativos de calidad.
- **Salud.** La digitalización en el mundo de la salud ha posibilitado el acceso a servicios médicos sin necesidad de desplazamiento, permitiendo mejorar y controlar la salud de muchas personas y hacer frente a situaciones de emergencia como la que suscitó la pandemia por COVID-19. Además, la digitalización ha permitido introducir mejoras en los procesos de diagnóstico médico a través de dispositivos IoT (wearables) o mediante la aplicación de técnicas de análisis de datos.
- **Gobierno.** La aplicación de la tecnología ha facilitado el acceso de la población a los servicios gubernamentales, mejorando la transparencia y la participación ciudadana.
- **Medios y entretenimiento.** La tecnología ha cambiado radicalmente el mundo del entretenimiento. El surgimiento de plataformas digitales ha modificado la forma en que se produce, distribuye y consume contenido. Al mismo tiempo, la tecnología ha

creado nuevas formas de entretenimiento como la realidad virtual y aumentada.

- **Manufactura.** Múltiples procesos de fabricación y control de calidad han podido ser automatizados gracias a la aplicación de tecnologías como el IoT y la IA.
- **Finanzas.** La digitalización dado lugar a nuevos servicios financieros (Fintech) como pagos móviles, préstamos en línea o asesoramiento financiero automatizado.
- **Recursos humanos.** Los procesos de reclutamiento, capacitación y gestión del talento en las organizaciones se han beneficiado por la transformación digital.
- **Transporte.** Los servicios de movilidad de personas y mercancías se han visto alterados con el surgimiento de nuevas tecnologías que proveen distintos beneficios y mejoras en los servicios prestados.

### 2.1.2 La digitalización del transporte público

El transporte público es un claro caso de éxito de los procesos de digitalización. La carga operativa del transporte público, con su necesidad de planear a un nivel de detalle una enorme cantidad de recursos heterogéneos, así como su impacto en cuestiones clave en la sociedad como garante del derecho a la movilidad de la población, facilitador de nuevas oportunidades económicas y palanca para mejorar la calidad medioambiental, hacen del transporte público un **excelente campo de aplicación de muchas de las principales tendencias en digitalización.**

Todas las áreas involucradas en la explotación de transporte público se benefician de esta

transformación, desde la planeación y operación diarias hasta el mantenimiento de la flota, pasando por la gestión de la plantilla y la relación con el cliente final. El impacto de la digitalización en el transporte público abarca múltiples dimensiones tanto a nivel interno de la organización (p.ej., en las habilidades y las competencias necesarias del personal trabajador) como hacia las personas usuarias (p.ej., en la fiabilidad y calidad del servicio).

- En el plano interno a las autoridades y empresas operadoras de transporte público es especialmente relevante el **impacto de la digitalización sobre las responsabilidades y las tareas de las personas trabajadoras**. Un reciente informe del Grupo de Alto Nivel de la Comisión de la UE sobre el impacto de la transformación digital en los mercados laborales llega a la conclusión que la automatización y la digitalización no necesariamente conducen a pérdidas netas de empleo, sino que tienen un impacto diferente en los trabajos en función de la cualificación (European Commission, 2019) La digitalización aumenta la productividad de los trabajos más cualificados y los menos especializados sobreviven al no poder automatizarse, son los trabajos de cualificación media los que se redefinen. En muchas áreas, la introducción de la automatización no conducirá a una reducción de la fuerza laboral sino a un cambio en las funciones (World Maritime University, 2019)<sup>3</sup>. Por ejemplo, se han documentado casos en Hungría y Francia donde se han creado nuevos roles y funciones (p.ej., las personas conductoras cambiaron sus trabajos a la supervisión y el pilotaje del sistema). En Metro de Madrid, el modelo tradicional de gestión de estaciones preveía cuatro funcio-

nes diferentes que hoy están cubiertas por una sola: el supervisor de la estación. Transportes Metropolitanos de Barcelona (TMB) es otro ejemplo de operador donde las personas conductoras han pasado a desempeñar tareas como los servicios de atención al cliente y la supervisión de infraestructura y seguimiento. En el ámbito del mantenimiento, la digitalización deriva en la reducción de las reparaciones gracias a una mayor anticipación en la detección de problemas antes de que estos afecten al servicio. La digitalización también afecta a los servicios de atención al cliente: por ejemplo, los agentes de atención al cliente, tradicionalmente accesibles en centros de atención telefónica, responden cada vez más a las solicitudes de los clientes a través de las redes sociales, WhatsApp, etc.

- La digitalización está provocando **cambios en las condiciones laborales**. En general son efectos positivos. La digitalización puede facilitar la organización del trabajo, gracias a que los requisitos de personal se vuelven más predecibles, y debido a las posibilidades de trabajo remoto, contribuye a un mejor equilibrio entre la vida profesional y personal (UITP, 2019)<sup>4</sup>. No obstante, también se han reportado efectos negativos si no existe una regulación adecuada, tales como límites difusos entre jornada laboral y tiempo libre, incremento de las formas precarias de trabajo y prácticas de 'traiga su propio dispositivo'. La digitalización también influye sobre el trabajo femenino. Un estudio de la Federación Internacional de Trabajadores del Transporte basado en casos de estudio muestra que las razones de la baja participación de las mujeres en el sector del transporte son

<sup>3</sup> World Maritime University (2019). Transport 2040: Automation, Technology, Employment - the Future of work. <https://doi.org/10.21677/itf.20190104>

<sup>4</sup> UITP (2019). The benefits of full metro automation. [https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/04/Knowledge-Brief-InfrastructureV7\\_web.pdf](https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/04/Knowledge-Brief-InfrastructureV7_web.pdf)

las precarias condiciones de trabajo, la seguridad y la discriminación de género (Wright, T., 2018)<sup>5</sup>. Si bien hay aún poca literatura disponible sobre los efectos de la digitalización respecto al género, se considera que la digitalización mejorará la compatibilidad entre familia y trabajo (gracias, por ejemplo, al teletrabajo) (Eurofound, 2020)<sup>6</sup>, lo que beneficiaría en particular a las mujeres, que aún asumen la mayoría de las tareas relacionadas con el cuidado del hogar. En el caso de las labores de mantenimiento, la automatización de muchas tareas también podría influir en la participación de las mujeres por requerir menos esfuerzo físico. Finalmente, la tendencia hacia más servicios de atención al cliente se ve igualmente como favorecedora del empleo femenino.

- En un plano más visible para el público, la digitalización del transporte público tiene un gran **impacto sobre los aspectos medioambientales y sociales**. La digitalización de la operación de transporte conlleva externalidades positivas, como reducciones en las emisiones de GEI por persona transportada: ya sea por una reducción de kilómetros, por una mejor adecuación de la oferta de servicio a la demanda o por una mayor eficiencia energética de los vehículos o de la conducción, la digitalización reduce el volumen de emisiones por persona transportada. Por el lado negativo, es preciso tener en cuenta el consumo energético debido a las tecnologías digitales (p.ej., de los centros de datos). En el aspecto social, la digitalización aporta múltiples ventajas. Por ejem-

plo, los servicios de transporte a la demanda habilitados por la digitalización no sólo permiten reducir costos operativos, sino también atender la demanda de forma especializada, mejorando la accesibilidad al servicio. La digitalización de los procesos de planeación redundará en mejoras para las personas usuarias del servicio, como reducciones en los tiempos de viaje y mejores conexiones. La digitalización también supone beneficios en términos tanto de seguridad vial como de seguridad ante actos vandálicos o criminales. Por último, los procesos de transformación digital suponen un beneficio en términos de acceso a la información necesaria para planear el viaje; para aprovechar al máximo estas ventajas, sin embargo, es preciso tener en cuenta la brecha digital.

- Finalmente, la digitalización también tiene **impacto en el plano institucional y económico**. En el primer caso, la digitalización supone una mayor eficacia, control y transparencia en la interlocución entre la autoridad responsable de establecer y supervisar el servicio y el ente operador encargada de ejecutarlo; sin embargo, la digitalización por sí misma no es suficiente, y debe ir acompañada de un marco regulatorio claro que favorezca estos cambios. En el plano económico, los principales beneficiarios son las empresas operadoras de transporte, por la reducción de costos y el incremento de ingresos que supone la digitalización: por un lado, la digitalización de los procesos de planeación y operación aumenta la eficiencia del sistema y la productividad de los recursos involucrados; por otro lado, la mayor calidad de los servicios y la reducción de la evasión generan un incremento de ingresos. El reto, en este caso, es contar con los mecanismos de financiamiento que permitan acometer las inversiones necesarias.

5 Wright, T. (2018): The impact of the future of work for women in public transport.

6 EuroFound (2020). Telework and ICT-based mobile work: Flexible working in the digital age | European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions <https://www.eurofound.europa.eu/en/publications/2020/telework-and-ict-based-mobile-work-flexible-working-digital-age>

## Clasificación de las tecnologías de digitalización del transporte público

Las tecnologías de digitalización del transporte público pueden clasificarse de acuerdo a los problemas que solucionan, lo que a su vez determina las principales dimensiones sobre las que impacta una determinada tecnología.

Teniendo en cuenta este criterio, se ha optado por clasificar las tecnologías en cuatro categorías:



- 1. Soluciones digitales para la administración del transporte: gobierno digital.** En esta categoría se agrupa las tecnologías cuyo impacto principal está en el aspecto institucional de la operación de transporte. Los principales usuarios son las autoridades de transporte, así como el resto de actores que interactúan con dichas autoridades (empresas operadoras, proveedores de tecnología, personas usuarias del transporte público, etc.).



- 2. Soluciones digitales para la planeación del transporte.** Incluimos aquí todas las tecnologías que facilitan la tarea de configurar el servicio de transporte para atender a una demanda de movilidad estimada de la forma más precisa posible. El principal público usuario de estas tecnologías son las autoridades de transporte.

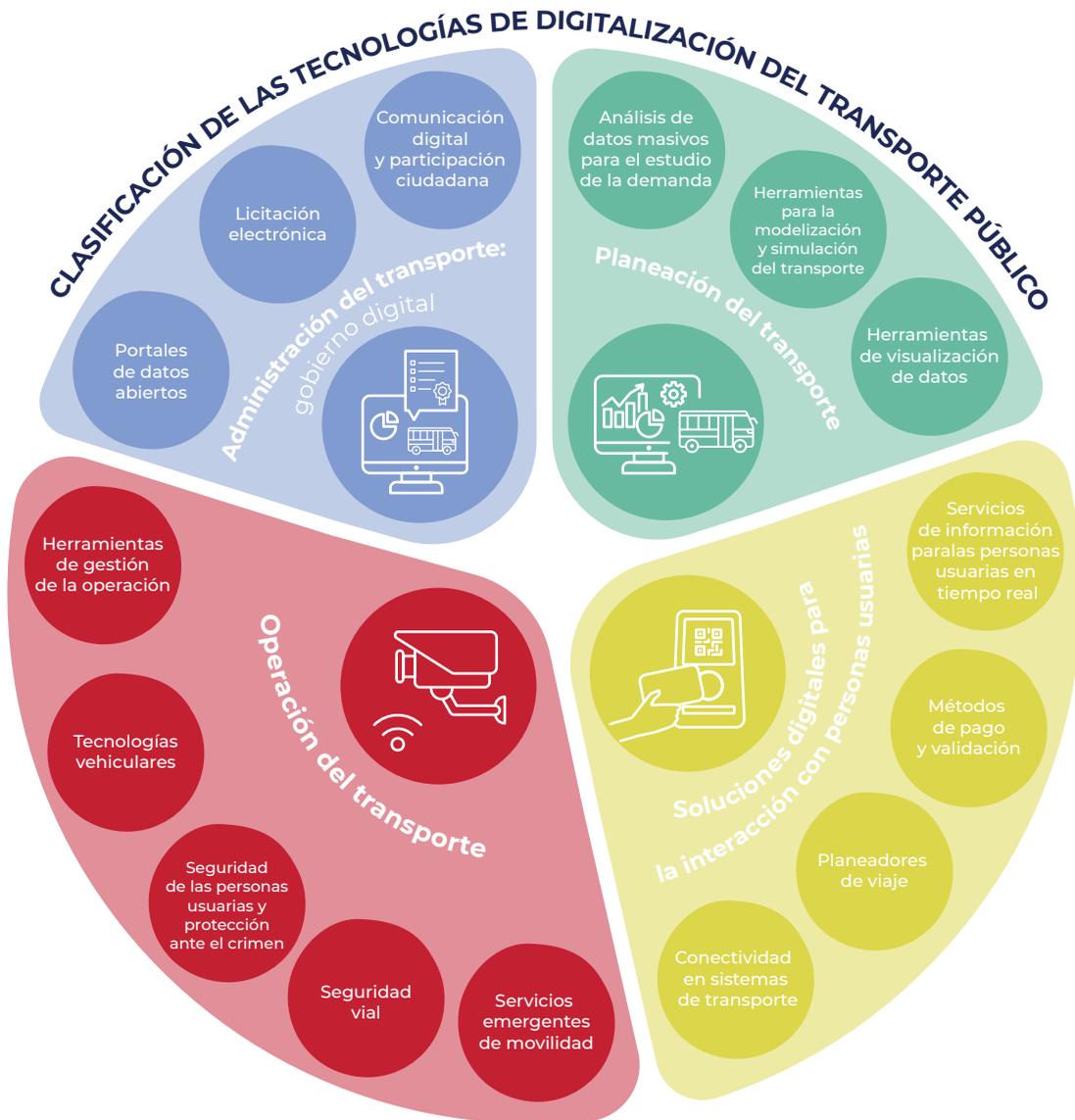


- 3. Soluciones digitales para la operación del transporte.** En esta categoría se encuentran todas las soluciones tecnológicas utilizadas en el día a día de la operación de transporte. El principal público usuario de estas tecnologías son las empresas operadoras de transporte.



- 4. Soluciones digitales para las personas usuarias del transporte público.** En este último grupo incluimos las tecnologías que tienen a las personas pasajeras del transporte público como actor principal.

Figura 1. Clasificación de las tecnologías de digitalización del transporte público.



## 2.2 Principales tecnologías de digitalización del transporte público: descripción y casos de uso

En esta sección se presentan las principales soluciones digitales para el transporte público, clasificadas de acuerdo a las cuatro categorías descritas en la sección anterior. La lista de soluciones y tecnologías de digitalización del transporte público es muy amplia, por lo que no se pretende realizar una enumeración exhaustiva, sino enfocarse en las soluciones con mayor impacto y con un nivel de madurez suficiente para su implementación.

Para cada tipo de solución, se incluye:

- Una breve descripción de las soluciones digitales consideradas y los objetivos que persiguen.

- Una lista con las principales tecnologías empleadas por dichas soluciones.
- Nivel de madurez tecnológica.
- Principales beneficios.
- Costos de adquisición e implementación.
- Factores críticos de éxito.

A continuación se incluye una tabla resumen de los puntos anteriores. En el Anexo I se incluye una explicación más pormenorizada de cada punto.

Finalmente, es importante señalar que la evaluación detallada de los costos de adquisición e implementación depende de múltiples factores cuyo análisis detallado excede el alcance del presente estudio, por lo que se ha optado por clasificar estos costos en varias categorías (Alto, Medio, etc.). En el Anexo I se incluye una breve discusión de los factores que influyen sobre dichos costos.

### 2.2.1 Soluciones digitales para la administración del transporte: gobierno digital



**Tabla 1.** Soluciones tecnológicas para el gobierno digital.

	Comunicación digital y participación ciudadana	Licitación electrónica	Portales de datos abiertos
Descripción y objetivos	Tecnologías de la información y las comunicaciones para involucrar a la ciudadanía en la toma de decisiones relacionadas con el transporte.	Plataformas digitales para la gestión de procesos de adquisición de bienes y servicios de transporte.	Plataformas en línea que permiten a la sociedad civil acceder a un conjunto de datos en formato digital

	Comunicación digital y participación ciudadana	Licitación electrónica	Portales de datos abiertos
Principales tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plataformas web de participación.</li> <li>Redes sociales: X (anteriormente Twitter), Facebook, LinkedIn, TikTok, Instagram.</li> <li>Aplicaciones de mensajería como Telegram y WhatsApp.</li> <li>Aplicaciones móviles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plataformas de licitación electrónica.</li> <li>Sistemas de gestión de documentos y contratos en línea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plataformas de datos abiertos. Algunas plataformas de datos abiertos pueden incluir herramientas de visualización de datos como las descritas en la sección 2.2.2.</li> <li>Estándares de datos abiertos, como GTFS (General Transit Feed Specification).</li> </ul>
Nivel de madurez	Alto	Alto	Medio-alto
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor transparencia de las políticas de transporte.</li> <li>Recopilación de información sobre incidencias.</li> <li>Identificación temprana de necesidades y problemas de las personas usuarias.</li> <li>Políticas públicas con base en evidencias.</li> <li>Decisiones y soluciones más eficaces y eficientes.</li> <li>Visibilidad de la información de interés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Procesos de compra pública más eficientes.</li> <li>Mayor competencia y transparencia.</li> <li>Mayor visibilidad de pequeñas y medianas empresas (pymes).</li> <li>Mayor acceso a nuevos proveedores y soluciones innovadoras.</li> <li>Reducción de costos de transacción y de procedimientos burocráticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor transparencia y legitimidad de las políticas públicas.</li> <li>Mayor acceso a la información de interés público.</li> <li>Controles externos de la calidad de los datos.</li> <li>Mejora en la toma de decisiones y la evaluación de las políticas públicas.</li> <li>Fomento de la colaboración entre el gobierno y la sociedad civil y estimulación de la innovación.</li> </ul>
Costo	Medio-bajo	Medio	Medio-bajo
Factores críticos de éxito	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestión del cambio</li> <li>Usabilidad, accesibilidad y equidad.</li> <li>Autenticidad y seguridad de la información recopilada.</li> <li>Capacidades digitales del equipo encargado del funcionamiento de las tecnologías y del tratamiento y explotación de la información recopilada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seguridad y autenticidad de los datos y transacciones digitales.</li> <li>Usabilidad y material de soporte a las personas usuarias.</li> <li>Facilidad para afrontar este tipo de procesos por parte de potenciales proveedores.</li> <li>Capacidades digitales del equipo encargado del funcionamiento de las tecnologías y de la ejecución de los procesos de licitación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestión del cambio.</li> <li>Calidad y actualización continua de los datos.</li> <li>Políticas de privacidad y seguridad efectivas que resguarden la confidencialidad y la integridad de los datos.</li> <li>Capacidades digitales del equipo responsable de la gestión de los datos.</li> </ul>

## 2.2.2 Soluciones digitales para la planeación del transporte

**Tabla 2.** Soluciones tecnológicas para la planeación informada del transporte público.



	<b>Análisis de datos masivos para el estudio de la demanda</b>	<b>Herramientas para la modelización y simulación del transporte</b>	<b>Herramientas de visualización de datos</b>
<b>Descripción y objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnologías big data para analizar los datos generados por dispositivos móviles geolocalizados (teléfonos móviles, tarjetas inteligentes de transporte, dispositivos GPS, entre otros) y producir indicadores de movilidad (p.ej., matrices de viajes).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herramientas de modelización de transporte que permiten la exploración de escenarios futuros aún inexistentes para evaluar nuevas políticas, medidas, infraestructuras y servicios de transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herramientas software que permiten presentar la datos e indicadores de transporte de forma visual, a través de imágenes, mapas, tablas y gráficos.</li> </ul>
<b>Principales tecnologías</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de datos geolocalizados procedentes de transacciones electrónicas (p.ej., datos de telefonía celular).</li> <li>Análisis de datos procedentes de sistemas inteligentes de pago en el transporte público colectivo.</li> <li>Datos geolocalizados procedentes de otros servicios de transporte (taxi, <i>ride hailing</i><sup>7</sup>, movilidad compartida, entre otros).</li> <li>Datos geolocalizados procedentes de otros servicios relacionados con la movilidad, como navegadores de conducción y servicios de información de tráfico (Google Maps, Waze, TomTom, etc.) o planeadores de viajes y aplicaciones MaaS (Moovit, Citymapper, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software de simulación de transportes: herramientas de simulación macroscópica (p.ej., Visum, TransCAD, EMME, CUBE), herramientas de microsimulación microscópica (p.ej., Vissim, TransModeler, Aimsun, Paramics)</li> <li>Software de optimización de sistemas: Gurobi, GAMS, AIMMS, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de información geográfica (SIG): ArcGIS, QGIS, etc.</li> <li>Herramientas de Business Intelligence (BI): Microsoft PowerBI, Tableau, Oracle Analytics, Qlik.</li> <li>Tecnologías de bases de datos (PostgreSQL, MongoDB, etc.).</li> </ul>

<sup>7</sup> El término *ride hailing* hace referencia a servicios de movilidad en los que un conductor profesional recoge a la persona usuaria en un lugar que este señala con antelación al viaje (habitualmente a través de una aplicación móvil), diferenciándose así del taxi, y lo traslada hasta su destino. En el caso más habitual el trayecto se paga desde la misma aplicación. Ejemplos de servicios de *ride hailing* son Uber y Cabify.

	<b>Análisis de datos masivos para el estudio de la demanda</b>	<b>Herramientas para la modelización y simulación del transporte</b>	<b>Herramientas de visualización de datos</b>
<b>Nivel de madurez</b>	Medio-alto	Alto	Alto
<b>Beneficios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de monitorizar la movilidad de forma continua y adaptar la oferta de servicios y las políticas de movilidad de forma más dinámica, acercándose al tiempo real.</li> <li>• Posibilidad de actualizar con mayor frecuencia los modelos de transporte.</li> <li>• Mejores decisiones de planeación del transporte público, gracias al acceso a información de mayor calidad.</li> <li>• Importantes ahorros de costos con respecto a las metodologías tradicionales de recogida de datos (p.ej., encuestas de movilidad, origen-destino).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de planear de sistemas de transporte público complejos y optimizar aspectos como la calidad del servicio, los niveles de congestión y los tiempos de viaje, la sostenibilidad económico-financiera del sistema, la seguridad vial y el impacto medioambiental del transporte.</li> <li>• Capacidad de investigar distintos escenarios futuros, permitiendo así el diseño de políticas y medidas más flexibles y resilientes frente a distintos escenarios de evolución de la demanda de movilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de patrones y análisis de problemas, riesgos y oportunidades relacionados con el sistema de transporte público: por ejemplo, detección de zonas con baja accesibilidad en transporte público.</li> <li>• Posibilidad de comunicar informaciones, proyectos y resultados complejos en un lenguaje gráfico accesible, facilitando la comunicación entre los distintos actores involucrados en la planeación del transporte público.</li> </ul>
<b>Costo</b>	Bajo	Medio	Medio-bajo
<b>Factores críticos de éxito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación y definición clara de la información necesaria.</li> <li>• Integración y fusión de datos.</li> <li>• Especificación detallada de los datos o el software requeridos.</li> <li>• Aseguramiento de la calidad y usabilidad de los datos.</li> <li>• Cumplimiento de la legislación en materia de protección de datos.</li> <li>• Infraestructura tecnológica para la operación del sistema.</li> <li>• Capacidades digitales para el almacenamiento de los datos y su explotación.</li> <li>• Coordinación con el equipo de modelización de transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de modelización de transporte.</li> <li>• Conocimiento del software y/o de los lenguajes de programación empleados.</li> <li>• Acceso a datos de la oferta y la demanda de transporte. Este acceso se ve facilitado por la integración operativa y tarifaria entre distintos modos de transporte.</li> <li>• Mantenimiento de los modelos y planeación continua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación y gestión de datos.</li> <li>• Estandarización e integración de la información.</li> <li>• Conocimientos en procesamiento de datos (geografía, cartografía, topografía, análisis espacial, estadística y analítica de datos).</li> <li>• Conocimiento técnico de la herramienta empleada.</li> <li>• Mantenimiento de la solución.</li> </ul>

## 2.2.3 Soluciones digitales para la operación del transporte

**Tabla 3.** Soluciones tecnológicas para la gestión inteligente del transporte público.



	Herramientas de gestión de la operación	Tecnologías vehiculares
Descripción y objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herramientas software para la asignación óptima de vehículos y personas conductoras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnologías que recogen y analizan datos sobre el servicio de transporte público para generar recomendaciones que mejoren el servicio.</li> </ul>
Principales tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de Ayuda a la Explotación (SAE), proporcionados por empresas como Swiftly, GMV, Clever Devices, Trapeze, IBI Group, etc.</li> <li>Sistemas de Scheduling &amp; Dispatching, proporcionados por empresas como Goal Systems, Hastus/GIRO, Optibus, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de medición de ocupación de vehículo. Los sistemas de medición de ocupación (APC, Automatic Passenger Counting) (p.ej., Avail, UTA APC, GFI Genfare).</li> <li>Sistemas de monitorización y mantenimiento predictivo de la flota (p.ej., Stratio).</li> <li>Sistemas de conducción segura y eficiente.</li> <li>Sistemas de medición de emisiones.</li> <li>Servicios con base en vehículos autónomos (p.ej., servicios de taxi sin conductor como Waymo).</li> </ul>
Nivel de madurez	Alto	Alto (sistemas de medición), Bajo (vehículos autónomos)
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aseguramiento del cumplimiento de la legislación laboral en la elaboración de los turnos de trabajo de las personas conductoras.</li> <li>Planeación óptima de vehículos eléctricos con necesidades de recarga de batería.</li> <li>Mejor reparto de la carga de trabajo entre todo el personal.</li> <li>Gestión más eficiente de la flota.</li> <li>Mejora de la puntualidad y la confiabilidad del servicio.</li> <li>Reacción más oportuna y efectiva ante interrupciones del servicio, incidencias, etc.</li> <li>Análisis posoperación más efectivo gracias a la recopilación de datos históricos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimización de los niveles de servicio y la eficiencia del transporte público.</li> <li>Mantenimiento predictivo, que proporciona el mismo beneficio de prevenir averías a un costo sensiblemente menor al del tradicional mantenimiento preventivo.</li> <li>Ahorros en el consumo de energía.</li> <li>Reducción de la siniestralidad.</li> </ul>
Costo	Alto	Medio-alto

	Herramientas de gestión de la operación	Tecnologías vehiculares
Factores críticos de éxito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporte de todas las áreas involucradas en el proyecto: operaciones, tecnologías de la información (IT), mantenimiento, etc.</li> <li>• Definición clara y precisa del alcance.</li> <li>• Gestión del cambio.</li> <li>• Soporte técnico del proveedor.</li> <li>• Interoperabilidad con el resto de sistemas del operador.</li> <li>• Infraestructura tecnológica (hardware embarcado y no embarcado tecnologías de comunicación (p.ej., redes WiFi, tecnología 5G, GPS, ZigBee o LoRa)..</li> <li>• Capacidades digitales para operar el sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidades analíticas para explotar los datos recogidos por los sistemas de medición</li> <li>• Gestión del cambio y comunicación interna.</li> <li>• Cumplimiento de la legislación en materia de protección de datos.</li> <li>• Integración entre los distintos modos.</li> <li>• Infraestructura tecnológica (instalación de hardware adicional en el vehículo).</li> <li>• Marco regulatorio que faciliten la operación de estos sistemas.</li> <li>• Comunicación a las personas usuarias.</li> </ul>

	Seguridad de las personas y protección frente al crimen	Seguridad vial	Servicios emergentes de movilidad
Descripción y objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologías orientadas a reducir los delitos y las infracciones contra las personas dentro del sistema de transporte público.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologías orientadas a mejorar la disponibilidad y visibilidad de los elementos de ayuda en los vehículos, las prácticas de conducción, la visibilidad de los elementos de riesgo, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuevos servicios de movilidad habilitados por las tecnologías de la información y las comunicaciones.</li> </ul>
Principales tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Videovigilancia a través de cámaras a bordo.</li> <li>• Botones de pánico y comunicación de emergencia.</li> <li>• Aplicaciones de seguridad para las personas usuarias (p.ej., para informar sobre incidentes, compartir su ubicación en tiempo real o acceder a servicios de emergencia).</li> <li>• Iluminación e infraestructura mejoradas.</li> <li>• Sistemas de detección de armas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de asistencia a la conducción (ADAS, Advanced Driving Assistance Systems).</li> <li>• Simuladores de conducción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluciones de transporte a la demanda, incluyendo soluciones específicas para personas con discapacidad o movilidad reducida.</li> <li>• Servicios de movilidad compartida, como bicicletas compartidas, autos compartidos (car sharing), etc.</li> <li>• Micromovilidad.</li> <li>• Agregadores MaaS (Mobility as a Service).</li> </ul>

	Seguridad de las personas y protección frente al crimen	Seguridad vial	Servicios emergentes de movilidad
Nivel de madurez	Alto	Alto	Medio
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de los delitos e infracciones contra las personas en el transporte público.</li> <li>• Aumento de la percepción de seguridad de las personas usuarias.</li> <li>• Mejora de las condiciones laborales del personal del transporte público.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de siniestros de tránsito e incidentes.</li> <li>• Aumento del confort.</li> <li>• Aumento de la percepción de seguridad.</li> <li>• Mejora de las condiciones laborales del personal del transporte público.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribución a la sostenibilidad económica del transporte público.</li> <li>• Capacidad de ofrecer conexiones puerta a puerta.</li> <li>• Aumento de la flexibilidad para las personas usuarias.</li> <li>• Aumento de la accesibilidad.</li> </ul>
Costo	Bajo	Bajo (ADAS), Alto (simuladores)	Alto
Factores críticos de éxito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edad y brecha digital.</li> <li>• Perspectiva de género.</li> <li>• Cumplimiento de la legislación en materia de protección de datos.</li> <li>• Infraestructura tecnológica (instalación de hardware adicional en el vehículo).</li> <li>• Marco regulatorio que promueva la seguridad de todos los actores involucrados en el servicio.</li> <li>• Formación del personal del transporte público.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edad y brecha digital.</li> <li>• Infraestructura tecnológica</li> <li>• Marco regulatorio y políticas de seguridad vial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración de los nuevos servicios de movilidad con las redes de transporte público ya existentes.</li> <li>• Marco regulatorio que favorezca la complementariedad con el transporte público.</li> <li>• Logística eficiente.</li> <li>• Confiabilidad del servicio.</li> <li>• Edad y brecha digital.</li> </ul>

## 2.2.4 Soluciones digitales para las personas usuarias

**Tabla 4.** Soluciones tecnológicas para la mejora de la experiencia de las personas usuarias.



	<b>Servicios de información en tiempo real (RTPI, por sus siglas en inglés),</b>	<b>Métodos de pago y validación</b>
<b>Descripción y objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnologías que proporcionan información relevante y útil a las personas usuarias: rutas, horarios, paradas próximas, modificaciones del servicio, niveles de ocupación, accesibilidad, normativa de uso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnologías digitales de pago y validación que permiten a las personas usuarias reembolsar el costo del viaje a realizar y acreditar la validez de dicho pago con el fin de acceder al transporte público.</li> </ul>
<b>Principales tecnologías</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Páginas web.</li> <li>Aplicaciones móviles.</li> <li>Pantallas de información en estaciones y paradas o a bordo de los vehículos (p.ej., TransitScreen).</li> <li>Sistemas de información por voz en estaciones y paradas o a bordo de los vehículos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validación mediante tarjeta inteligente de transporte.</li> <li>Validación mediante pago con tarjeta de crédito.</li> <li>Validación mediante Near Field Communication (NFC).</li> <li>Validación mediante boleto electrónico.</li> <li>Pago online mediante aplicaciones móviles y pasarelas de pago (p.ej., aplicaciones MaaS).</li> <li>Validación mediante detección biométrica.</li> <li>Pago de servicios de taxi mediante plataformas intermediarias (Paypal, Bizum).</li> </ul>
<b>Nivel de madurez</b>	Alto	Medio-alto (pago y validación electrónicos) Bajo (biometría)
<b>Beneficios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planeación de la ruta en función de las necesidades de la persona usuaria.</li> <li>Aumento de la sensación de confort y seguridad.</li> <li>Gestión dinámica de la demanda, tanto en los vehículos como dentro de las estaciones.</li> <li>Mayor adhesión a las normas.</li> <li>Mejora continua del servicio.</li> <li>Mejora de la imagen del servicio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eficiencia, al minimizar el tiempo que las personas usuarias emplean en el proceso de pago y validación.</li> <li>Experiencia de uso.</li> <li>Gestión de la información, al facilitar la gestión económica del sistema de transporte público, así como su planeación y su operación.</li> <li>Interoperabilidad, al homogeneizar los sistemas de validación y pago en distintos servicios de transporte e integrar las tarifas.</li> </ul>
<b>Costo</b>	Medio	Medio-alto

	<b>Servicios de información en tiempo real (RTPI, por sus siglas en inglés),</b>	<b>Métodos de pago y validación</b>
<b>Factores críticos de éxito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso a información actualizada.</li> <li>• Almacenamiento y transmisión de la información.</li> <li>• Conectividad.</li> <li>• Usabilidad, accesibilidad y equidad.</li> <li>• Cumplimiento de la legislación en materia de protección de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fiabilidad.</li> <li>• Accesibilidad.</li> <li>• Privacidad y seguridad.</li> <li>• Actualización (p.ej., por necesidades de seguridad).</li> <li>• Sinergias con otras tecnologías (p.ej., SAE)</li> <li>• Campañas de comunicación y promoción para su adopción efectiva por parte de las personas usuarias.</li> <li>• Capacidades digitales para identificar y especificar las soluciones más adecuadas.</li> </ul>

	<b>Planeadores de viaje</b>	<b>Conectividad en sistemas de transporte</b>
<b>Descripción y objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herramientas que ayudan a las personas usuarias encontrar la combinación óptima de servicios de transporte para viajar de un origen a un destino teniendo en cuenta la infraestructura, las conexiones entre diferentes modos de transporte, los horarios, las condiciones de accesibilidad, la hora de salida o de llegada, así como el costo y otros detalles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologías que proporcionan acceso a diversas formas de comunicación y entretenimiento tanto en las estaciones y paradas como a bordo de los vehículos.</li> </ul>
<b>Principales tecnologías</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planeadores de viaje estáticos, que únicamente tienen en cuenta horarios, frecuencias y velocidades medias, ya sean de código abierto (p.ej., OpenTripPlanner) o comerciales (Google Maps, Transit APP, Citymapper, Moovit, etc.).</li> <li>• Planeadores de viaje dinámicos, que tienen en cuenta información en tiempo real: actualizaciones de las expediciones, tráfico, vehículos disponibles, etc., como Google Maps en tiempo real, Moovit en tiempo real y algunos desarrollos locales..</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividad para dispositivos personales (conexión Wi-Fi en estaciones y vehículos).</li> <li>• Carga de dispositivos.</li> <li>• Entretenimiento a bordo.</li> </ul>
<b>Nivel de madurez</b>	Medio-alto	Alto
<b>Beneficios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesibilidad, especialmente en el caso de aquellas personas que no conocen tan bien el sistema de transporte local (visitantes, turistas, etc.).</li> <li>• Experiencia de uso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora de la experiencia de uso.</li> <li>• Competitividad del transporte público.</li> <li>• Caracterización de la demanda y apoyo a la planeación, al ayudar a caracterizar el número de personas que acceden al servicio en cada punto de ascenso y descenso.</li> </ul>

	Planeadores de viaje	Conectividad en sistemas de transporte
Costo	Medio-bajo	Medio
Factores críticos de éxito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso a información actualizada.</li> <li>• Fiabilidad.</li> <li>• Usabilidad, equidad y brecha digital.</li> <li>• Integración del mayor número de servicios de transporte posible</li> <li>• Capacidades digitales para extraer y compartir la información necesaria para que los proveedores de aplicaciones puedan incluir los servicios de transporte público.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura tecnológica (existencia de una red de comunicación confiable).</li> <li>• Privacidad y seguridad.</li> </ul>

## 2.2.5 Impacto de tecnologías emergentes

En los próximos años, las tecnologías emergentes mencionadas en la sección 2.1.1 modificarán las soluciones descritas anteriormente y darán lugar a nuevas soluciones.

Se destacan a continuación algunas tendencias relevantes:

- Se espera un uso cada vez mayor de las soluciones de **software como servicio (SaaS)**, que reducirán los costos de muchas soluciones, facilitando el acceso a las mismas por parte de ciudades pequeñas y medianas y de operadores de transporte con menos recursos.
- El rápido desarrollo de la **IA** tendrá un fuerte impacto en distintas áreas. Las técnicas de **aprendizaje automático** tendrán un impacto particularmente relevante sobre las soluciones para la operación del transporte: así, por ejemplo, las técnicas de aprendizaje habilitarán sistemas avanzados de predicción de demanda que facilitarán la tarea de mejorar la experiencia de uso al tiempo que se hace una utilización más eficiente de los recursos; otra aplicación de alto impacto es el desarrollo de herramientas de mantenimiento predictivo. Por otro lado, se espera que la **IA generativa** mejore los sistemas de comunicación con las personas usuarias, ofreciendo información más rica, completa y personalizada.
- Las tecnologías de **realidad virtual y realidad aumentada** no sólo permitirán mejorar las herramientas de simulación (p.ej., los simuladores de conducción), sino que también habilitarán nuevas formas de interacción con las personas usuarias.
- La **automatización de procesos** permitirá mejorar la eficiencia y la seguridad de las operaciones del transporte público. El ejemplo más relevante es quizá la progresiva incorporación de vehículos autónomos a las flotas de transporte público, pero las aplicaciones de la automatización abarcan otras muchas áreas, como

el mantenimiento de los vehículos y las infraestructuras.

- Las tecnologías de **blockchain**, por último, habilitarán nuevas maneras de compartir datos entre dispositivos, facilitando la colaboración entre operadores de transporte, así como entre dichos operadores y las administraciones públicas, contribuyendo así a impulsar el concepto de la movilidad como servicio (MaaS).

## 2.3 Casos de estudio y lecciones aprendidas

En esta sección se presenta un conjunto de casos de estudio que involucran la aplicación de algunas de las tecnologías descritas en la sección 2.2 en distintas ciudades del mundo:



- Como ejemplo de solución tecnológica en el ámbito del gobierno digital, se discute la experiencia de la implantación de un sistema de licitación electrónica en Hong Kong. También en el ámbito de la administración digital, se presenta el caso de la creación de la empresa pública Entur en Noruega.
- El proyecto impulsado por el Banco Mundial para el monitoreo de la demanda de transporte público en Bogotá y Buenos Aires mediante una combinación de datos de telefonía celular y sistemas inteligentes de pago sirve para ilustrar el potencial de las tecnologías big data en el ámbito de la planeación del transporte.
- Las aplicaciones de las tecnologías digitales en la operación del transporte se ilustran mediante dos ejemplos: el desarrollo de un gemelo digital de la red ferroviaria de Suiza y la puesta en marcha de sistemas de medición de ocupación en Gónova y Hamburgo.
- Finalmente, se presentan dos ejemplos de uso de la IA para mejorar la experiencia de uso en Londres y en Japón.

Para cada caso de estudio seleccionado, se describe brevemente la problemática inicial, la solución implementada y las principales lecciones aprendidas.

### 2.3.1 Sistema de licitación electrónica en la ciudad de Hong Kong

#### Contexto

En 1997, la ciudad de Hong Kong inició el desarrollo de un sistema de licitación electrónica, como parte de la iniciativa *Digital 21 Strategy*. Como resultado de este primer proyecto, en abril de 2000 se puso en marcha una primera versión del sistema de licitación electrónica, conocido como *Electronic Tendering System* (ETS), para contratos con un valor inferior a 10 millones de dólares de Hong Kong (HKD), aproximadamente 1 millón de dólares americanos (USD). El sistema es propiedad del Departamento de Logística del Gobierno (GLD). En enero de 2010, el GLD decidió reemplazar el sistema con un nuevo sistema de licitación electrónica conocida como *Procurement and Contract Management System* (PCMS)<sup>8</sup>.

#### Problemática

La contratación pública en Hong Kong se llevaba a cabo de manera descentralizada, esto es, cada departamento gubernamental gestionaba sus propios contratos. En el caso de contrataciones de bienes o servicios de valor alto las gestiones podrían hacerse de forma online, pero en el caso de proyectos de bajo valor y servicios no ligados a la construcción, todo el proceso de adquisición se realizaba en papel y mediante procedimientos manuales. Estos contratos de bajo valor suponen el 30% del valor de compra total, pero el 99% de las órdenes de compra. El manejo de tal volumen de adquisiciones por parte de departamentos gubernamentales que tienen una capacidad operativa limitada resultaba en un proceso de contratación pública muy intensivo en mano de obra, lento, ineficiente y con abundantes errores. Para abordar este problema, el

gobierno de la ciudad encargó dos estudios de consultoría en 2005 y 2006 con el objetivo de analizar los beneficios potenciales de la contratación electrónica para el sector público. Las conclusiones de estos estudios, combinadas con ejemplos exitosos de otros gobiernos y con los resultados positivos y la experiencia obtenidos con la implementación del ETS, alentaron al gobierno a implementar otra iniciativa de contratación electrónica.

#### Solución implementada

Para la implementación del nuevo sistema de licitación electrónica el gobierno adoptó un enfoque incremental, con la intención de minimizar riesgos y facilitar el proceso de transición desde los procedimientos de adquisición manuales a los procesos electrónicos. Además, un enfoque incremental proporcionaba beneficios adicionales como el control de costos y la identificación temprana de potenciales problemas operativos antes de extender la solución a todos los departamentos.

La primera fase de implementación se inició en enero de 2008. El objetivo de esta primera fase fue el desarrollo de la intranet del sistema para habilitar la compartición de información entre diferentes unidades del gobierno. En junio de 2008 se inició la operación del portal<sup>9</sup> externo para proveedores. El grueso de funcionalidades del sistema, como la inclusión de proveedores, las órdenes de compra, las invitaciones para presentar propuesta y la presentación electrónica de propuestas, se implementaron durante la segunda fase del proyecto, entre septiembre de 2009 y marzo de 2010.

<sup>8</sup> <https://pcms2.gld.gov.hk/iprod/#/home>

<sup>9</sup> <https://www.gov.hk/tc/theme/eprocurement/eppp/>

**Figura 2.** Portal de contratación pública del gobierno de Hong Kong.

Fuente: Gobierno de Hong Kong

### Lecciones aprendidas

- Mejora del proceso de adquisición. En una encuesta realizada por el gobierno de la ciudad en marzo de 2010, el 74.29% de los proveedores participantes expresó que el nuevo sistema de licitación electrónica mejoraba la eficiencia y eficacia del proceso.
- Ahorro de costos. Hasta marzo de 2010, se habían gestionado un total de 4,362 compras a través del sistema, con un valor aproximado de 244 millones de HKD.
- Uno de los desafíos más importantes del proceso es la gestión del cambio desde un proceso manual a uno electrónico para todas las partes involucradas, tanto personas usuarias del gobierno como proveedores externos. La celebración de seminarios, talleres y capacitaciones para fomentar la participación de todas las partes y hacerles partícipes del cambio resultó fundamental para el éxito de esta iniciativa.
- Es especialmente importante prestar atención a las pymes, que en el caso de Hong Kong suponen el 98% de las empresas, para facilitarles su involucración en el cambio y evitar situaciones en las que estas empresas puedan estar en desventaja competitiva frente a las grandes compañías.

### 2.3.2 Creación de la empresa pública Entur en Noruega

#### Contexto

Los planes y programas a nivel nacional enfocados en apoyar la digitalización del transporte público, así como las políticas que permiten e incentivan estos procesos, son de extrema importancia para la modernización del sector. Consciente de ello, en 2016, el Ministerio de Transporte de Noruega creó la empresa pública Entur, cuya misión es incrementar el uso del transporte público en el país. Entre sus objetivos está el de crear y mantener la infraestructura digital que hace posible el flujo de datos entre todos los operadores de transporte público y la implementación de sistemas de movilidad más sostenibles, incluyendo servicios de bicicleta compartida, patinetas eléctricas y automóviles compartidos.

#### Problemática

La creación de Entur tiene su origen en dos políticas de relevancia en Noruega. La primera fue la reforma ferroviaria en mayo de 2015, la cual proponía liberalizar y modernizar los servicios ferroviarios nacionales para mejorar la experiencia de uso, brindar una nueva oferta para la industria del transporte de carga y aumentar las ganancias gubernamentales. El



Oslo, Noruega.  
Gunnar Ridderstrom, Unsplash

Gobierno de Noruega veía riesgos en la interoperabilidad digital entre los operadores, por lo que se atribuyó la responsabilidad de facilitar la planeación de viajes y la compra de boletos a diferentes empresas operadoras privadas. En segundo lugar, el Plan Nacional de Transporte de Noruega 2018-2029 — un plan de inversión decenal para todos los modos de transporte de Noruega aprobado por el Parlamento cada 4 años — exigía el establecimiento de un punto de acceso nacional común para los datos de todos los modos de transporte. Dentro del plan se reconoce que “la digitalización y las nuevas tecnologías resultará en un cambio radical en la forma en que planeamos nuestros viajes, en cómo viajamos y en el impacto que la movilidad tiene en el medio ambiente y en el clima. Aprovechar las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías es vital para alcanzar los objetivos y metas del sector del transporte”. Entur nace para servir como punto focal para la compra de boletos de operadores ferroviarios y como la plataforma nacional para la planeación de viajes intermodales y de datos abiertos para todos los modos de transporte.

#### Solución implementada

Actualmente Entur administra un registro nacional para todo el transporte público de Noruega y recopila datos de 60 operadores de transporte público con alrededor de 3000 rutas y más de 21 000 salidas diarias. La empresa cuenta con tres grandes productos para el público:

- Plataforma<sup>10</sup> nacional de planeación de viajes para todos los medios de transporte disponibles en el país.
- Plataforma<sup>11</sup> nacional de boletos para todos los modos de transporte

<sup>10</sup> <https://om.entur.no/om-reiseplanleggeren/>

<sup>11</sup> <https://om.entur.no/om-reiseplanleggeren/billetter/>

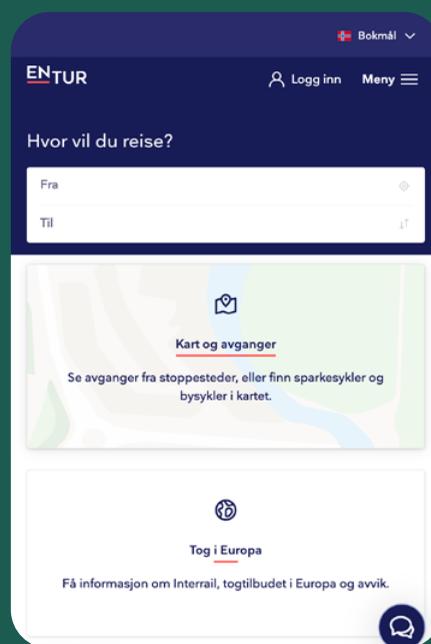
- Plataforma<sup>12</sup> para la distribución de datos abiertos

Uno de los pilares esenciales adoptados por Entur son los estándares abiertos para el intercambio de datos con todos los operadores y el uso de software o componentes de código abierto para sus sistemas internos, incluyendo OpenTripPlanner, un poderoso planeador de viajes de código abierto<sup>13</sup>.

La arquitectura de su sistema de información comprende siete componentes:

- *National Stop Registry*: registro nacional de datos de paradas con base en el estándar de datos NeTex que cuenta con las 60,000 paradas del transporte público en toda Noruega.
- *Timetable Database*: base de datos y un proceso de validación de los datos de horarios recopilados de los 60 operadores de transporte público en Noruega.
- *Self-Service Timetable Editor*: editor simple con una interfaz para modelar datos básicos de horarios y servicios. Este editor permite a pequeños operadores de transporte público que no tienen un sistema de planeación propio generar datos en el formato NeTex.
- *Real-time Hub*: concentrador en tiempo real con base en el formato Standard Interface for Real-time Information (SIRI) para recibir, validar y armonizar continuamente datos en tiempo real de transporte público. Actualmente recibe datos en tiempo real de 40 operadores de transporte público.
- *Mobility Hub*: servicio de agregación de datos en el formato GBFS que actualmente agrega 35 fuentes de proveedores de movilidad de scooters eléctricos, bicicletas urbanas y vehículos compartidos (car-sharing).
- *Geocoding service*: servicio para la geocodificación de paradas, direcciones, lugares y puntos de interés.
- *OpenTripPlanner*: servicio de planeación de viajes que permite planear viajes multimodales para todos los modos de transporte, incluida toda la red de transporte público, todos los servicios de movilidad compartida, rutas a pie, en bicicleta y en automóvil. Este servicio recopila todas las fuentes de datos y proporciona servicios de planeación con diferentes interfaces de programación de aplicaciones (APIs), dando servicio a la mayoría de las aplicaciones comerciales de planeación de viajes en Noruega, con una carga total de tráfico de cerca de 1,000 millones de solicitudes por mes.

**Figura 3.** Aplicación de planificación de rutas en Noruega.

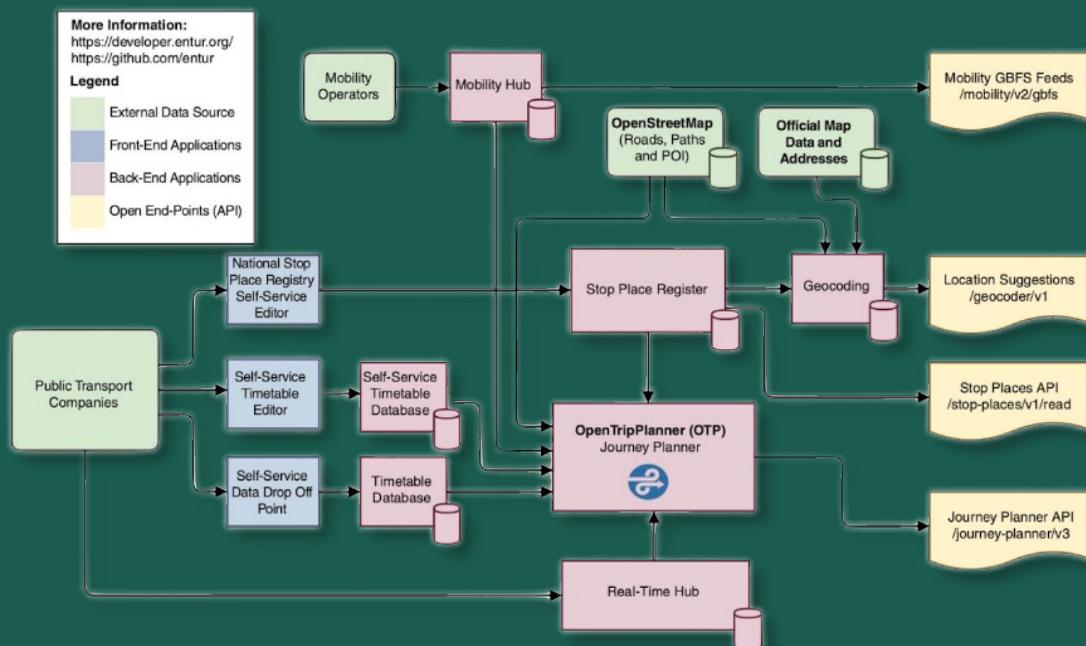


Fuente: Entur

<sup>12</sup> <https://developer.entur.org/pages-intro-overview>

<sup>13</sup> <https://github.com/entur>

**Figura 4.** Arquitectura del sistema información al pasajero de Entur con OpenTripPlanner como el planeador de viajes y las diferentes interfaces de programación de aplicaciones (APIs).



Fuente: Rudmark et al. (2023).

### Lecciones aprendidas

Entur pasó de adquirir software con código abierto a desarrollar muchos de sus componentes internos, lo que supuso una transformación cultural dentro de la empresa. Para ello, fue importante contar con el tiempo y los recursos adecuados para formar a los miembros del equipo y a las personas tomadoras de decisiones. El proyecto también puso de manifiesto la importancia de: (i) mantener una arquitectura modular cuando se trabaja con código abierto, ya que los componentes de código abierto deben funcionar en varias organi-

zaciones. Por lo tanto, es importante definir las tareas de los componentes aún más claramente que en un sistema con arquitectura cerrada; (ii) seguir estándares y principios de desarrollo de software. El uso de estándares internacionales, tanto para los modelos de datos como para el intercambio de datos, ha permitido que la plataforma de Entur sea más propicia para la cooperación. El uso de prácticas establecidas para el desarrollo de código abierto y las inversiones en el diálogo con la comunidad de co-desarrolladores han sido fundamentales para el éxito de la plataforma.

### 2.3.3 Monitoreo de la demanda de viajes en Bogotá y Buenos Aires

#### Contexto

La pandemia por COVID-19 afectó severamente la demanda de transporte público en todo el mundo. Con el objetivo de ayudar a las ciudades latinoamericanas a enfrentarse a este desafío, en 2021 el Banco Mundial lanzó un proyecto para desarrollar una metodología que permitiera monitorear los patrones de demanda de viajes a partir de la explotación de datos geocalizados de dispositivos móviles y de datos de utilización de las tarjetas de transporte público. El proyecto se desarrolló en las ciudades de Bogotá y Buenos Aires, en estrecha colaboración con las autoridades locales de transporte.

#### Problemática

El impacto de la crisis por COVID-19 sobre el transporte público, afectado por las restricciones a la movilidad, las medidas de distanciamiento social y el miedo al contagio, ha sido un desafío importante para las autoridades y operadores de transporte en todo el mundo. Las ciudades de América Latina no han sido una excepción: la demanda en el año 2020 disminuyó en entre un 60% y un 90% (UN Habitat, 2021)<sup>14</sup>, mientras los costos operativos se incrementaron, generando un grave desequilibrio entre ingresos y gastos.

El Banco Mundial se propuso ayudar a las ciudades latinoamericanas a estudiar en profundidad las causas y consecuencias del declive en el uso del transporte público. El primer paso en este proceso consistió en proporcionar al sector del transporte, y más específicamente a las personas involucradas en la planeación, herramientas para monitorear la evolución de los patrones de demanda de viajes. La creciente disponibilidad de datos geocalizados proce-

dentos de dispositivos móviles fue la oportunidad que permitió iniciar este proceso.

#### Solución implementada

En 2021, el Banco Mundial inició un proyecto para desarrollar una metodología que pudiera ser adoptada por cualquier ciudad de América Latina para calcular indicadores de demanda de viajes, empleando la mejor combinación de la amplia variedad de fuentes de datos disponibles en cada ciudad, como datos anonimizados provenientes de redes de telefonía, datos de tarjetas inteligentes de transporte público y encuestas de movilidad, entre otras. En una primera fase, el Banco Mundial involucró a las ciudades de Buenos Aires y Bogotá como casos de estudio para demostrar la metodología desarrollada.

En el proyecto se diseñó una metodología para ayudar a las ciudades a monitorear la demanda



Buenos Aires, Argentina.  
Mauricio Guardiano, Unsplash

<sup>14</sup> UN Habitat (2021). Cities and Pandemics: Towards a More Just, Green and Healthy Future. unhabitat.org. <https://unhabitat.org/cities-and-pandemics-towards-a-more-just-green-and-healthy-future-0>

de viajes abordando uno de los retos clave a la hora de analizar los patrones de movilidad urbana a partir de datos de geolocalización: la identificación del modo de transporte elegido por cada persona usuaria. Los datos de telefonía celular ofrecen un enorme nivel de detalle sobre los patrones de generación y distribución de viajes, pero a menudo no son suficientes para caracterizar la elección del modo en ámbitos urbanos ya que, dada su resolución espacio-temporal, una única secuencia de registros móviles suele ser compatible con varias opciones de modo. En el proyecto se desarrollaron diferentes aproximaciones para superar esta limitación:

- Utilizar datos procedentes de las tarjetas inteligentes de transporte público para caracterizar la movilidad en transporte público y usar esta información como referencia para asignar viajes a estos servicios.
- Utilizar técnicas basadas en modelos de aprendizaje automático entrenados con las encuestas de movilidad disponibles para así clasificar los viajes observados a partir de los registros de telefonía celular.



Bogotá, Colombia.  
Jesska Forero, Unsplash

- Un enfoque híbrido combinando ambos métodos.

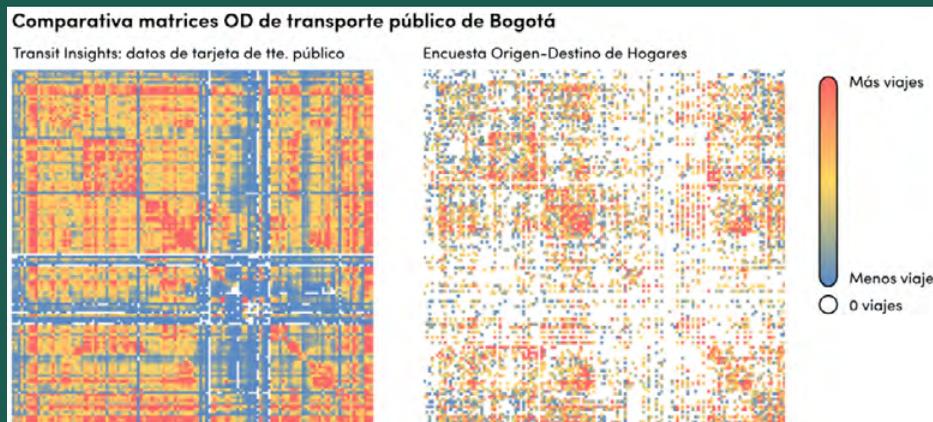
Para este desarrollo se emplearon dos soluciones:

- Una solución para el análisis de los registros anonimizados procedentes de las redes de telefonía celular fusionados con otras fuentes de datos para generar matrices origen-destino (OD) y otros indicadores de movilidad con independencia del modo de transporte elegido por las personas usuarias.
- Una solución para el análisis de datos procedentes de las tarjetas inteligentes de transporte público para ofrecer una imagen precisa y permanentemente actualizada de los patrones de viaje en estos servicios.

La solución final proporcionó matrices OD por hora del día, segmentadas según el perfil de la persona usuaria y las características del viaje, para varios días hábiles, sábados y domingos de 2019, 2020 y 2021, de modo que las matrices registraron los cambios en la generación y distribución de viajes y el reparto modal durante la pandemia. Los resultados ayudaron a las autoridades locales de Bogotá y Buenos Aires a adaptar sus servicios de transporte público para satisfacer las nuevas necesidades de movilidad de la población (World Bank, 2024a)<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> World Bank (2024a). The “new normal” of personal and urban freight mobility in Bogota and Buenos Aires. Worldbank blogs. <https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/new-normal-personal-and-urban-freight-mobility-bogota-and-buenos-aires>.

**Figura 5.** Comparación de matrices OD del transporte público para Bogotá.



Matriz obtenida mediante el análisis de datos de tarjetas inteligentes de transporte público (izquierda) vs matriz de la última encuesta domiciliaria de movilidad (derecha). Las tendencias son similares, pero la matriz obtenida por la solución de tarjetas inteligentes de transporte público proporciona una imagen más completa de los flujos de demanda gracias a su mayor tamaño de muestra.

Fuente: Nommon (2024).

### Lecciones aprendidas

La metodología desarrollada permite a autoridades y operadores de transporte público el monitoreo de las tendencias cambiantes de la demanda de viajes, ayudándoles a adaptar sus servicios para satisfacer las necesidades de movilidad y garantizando que el transporte público siga siendo una opción atractiva para

la ciudadanía. El proyecto también permitió constatar las ventajas que ofrece aprovechar distintas fuentes de datos a través de métodos de fusión de datos en lugar de depender de una única fuente de datos. La aplicación de técnicas de IA, como el aprendizaje automático, es un buen ejemplo de estas técnicas de fusión de datos.

## 2.3.4 Mejora de la operación de la red ferroviaria de Suiza a través de la IA

**Contexto**

Swiss Federal Railways (SBB) es el operador ferroviario nacional de Suiza. Transporta anualmente más de 306 millones de personas usuarias y 60 millones de toneladas de mercancías a través de más de 3,000 km de vía completamente electrificada y más de 800 estaciones. SBB se caracteriza por su alto grado de puntualidad (92.5% de servicios con menos de 5 minutos de retraso, según datos de 2022) y por ser una de las operaciones en Europa con una mayor tasa de ocupación de circulaciones.

**Problemática**

La elevada ocupación de la red de SBB, con trenes constantemente circulando por su red, implica que cualquier mínima disrupción en la operación provocada por una avería o por condiciones externas como la meteorología puede tener un gran impacto en toda la red. En 2013 SBB decidió iniciar un proyecto de gemelo digital basado en técnicas de aprendiza-

je profundo (*deep learning*) con el objetivo de mejorar la gestión diaria de la red y así poder acomodar la creciente demanda de movilidad.

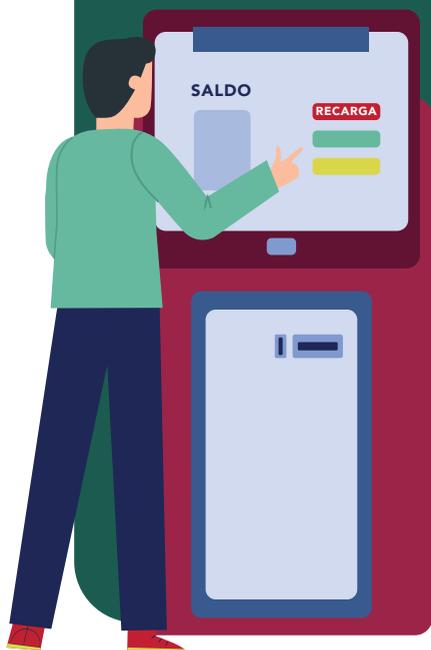
**Solución implementada**

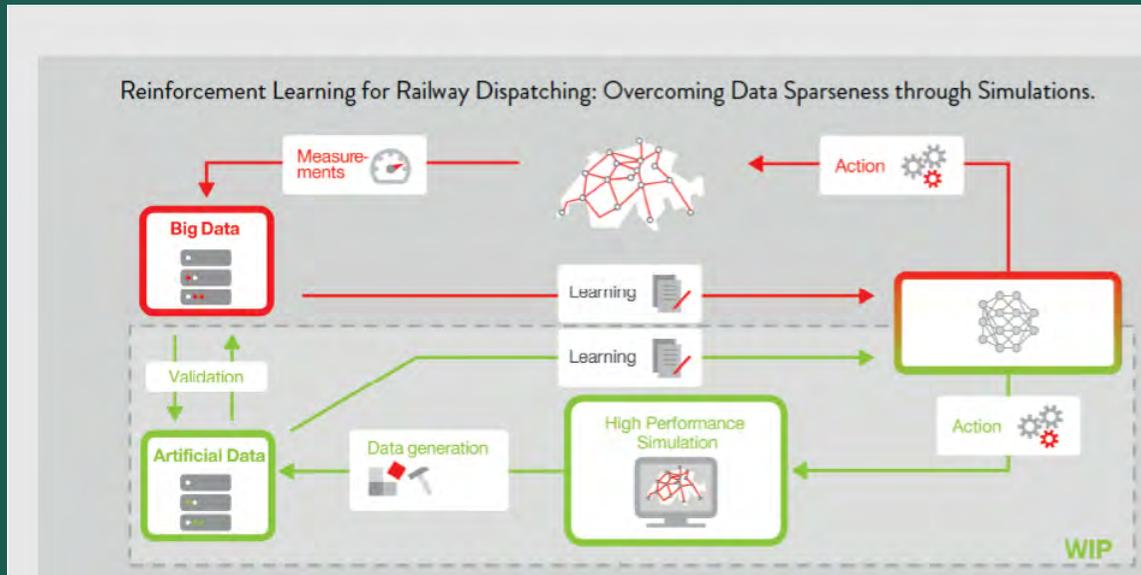
Berna, Suiza.  
Alin Andersen, Unsplash

SBB construyó un gemelo digital de toda la red de transporte. El modelo se entrenó con datos históricos y simulaciones incluyendo información sobre: (i) la infraestructura de la red, (ii) los horarios programados y efectuados con su consiguiente retraso, (iii) restricciones de la operación y (iv) datos de contexto como eventos, fechas especiales o información meteorológica.

Este gemelo digital permite a todo el personal de operaciones de SBB (personal de despacho, de planeación y de infraestructura):

- Acceder a información estadística sobre el funcionamiento del servicio.
- Generar de forma automática sugerencias de actuación para optimizar el servicio.
- Simular diferentes estrategias sobre cómo actuar ante disrupciones en la operación.



**Figura 6.** Solución implementada en SBB.

Fuente: Egli & Nygren (2018).

### Lecciones aprendidas

La construcción de modelos digitales se ha demostrado una solución muy efectiva para evaluar de forma virtual diferentes políticas de

actuación, algo especialmente importante en operaciones donde la seguridad es una prioridad o donde el costo de cada posible alternativa puede llegar a ser muy elevado.

### 2.3.5 Sistemas de medición de ocupación de vehículos en Génova y Hamburgo

#### Contexto

Azienda Mobilità e Transporti (AMT) es una sociedad anónima que posee la concesión del transporte público en la ciudad italiana de Génova. Hamburger Hochbahn AG (HHA) es la empresa encargada de la gestión y explotación del sistema de metro y gran parte del servicio de transporte público por autobús en la ciudad de Hamburgo, Alemania.

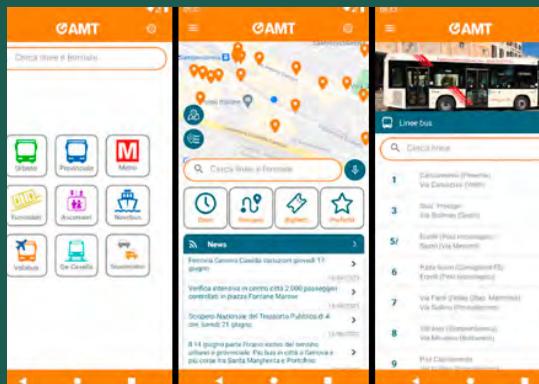
#### Problemática

Muchas de las iniciativas para la medición de ocupación de vehículos fueron motivadas por la necesidad de asegurar un mínimo de distanciamiento social en los vehículos como consecuencia de la pandemia por COVID-19. Independientemente de esta coyuntura, la gestión de multitudes (*crowd management*) en los sistemas de transporte es siempre una de las principales preocupaciones de los operadores, tanto por los potenciales problemas de seguridad que una gestión inadecuada puede provocar como porque el confort de las personas usuarias es un indicador fundamental de la calidad del servicio. Adicionalmente, el monitoreo de los niveles de ocupación ofrece a los planeadores de la operación información relevante para adaptar el servicio a la demanda.

#### Solución implementada

En 2021, AMT Génova inició una prueba de concepto de un sistema de seguimiento de la congestión en su red de autobuses urbanos. A través de este sistema, las personas usuarias pueden ver información en tiempo real sobre la congestión en la red y los niveles de ocupación en autobuses individuales. Además, AMT puede monitorear constantemente el nivel de ocupación y la ubicación de vehículos y reconfigurar sus servicios en consecuencia para satisfacer la demanda con más precisión. El nuevo sistema fue lanzado en 11 autobuses de la Línea 3 de la red con un recorrido de 49 paradas. La prueba fue realizada entre junio de 2021 y marzo de 2022. La figura 6 muestra un ejemplo de la solución implementada.

**Figura 7.** Solución de AMT Génova para las personas usuarias.



Fuente: AMT Genova App.

Por su parte, HHA presentó en 2020 un sistema de gestión de multitudes en su red de transporte que trabaja a partir de la información recabada por sistemas APC. El sistema ayuda al proceso de planeación en áreas como el cálculo de cargas y el ajuste de los horarios. Todo el proceso es realizado por un único sistema que permite utilizar diferentes herramientas de planeación con diferentes vistas, como mapas o diagramas, para evaluar escenarios de demanda frente a niveles de servicio. El plan de HHA para el futuro incluye la construcción de una base de datos única para toda la información generada, así como interfaces con su software de planeación de transporte (actualmente PTV Visum).

#### Lecciones aprendidas

La solución óptima para la medición y la gestión de los niveles de ocupación de los vehículos pasa por una combinación de diferentes tecnologías que cubran todos los aspectos involucrados, desde el conteo en tiempo real hasta la aplicación de modelos predictivos y la retroalimentación a los sistemas de planeación de la operación.

### 2.3.6 Mejorando la experiencia de uso a través de la IA: los casos de Transport for London y East Japan Railway Company

#### Contexto

Transport for London (TfL) es la autoridad responsable del transporte público en la ciudad de Londres. En el periodo fiscal 2022/23, TfL reportó más de 3,300 millones de viajes en todos los modos en los que opera: autobús, metro, tranvía, ferrocarril y transporte a la demanda.

East Japan Railway Company (JR East), perteneciente al grupo Japan Railways, es una de las empresas de transporte de personas por ferrocarril más grandes del mundo. A fecha de marzo de 2023, operaba más de 11,000 servicios al día y transportaba una media de 14 millones de personas al día.

#### Problemática

La industria del transporte público, en línea con las tendencias globales, debe esforzarse constantemente por servir a las personas usuarias de la mejor manera posible, proporcionando servicios cada vez más personalizados, flexibles y bajo demanda. Una de las áreas con más impacto en la experiencia percibida ante una operación de transporte es la capacidad de disponer de información actualizada y rápida ante las dudas que le puedan surgir en el uso del servicio (p.ej., proporcionar rápidamente información actualizada sobre incidencias que puedan afectar al viaje o la mejor forma de viajar entre dos puntos de la red). La aplicación de técnicas de IA basadas en procesamiento del lenguaje natural (NLP, por sus siglas en inglés) por parte de los departamentos de atención al cliente reducen el tiempo de reacción ante las preguntas e incrementan la cantidad de consultas que es posible atender por unidad de tiempo.

#### Solución implementada

**Figura 8.** East Japan Railway Company.



Foto: SITCE 2018.

TfL optó por la implementación de un *chatbot* conocido como TfL TravelBot. Implementado sobre la plataforma “Facebook Messenger”, este *bot* permite responder automáticamente a preguntas de los clientes sobre la hora estimada de llegada de un autobús o el estado de las rutas. El bot contempla también poner en contacto a las personas usuarias con un agente del departamento de atención al cliente si la consulta no puede ser atendida de forma automática. Se implementó utilizando técnicas de NLP y fue entrenado con una base de datos anonimizada de consultas reales efectuadas en los últimos años. TfL optó por implementarlo dentro de una plataforma de mensajería ya existente para no depender de las diferentes tecnologías de dispositivos móviles existentes (Android / iOS). Fue puesto en producción en

junio de 2017 y en sus primeros 9 meses de vida alcanzó las 23,000 personas usuarias.

JR East optó por la implementación de un robot humanoide y multidioma para dar respuestas a las consultas en las estaciones. El motivo fue el significativo aumento de personas extranjeras usuarias del servicio, unido a la falta de mano de obra para reemplazar al personal de atención al cliente en estaciones debido a una decreciente tasa de natalidad. Se implementó utilizando técnicas de NLP y se entrenó a través de un proceso de entrevistas con el personal de atención a clientes de la compañía. La duración del proyecto fue de 4 años (2016-2020).

**Figura 9.** Chatbot TfL en Messenger de Facebook.



Foto: TfL Digital.

### Lecciones aprendidas

- Estos servicios reducen considerablemente el número de consultas que tienen que ser atendidas por un agente, disminuyendo los requerimientos de personal y permitiendo dedicar al personal existente a tareas de más valor.
- Utilizar una plataforma de mensajería ya existente para implementar un *chatbot* permite reducir costos y aprovecharse de la experiencia digital ya construida.
- Es recomendable incluir en estos servicios la capacidad de responder a consultas no directamente relacionadas con la operación de transporte (p.ej., proporcionar recomendaciones sobre atracciones turísticas a visitar).



# 3

## MARCO DE EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DIGITALIZACIÓN Y COMPETENCIAS DIGITALES EN EL TRANSPORTE PÚBLICO

### 3.1 Requisitos del marco de evaluación

Los procesos de transformación digital del transporte público ya están en pleno desarrollo, lo que implica la adopción de nuevas tecnologías digitales en todas las esferas del transporte. De acuerdo con la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), existen distintas **fases de digitalización del transporte público** (UITP, 2020)<sup>16</sup>:



- 1. Uso básico de los sistemas digitales:** se proporciona información básica online y ciertos servicios digitales (p.ej., de reserva o compra de boletos).



- 2. Uso mejorado de los sistemas digitales:** es posible encontrar más información online y se dispone de sistemas inteligentes de pago, sensores y sistemas de monitoreo de la infraestructura, junto con plataformas de visualización de datos.



- 3. Uso interactivo y coordinado de sistemas digitales:** aparecen conceptos como la movilidad como servicio (MaaS), los sistemas de movilidad compartida y los sistemas de monitoreo en tiempo real, se realizan pruebas con vehículos autónomos, se incorpora conectividad en los vehículos, y se habilitan servicios de predicción de demanda y de información en

tiempo real para las personas usuarias.



- 4. Transporte inteligente y completamente integrado:** además de lo anterior, incluiría sistemas de transporte multimodales integrados, vehículos con IA, uso generalizado de datos abiertos, implantación de políticas de precios dinámicos y opciones de rutas variables con base en información compartida libremente en tiempo real.

Para determinar en qué estado de digitalización se encuentra un sistema de transporte público en una ciudad, región o país, es necesario disponer de **marcos de evaluación** que permitan identificar y medir tanto la situación de partida, como el impacto que tendrán las decisiones futuras y en qué medida se lograrán los efectos previstos. En concreto, se debe establecer un conjunto de **indicadores** que permitan sistematizar los procesos de evaluación, proporcionando métricas que faciliten tanto la aplicación del marco propuesto en procesos de evaluación inicial, como el monitoreo continuo de las políticas destinadas a modificar los niveles de digitalización del transporte. El desarrollo de este marco de indicadores debe estar guiado por cuatro principios básicos:

- Los indicadores deben estar **alineados con los objetivos** de las políticas de digitalización.
- Los indicadores deben **monitorear todas las áreas** en las que la digitalización puede tener un impacto relevante.
- Los indicadores deben ser **informativos, útiles y duraderos**, de modo que puedan monitorearse a lo largo del tiempo y compararse frente valores de referencia

<sup>16</sup> UITP (2020). Digital Transformation and Social Dialogue in Urban Public Transport in Europe. <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/10/Final-report-Digital-transformation-and-social-dialogue-in-urban-public-transport-EN.pdf>

y con relación a diferentes sistemas de transporte público.

- Los indicadores deben poder **calcularse y medirse de forma eficiente**.

### 3.2 Revisión de indicadores y marcos de evaluación existentes

En la literatura existen multitud de marcos de evaluación orientados a valorar la evolución de los sistemas de transporte público hacia modelos más sostenibles e inteligentes<sup>17</sup>:

- Algunos de esos marcos, como el propuesto por Debnath et al. (2014)<sup>18</sup>, están orientados a evaluar qué tan inteligentes son los sistemas de transporte de las ciudades, incluyendo el transporte público, el transporte privado, el sistema de emergencias y el sector logístico; en su metodología, estos autores proponen **indicadores para un conjunto de capacidades de inteligencia del sistema** (detección, procesamiento y control, comunicación, predicción, corrección y prevención), de forma que cada indicador tiene dos componentes, la capacidad y el grado de disponibilidad, existiendo cuatro valores posibles para cada componente (no disponible, fase de prueba, cobertura parcial y cobertura total).

- Pinna et al. (2017)<sup>19</sup> proponen un marco de indicadores para comparar 11 ciudades italianas diferenciando entre transporte sostenible y transporte inteligente, considerando que este último debe incluir el primero. Los indicadores propuestos abarcan **aspectos de la oferta y la demanda de transporte público, bicicleta y sistemas de movilidad compartida**.

- El marco de evaluación ELASTIC (Castillo et al., 2010)<sup>20</sup> está más orientado a evaluar la sustentabilidad del transporte incluyendo otras dimensiones más allá de la tecnológica. Lo interesante de ELASTIC es que proporciona una metodología para **elegir indicadores basándose en opiniones de expertos y su relevancia para el transporte sostenible** en un determinado contexto, incluyendo la aplicación de técnicas de análisis de decisión multicriterio.

- Chen & Silva (2021)<sup>21</sup> hacen una exhaustiva revisión de la literatura para proponer un conjunto de 49 indicadores con los que comparan 11 regiones metropolitanas del Reino Unido. Estos indicadores se clasifican en tres grupos: (i) transporte privado, público y de emergencia; (ii) accesibilidad, sostenibilidad e innovación; y (iii) un indicador compuesto de transporte inte-

<sup>17</sup> A efectos de este documento, se entiende que el concepto de 'movilidad inteligente' incluye la digitalización del transporte público.

<sup>18</sup> Debnath, A. K., Chin, H. C., Haque, M. M., & Yuen, B. (2014). A methodological framework for benchmarking smart transport cities. *Cities*, 37, 47-56. <https://vuir.vu.edu.au/34171/1/A%20methodological%20framework%20for%20benchmarking%20smart%20transport%20cities.pdf>

<sup>19</sup> Pinna, F., Masala, F., & Garau, C. (2017). Urban policies and mobility trends in Italian smart cities. *Sustainability*, 9(4), 494. <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/494>

<sup>20</sup> Castillo, H., & Pitfield, D. E. (2010). ELASTIC—A methodological framework for identifying and selecting sustainable transport indicators. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(4), 179-188. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920909001102>

<sup>21</sup> Chen, Y., & Silva, E. A. (2021). Smart transport: A comparative analysis using the most used indicators in the literature juxtaposed with interventions in English metropolitan areas. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 10, 100371. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198221000786>

ligente que agrega los de accesibilidad, sostenibilidad e innovación. Los indicadores de innovación propuestos consideran el nivel de **adopción de distintas tecnologías de digitalización**, como el IoT, los vehículos autónomos y conectados, o la movilidad como servicio.

- Inac & Oztemel (2021)<sup>22</sup> parten de indicadores utilizados para evaluar ciudades inteligentes y establecen seis grupos: (i) los relacionados con las soluciones del **transporte público** (p.ej., sistemas inteligentes de pago y sistemas de información a las personas usuarias), (ii) los relacionados con la **gestión del tráfico** en tiempo real (p.ej., planeación de rutas), (iii) los que tienen que ver con la **gestión del espacio urbano** dedicado al transporte (p.ej., zonas de bajas emisiones y zonas de peaje), (iv) los relacionados con **tecnologías vehiculares** (p.ej., disponibilidad de vehículos conectados y autónomos e infraestructuras de recarga para vehículos eléctricos), (v) los que tienen que ver con la **regulación de estacionamiento** (p.ej., zonas de estacionamiento regulado para residentes) y (vi) los que tienen que ver con el despliegue de **sistemas de movilidad compartida** (p.ej., disponibilidad de bicicleta compartida). El estudio enfatiza la dificultad de establecer modelos de evaluación sistemáticos que permitan la evaluación de los planes transformación digital.
- En la literatura también existen otros estudios más cualitativos, como el análisis realizado por la UITP para evaluar el impacto de la **digitalización en el empleo** del sector del transporte público (Voss &

<sup>22</sup> Inac, H., & Oztemel, E. (2021). An assessment framework for the transformation of mobility 4.0 in smart cities. *Systems*, 10(1), 1. <https://www.mdpi.com/2079-8954/10/1/1>

Vitols, 2020)<sup>23</sup> o el análisis de la transformación digital del transporte en América Latina y Caribe realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo, que analiza las **oportunidades que puede traer la transformación digital** en la era post-Covid (Calatayud et al., 2022)<sup>24</sup>. Estos dos últimos estudios no proponen un marco de evaluación para la evaluación del estado de digitalización del transporte o del impacto de las políticas desplegadas, pero sí analizan los aspectos claves que deben ser objeto de monitoreo.

En resumen, en la literatura se destaca la necesidad de **evaluar tanto la infraestructura como los aspectos relacionados con la planeación y la operación del transporte público**. Los indicadores relacionados con la infraestructura incluyen la evaluación del nivel de implementación de tecnologías inteligentes en las vías y sistemas de transporte público, mientras que los aspectos de planeación y operación abarcan la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad. Un tema recurrente es la importancia de la recopilación y el análisis de datos en tiempo real: los estudios resaltan cómo disponer de información en tiempo real, que permite ajustes dinámicos entre la oferta y la demanda para mejorar la experiencia de uso. Los indicadores relacionados con **el empleo y las habilidades requeridas** también son áreas clave, recono-

<sup>23</sup> Voss, E., & Vitols, K. (2020). Digital Transformation and Social Dialogue in Urban Public Transport in Europe. Study commissioned by the European Transport Workers' Federation (ETF) and the International Association of Public Transport (UITP). Berlin. EVA-Europäische Akademie für umweltorientierten Verkehr gGmbH. <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/10/Final-report-Digital-transformation-and-social-dialogue-in-urban-public-transport-EN.pdf>

<sup>24</sup> Calatayud, A., Katz, R., & Riobó, A. (2022). Impulsando la transformación digital del transporte en América Latina y el Caribe. <https://publications.iadb.org/es/impulsando-la-transformacion-digital-del-transporte-en-america-latina-y-el-caribe>

ciendo que la transformación digital puede tener efectos significativos en la fuerza laboral del transporte.

En términos de marcos de evaluación, se observa una diversidad de enfoques. Algunos estudios proponen marcos integrales que abarcan desde la infraestructura hasta los aspectos sociales, mientras que otros se centran en dimensiones específicas, como la eficiencia operativa o la seguridad vial. Un aspecto crítico que emerge de la revisión es que la falta de uniformidad en los indicadores y marcos dificulta la comparación entre estudios y la formulación de políticas efectivas, por lo que resulta fundamental **definir estándares comunes y consistentes en la medición de la digitalización del transporte**.

### 3.3 Estructura del marco de evaluación y definición de indicadores

Para definir un marco de evaluación del nivel de digitalización y competencias digitales en el transporte público, se ha partido de los indicadores propuestos en la literatura, que han sido adaptados y refinados a través de un extenso proceso de consulta con diferentes actores clave, tanto públicos como privados, del sector del transporte público en México.

En este proceso de adaptación, la selección de indicadores se ha realizado teniendo en cuenta los principios básicos definidos en la sección 3.1, valorando también la facilidad para su medición en el contexto analizado. Con vistas a priorizar la facilidad de aplicación y la comparabilidad entre ciudades frente a la precisión de determinados indicadores, se ha apostado por **indicadores de naturaleza predominantemente cualitativa**, que toman en cuenta la presencia de de-

terminados procesos, palancas y elementos de infraestructura, frente a indicadores basados en una medición cuantitativa específica. Así, se propone un conjunto de indicadores que capturan distintos aspectos de la digitalización del transporte público a través de valores discretos (p.ej., alto, medio, bajo). De esta forma se pretende facilitar la comparación de los valores entre las ciudades, no condicionándola a que todas ellas dispongan de medidas cuantitativas. No obstante, la metodología propuesta permite también utilizar rangos de valores continuos (y, por tanto, más precisos) sin que el resultado de su aplicación se vea afectado.

Para evaluar el grado de digitalización se ha optado por generar un índice compuesto. Estos tipos de índices, creados a partir de una ponderación de los indicadores seleccionados, son habituales en el estado del arte y cumplen con un doble objetivo perseguido en este estudio: por un lado, establecer de forma directa un valor del grado de digitalización del transporte público de una ciudad y, por otro, facilitar la comparación entre ciudades. Para la ponderación se ha tenido en cuenta la importancia relativa otorgada a los indicadores por los expertos consultados.

Los indicadores propuestos se han agrupado en **cinco familias de indicadores**, que coinciden con las cuatro categorías de tecnologías definidas en la sección 2.1.2, más una quinta categoría de carácter transversal que incluye los aspectos legales y regulatorios:



#### 1. Marco legal e institucional:

indicadores que reflejan la actividad política y regulatoria orientada a la digitalización. Se agrupan aquí los indicadores que reflejan la existencia de precondiciones necesarias para la digitalización del transporte público: regulación y marcos

legales específicos para su desarrollo y gestión, financiación de las medidas de transformación y despliegue de la infraestructura de base necesaria, en particular la infraestructura habilitadora de la conectividad digital.



#### 4. Gestión inteligente:

indicadores relacionados con la aplicación de soluciones digitales para la operación del transporte, incluyendo aspectos relacionados con los sistemas de gestión de flotas, la optimización de rutas y horarios, el equipamiento tecnológico incorporado en las flotas y la integración de los sistemas de información, entre otros.

#### 2. Gobernanza digital:



indicadores relacionados con la aplicación de soluciones digitales para la administración del transporte, incluyendo aspectos como la relación de las autoridades de transporte con los proveedores de bienes y servicios y la participación ciudadana en las políticas de transporte.



#### 5. Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio:

indicadores relacionados con la interacción con las personas usuarias (disponibilidad de planeadores de viaje, sistemas de pago electrónicos, paneles de información, etc.) y la experiencia de uso.

#### 3. Planeación informada:



indicadores relacionados con la aplicación de soluciones digitales para la planeación del transporte.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se ha definido el siguiente marco de indicadores.

**Figura 10.** Familias de indicadores de evaluación del nivel de digitalización en transporte público.



**Tabla 5.** Marco de indicadores para la evaluación del nivel de digitalización del transporte público.

Familia	Indicador	Definición	Valores
1. Marco legal e institucional	1.1 Autoridad en transporte y movilidad	Existencia de una autoridad en transporte y movilidad con competencias para la regulación y gestión del transporte en la ciudad.	0= No existe 1= Existe
	1.2 Ley de Movilidad	Existencia de una norma específica de regulación de la movilidad en la ciudad.	0= No existe 1= Existe
	1.3 Objetivos específicos de digitalización en el marco regulatorio	Existencia de normas específicas encaminadas a digitalizar el transporte.	0= No existen 0.5 = Parcialmente abordados 1= Existen
	1.4 Presupuesto para digitalización	Existencia de partidas presupuestarias específicas o financiación asegurada para el impulso de la digitalización.	0= No existe 1= Existe
	1.5 Conectividad	Grado de desarrollo de las infraestructuras de conectividad habilitantes para el despliegue de soluciones de digitalización.	0= No existe 0.5 = Básica 1= Avanzada
	1.6 Gestión integrada del transporte público	Existencia de una organización que gestiona de forma integrada la planeación y operación del transporte público	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
	1.7 Protección de datos	Existencia de regulación específica de protección de datos personales y de un organismo (p.ej., agencia de protección de datos) a cargo de su aplicación.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
2. Gobernanza digital	2.1 Área responsable de la información	Existencia de un área específica dentro de la estructura orgánica de la autoridad con atribuciones y responsabilidades para gestionar la información.	0= No existe 0.5 = Responsabilidad distribuida 1= Existe
	2.2 Área especializada y enfocada en el manejo de la información digital	Existencia de un área específica dentro de la estructura orgánica de la autoridad con atribuciones y responsabilidades para el desarrollo de estrategias para digitalizar la información.	0= No existe 0.5 = Responsabilidad distribuida 1= Existe

Familia	Indicador	Definición	Valores
2.Gobernanza digital	2.3 Plataformas digitales	Existencia de plataformas digitales de participación ciudadana, licitación y datos abiertos.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
	2.4 Plan de recuperación de desastre	Existencia de un documento que describa los protocolos de recuperación de la información necesaria para volver a operar en caso de desastre (incendios, temblores, ataques cibernéticos, etc.).	0= No existe 1= Existe
	2.5 Intranet	Existencia de un espacio digital en la red interna de la autoridad de transporte para almacenar y compartir la información	0= No existe 1= Existe
3.Planeación informada	3.1 Sistemas de recopilación de información	Existencia de infraestructura tecnológica en los vehículos e infraestructura para contabilizar transacciones y personas.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
	3.2 Análisis de la demanda	Existencia de información fiable y actualizada sobre los patrones de movilidad y demanda de transporte	0= No existe 0.5 = Información parcial 1= Implementación completa
	3.3 Software de modelación y simulación de transporte	Existencia de software para la modelación del transporte	0= No existe 1= Existe
	3.4 Sistemas GIS	Existencia y uso de sistemas de información geográfica	0= No existe 1= Existe
4.Gestión inteligente	4.1 Centro de control	Existencia de una instalación estratégica para la gestión y monitoreo del sistema de transporte de la ciudad	0= No existe 1= Existe
	4.2 SAE	Existencia de software para el monitoreo y control de la operación.	0= No existe 1= Existe
	4.3 Telemetría	Existencia de infraestructura tecnológica para obtener información de las unidades en operación: velocidad, ocupación, estado de la unidad, vigilancia, etc..	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa

Familia	Indicador	Definición	Valores
4.Gestión inteligente	4.4 Sistemas de ayuda a la conducción	Existencia de infraestructura tecnológica para apoyo a la conducción.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
	4.5 Seguridad de las personas usuarias y protección frente al crimen	Existencia de sistemas de seguridad y protección frente al crimen a bordo de los vehículos y en estaciones y paradas.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
	4.6 Sistemas de vehículos autónomos	Existencia de sistemas con tecnología de vehículos autónomos.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
	4.7 Servicios emergentes de movilidad	Existencia de sistemas emergentes de movilidad (p.ej., sistemas de bicicleta pública compartida).	0= No existe 1= Existe
5.Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio	5.1 Plataforma para consulta de información en tiempo real	Existencia de una plataforma web oficial para consultar información en tiempo real, como ubicación de autobuses, contingencias, estado de la operación.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Existe
	5.2 App de movilidad de la ciudad	Existencia de una app con información de la oferta de transporte de la ciudad	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Existe
	5.3 Acuerdos con aplicaciones comerciales	Operación de plataformas comerciales privadas en la ciudad, que no son propiedad del gobierno.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Existe
	5.4 Equipamiento de información en vehículos	Existencia de infraestructura tecnológica para informar a las personas usuarias de contingencias (pantallas, altavoces, cámaras de vigilancia) en las unidades.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa

Familia	Indicador	Definición	Valores
	5.5 Equipamiento de información en estaciones e infraestructura	Existencia de infraestructura tecnológica para informar sobre contingencias (pantallas, altavoces) en estaciones, paradas, etc.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
	5.6 GTFS	Desarrollo del archivo estándar de información del transporte.	0= No existe 1= Existe
	5.7 Sistema digital de recaudo	Existencia de infraestructura tecnológica para realizar cobro por dispositivos tecnológicos como tarjetas, NFC, celulares o apps.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa
	5.8 Plataforma para planeación de viaje	Existencia de una web y/o una aplicación oficial de la autoridad para consultar recorridos en transporte público y planear el viaje.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Existe
	5.9 Servicio de internet en vehículos y estaciones	Existencia de Internet gratuito en las unidades y estaciones.	0= No existe 0.5 = Implementación parcial 1= Implementación completa

### 3.4 Valores de referencia

Teniendo en cuenta los indicadores definidos en la sección 3.3 y los valores que puede tomar cada uno de ellos, se han propuesto valores de referencia para cada una de las familias de indicadores y un valor de referencia global que permita evaluar el nivel de digitalización. Para cada grupo de indicadores, se definen los estados de digitalización en función de la suma de los valores obtenidos para cada indicador, normalizada para otorgar diez puntos al máximo nivel de digitalización. Para el índice global compuesto, se ha realizado una ponderación de los valores de los grupos según la importancia relativa otorgada por los expertos consultados.

Se han definido cuatro niveles de digitalización, a partir de una adaptación de las fases de la digitalización del transporte público definidas por la UITP (2020)<sup>25</sup>:



#### ● Digitalización inicial.

La ciudad se encuentra en las fases iniciales de la planeación y valoración de la digitalización de los componentes y procesos del transporte público.

<sup>25</sup> UITP (2020). Digital Transformation and Social Dialogue in Urban Public Transport in Europe. <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/10/Final-report-Digital-transformation-and-social-dialogue-in-urban-public-transport-EN.pdf>



● **Digitalización intermedia.** La ciudad cuenta con algunos componentes y procesos digitalizados, abarcando algunos componentes para la operación y la confiabilidad del usuario.



● **Digitalización avanzada.** La ciudad cuenta con una mayoría de componentes y procesos

digitalizados, incluidos los componentes administrativos.



● **Digitalización consolidada.** La práctica totalidad de los componentes y procesos en todos los ejes estudiados están digitalizados y la ciudad lleva años operando estas tecnologías

**Tabla 6.** Valores de referencia para los indicadores propuestos.

Familia de indicadores	Ponderación en el índice global	Nivel de digitalización			
		Inicial	Intermedia	Avanzada	Consolidada
Marco legal e institucional	15%	0-2.49	2,5-4,99	5-7.49	7.5-10
Gobernanza digital	15%				
Planeación informada	20%				
Gestión inteligente	25%				
Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio	25%				
<b>Índice global</b>	<b>100%</b>	<b>0-2.49</b>	<b>2,5-4,99</b>	<b>5-7.49</b>	<b>7.5-10</b>

### 3.5 Ejemplos de aplicación

A continuación se presentan dos ejemplos de aplicación del marco de evaluación propuesta a dos ciudades líderes en la digitalización del transporte público a nivel mundial (Londres) y en el contexto latinoamericano (Santiago de Chile).

#### 3.5.1 La digitalización del transporte público en Londres



##### **Marco legal e institucional.**

Con una de las mayores y más eficientes redes de transporte del mundo y una autoridad de trans-

portes integrada, Transport for London (TfL), la capital del Reino Unido se ha convertido en un referente en sistemas inteligentes de pago y datos abiertos. La estructura organizativa de TfL se divide en tres grandes áreas que se responsabilizan del metro de Londres, el transporte por ferrocarril y el transporte en superficie, gestionando de forma integrada los diferentes modos de transporte público. A nivel estratégico Londres cuenta con “*The Mayor’s Transport Strategy*” que recoge las claves para la mejora del transporte público, con unos objetivos muy centrados en la sostenibilidad: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 y 80% de los viajes a pie, en bicicleta o transporte público para 2041. Además de financiar directamente

desde la Alcaldía o con el apoyo del Gobierno de Reino Unido el despliegue de nuevas infraestructuras (por ejemplo, la nueva red de carriles de bicicleta, o la renovación de la flota de autobuses), Londres es la sede de numerosas firmas de venture capital (por ejemplo, *In-Motion Ventures*, *MMC Ventures*, *Northzone*, *Atomico* o *Index Ventures*) que invierten en el sector de la movilidad beneficiando a la ciudad. Por otra parte, desde hace algunos años la capital británica no escatima esfuerzos a la hora de desplegar tecnologías innovadoras. Desde 2013, el *Smart London Board* asesora al Ayuntamiento sobre la implementación de nuevas tecnologías digitales en el marco de su programa “Smarter London Together” (Greater London Authority, 2018)<sup>26</sup> que recoge gran parte de la estrategia de digitalización de la ciudad. En 2017, se lanzó el programa “*Connected London*”, con el objetivo de ofrecer una conectividad 5G a toda la ciudad y un acceso libre al wifi en los edificios públicos y en las calles. El ayuntamiento se apoya principalmente en las infraestructuras de TfL para implementar el programa “*Connected London Full Fibre Network*”, una red de fibra óptica que busca conectar 400 km de túneles subterráneos, 580 km de carreteras y 80.000 elementos de mobiliario urbano. En resumen, Londres cuenta con las condiciones adecuadas en términos de regulación, financiación e infraestructura habilitante para seguir dando pasos hacia un transporte público completamente digitalizado.



### Gobernanza digital.

Un espacio de mejora en la ciudad de Londres se encuentran en la gestión y control de la información, ya que esta función está distribuida entre varios departamentos. A día de hoy, cada

departamento tiene requisitos específicos y necesidades tecnológicas particulares, si bien trabajan para centralizar e integrar la información de todos los modos de transporte bajo la supervisión de una Dirección de Operaciones, lo que permite un desempeño operativo de manera uniforme en toda la organización. Por otra parte, Londres cuenta con distintas plataformas y equipos que las gestionan según las actividades a las que dan soporte. Por ejemplo, para licitaciones públicas TfL dispone de una plataforma que permite que los contratistas accedan a los documentos de licitación. No obstante, este último también es un ejemplo de espacio de mejora ya que aún es necesaria una considerable participación humana en la revisión y calificación de propuestas debido a la complejidad y los requisitos específicos de cada contrato; en este sentido están trabajando en la implementación de soluciones de IA para, por ejemplo, agilizar la formulación de respuestas a consultas públicas.



### Planeación informada.

TfL siempre ha destacado por el uso de una amplia variedad de fuentes de datos y de software especializado para modelar la demanda de transporte y planear intervenciones en el sistema de transporte público de Londres. A medida que se incorporan nuevas fuentes de datos la ciudad se enfrenta a nuevos desafíos relacionados con la regulación de la protección de datos y la resistencia de algunos operadores a compartir su información. En todo caso, TfL es un referente en el ámbito de los datos abiertos: su API unificada y su plataforma de datos abiertos impulsan más de 600 aplicaciones, con más de 17,000 desarrolladores registrados para sus datos abiertos y más del 42% de los londinenses utilizan aplicaciones con base en sus datos.

<sup>26</sup> Greater London Authority (2018). Smarter London Together. [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/smarter\\_london\\_together\\_v1.66\\_-\\_published.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/smarter_london_together_v1.66_-_published.pdf)



### Gestión inteligente.

La red de carreteras y el metro de Londres tienen centros de control separados, pero ambos se coordinan, utilizando la tecnología, para compartir información y responder rápidamente a los eventos de la red de transporte (p.ej., siniestros de tránsito). La gestión y monitorización de los vehículos (por ejemplo, los autobuses) se realiza de forma local, y son los operadores los responsables de informar sobre los KPIs que se generan con la información de la operación. Sin embargo, TfL realiza controles esporádicos para verificar la precisión y consistencia de los datos. La transmisión de la información se apoya en una infraestructura que viene creciendo en los últimos años con cobertura 4G y 5G en la red subterránea. En la actualidad hay Wi-Fi disponible en las estaciones, pero no en los trenes.



### Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio.

La relación con las personas usuarias se asienta sobre la aplicación TfL Go, que ofrece información sobre rutas, horarios y otras actualizaciones útiles para las personas usuarias. Asimismo, TfL es activa en redes sociales y utiliza su cuenta de Twitter para comunicar cambios, retrasos y realizar acciones de marketing. Por otra parte, un elemento importante para poder proporcionar información fiable es la utilización de un estándar de datos. En el Reino Unido se utiliza un estándar llamado "TransXChange", aunque hay esfuerzos para traducir estos datos a GTFS. Hoy en día, TfL proporciona datos de ubicación en tiempo real a través de una API, pero no necesariamente en formato GTFS. Por otro lado, algunos operadores nacionales de trenes no comparten sus datos, lo que dificulta la integración completa de la digitalización en toda la red de transporte de la ciudad.

## 3.5.2 La digitalización del transporte público en Santiago de Chile



### Marco habilitante.

Santiago de Chile es una ciudad muy activa en materia de innovación en el sistema de transporte urbano, destacando en los últimos años como referencia en la electrificación. Su estrategia se enfoca en tres ejes para prestar el servicio de transporte: la sostenibilidad ambiental, que busca ofrecer servicios de transporte público que sean ambientalmente sostenibles, lo que ha llevado a la incorporación de electromovilidad en el sistema; la experiencia de uso, que destaca la importancia de proporcionar información antes, durante y después del viaje; y la eficiencia de la infraestructura, que, ante la imposibilidad de expandir la infraestructura de manera ilimitada, busca mejorar la eficiencia del sistema operativo mediante la incorporación de tecnología inteligente en la gestión de flotas y sistemas de pago. El organismo público encargado de gestionar el transporte público de la ciudad de Santiago es el Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM), dependiente del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Desde el punto de vista legal, las autoridades chilenas han apostado por ajustarse a los estándares europeos en materia de protección de datos personales y han ajustado algunas normas para abordar temas específicos del transporte, como la caducidad de las cuotas de transporte en las tarjetas (medida adoptada para evitar que la autoridad de transporte maneje efectivo).



### Gobernanza digital.

La ciudad cuenta con una visión para el gobierno digital y la gestión de la tecnología en materia de transporte público con dos focos de atención: en primer lugar, se centra en las tecnologías destinadas a apoyar la administración inter-

na del sistema de transporte. Esto incluye la gestión de flotas y sistemas de control para supervisar y mantener un control eficiente de los vehículos de transporte, como la ubicación de los autobuses y el cumplimiento de contratos. En otro grupo se sitúan todas las tecnologías centradas en los “sistemas de ticketing” o sistemas de recaudo, que permiten pagar electrónicamente por los servicios de transporte público.



### Planeación informada.

La planeación involucra tanto a la autoridad como a los operadores de transporte, para lo cual se utilizan distintas herramientas software, como Gohan y, más recientemente, Optimus. Además, Santiago ha desarrollado una aplicación móvil que cuenta con unas 400,000 personas usuarias y que genera datos para enriquecer la información de planeación. También destaca el uso de datos procedentes de la red de telefonía celular para construir matrices origen-destino.



### Gestión inteligente.

El sistema opera con base en un centro de control central llamado CMB (Centro de Monitoreo de Buses), donde la autoridad monitorea la flota de 6,700 autobuses. Además, cada operador de transporte tiene su propio centro de operaciones para el control de sus autobuses. Recientemente, Santiago renovó el equipamiento del sistema de gestión de flota, que incluye una computadora embarcada, el sistema de Automatic Vehicle Location (AVL) y sistemas centrales. Además, se utilizan datos de posicionamiento de los sistemas de gestión de flotas. En Santiago la única forma válida de pago es el pago electrónico, y se puede hacer a través de tarjetas como la “tarjeta Bip!”, que se utiliza en todo el sistema de transporte de la ciudad. Los sistemas inteligentes de pago implantados administran

las finanzas del sistema, la carga de tarjetas y la distribución de pagos a los operadores, y son una parte fundamental de la tecnología de transporte en Santiago. El pago electrónico es una característica que diferencia la ciudad de la mayoría de las capitales latinoamericanas donde se suelen utilizar sistemas de pago cerrados que no permiten el pago con tarjetas de crédito o débito, sino utilizando, si acaso, tarjetas de transporte específicas. En Santiago también se ha introducido como innovación el pago con código QR y el pago basado en una cuenta de transporte, que ha sido ampliamente adoptado por las personas usuarias. En el ámbito de la telemetría, esta se utiliza para medir indicadores de los autobuses, especialmente en el caso de los autobuses eléctricos. La nueva flota de vehículos ha sido adquirida con la exigencia de que estos vehículos cuenten con sistemas de apoyo a la conducción. Estos sistemas incluyen tecnologías como cámaras y sensores instalados en las unidades. Estas tecnologías son capaces de detectar una amplia gama de elementos en las inmediaciones de los autobuses, incluyendo peatones y ciclistas, y alertar a la persona conductora en tiempo real. La inclusión de estos sistemas en los autobuses es un avance significativo en términos de seguridad y tecnología en el transporte público.



### Confiable, accesible y usabilidad del servicio.

La autoridad de transporte proporciona información a las personas usuarias tanto en los paraderos como a bordo de los autobuses o trenes, o a través de aplicaciones para dispositivos móviles. Santiago cuenta con una aplicación que proporciona diversas funcionalidades para las personas usuarias, incluyendo la planeación de rutas, el aviso de parada, el cálculo de tiempos de llegada y notificaciones sobre eventos que afecten el servicio, como desvíos debido

a manifestaciones. En cuanto a la información a bordo, hay paneles de próxima parada y anuncios de audio, que son esenciales para mejorar la experiencia de uso. También se ha creado una “red social de transporte público”, donde es posible reportar problemas o incidentes a la autoridad, lo que ha resultado en una herramienta valiosa para mejorar

la calidad y seguridad del transporte público. Desde el punto de vista del equipamiento, las nuevas unidades eléctricas cuentan con tecnología avanzada, incluyendo características como servicio de WiFi a bordo, conectores USB para cargar dispositivos móviles y aire acondicionado, lo que mejora significativamente la experiencia de uso.

### 3.5.3 Evaluación comparativa

**Tabla 7.** Evaluación comparativa del nivel de digitalización de Londres y Santiago de Chile.

Indicador global		Londres, Reino Unido	Santiago de Chile, Chile
		9.25	8.93
		Consolidada	Consolidada
1.	Marco habilitante	Londres, Reino Unido	Santiago de Chile, Chile
1.1	Autoridad en transporte y movilidad	Existe	Existe
1.2	Ley de Movilidad	Existe	Existe
1.3	Objetivos específicos de digitalización en el marco regulatorio	Parcialmente abordados	Parcialmente abordados
1.4	Presupuesto para digitalización	Existe	No existe
1.5	Conectividad	Avanzada	Básica
1.6	Gestión integrada del transporte público	Existe	Parcial
1.7	Protección de datos	Existe	Parcial
<b>Valor del bloque 1</b>		<b>9.29</b>	<b>6.43</b>
2.	Gobernanza digital	Londres, Reino Unido	Santiago de Chile, Chile
2.1	Área responsable de la información	Responsabilidad distribuida	Existe
2.2	Área especializada y enfocada en el manejo de la información digital	Existe	Existe
2.3	Plataformas digitales	Implementación completa	Implementación completa
2.4	Plan de recuperación de desastre	Existe	Existe
2.5	Intranet	Existe	Existe
<b>Valor del bloque 2</b>		<b>9.00</b>	<b>10.00</b>

3.	Planeación informada	Londres, Reino Unido	Santiago de Chile, Chile
3.1	Sistemas de recopilación de información	Implementación completa	Implementación completa
3.2	Análisis de la demanda	Implementación completa	Implementación completa
3.3	Software de modelación y simulación de transporte	Existe	Existe
3.4	Sistemas GIS	Existe	Existe
<b>Valor del bloque 3</b>		<b>10.00</b>	<b>10.00</b>
4.	Gestión inteligente	Londres, Reino Unido	Santiago de Chile, Chile
4.1	Centro de control	Existe	Existe
4.2	SAE	Existe	Existe
4.3	Telemetría	Implementación completa	Implementación completa
4.4	Sistemas de ayuda a la conducción	Implementación completa	Implementación parcial
4.5	Seguridad de las personas usuarias y protección frente al crimen	Implementación completa	Implementación completa
4.6	Sistemas de vehículos autónomos	No existe	No existe
4.7	Servicios emergentes de movilidad	Existe	Existe
<b>Valor del bloque 4</b>		<b>8.57</b>	<b>7.86</b>
5.	Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio	Londres, Reino Unido	Santiago de Chile, Chile
5.1	Plataforma para consulta de información en tiempo real	Existe	Existe
5.2	App de movilidad de la ciudad	Existe	Existe
5.3	Acuerdos con aplicaciones comerciales	Existe	Existe
5.4	Equipamiento de información en vehículos	Implementación completa	Implementación completa
5.5	Equipamiento de información en estaciones e infraestructura	Implementación completa	Implementación completa
5.6	GTFS	No existe	Existe
5.7	Sistema digital de recaudo	Implementación completa	Implementación completa
5.8	Plataforma para planeación de viaje	Existe	Existe
5.9	Servicio de internet en estaciones	Implementación completa	Implementación completa
<b>Valor del bloque 5</b>		<b>9.44</b>	<b>10.00</b>



# 4

## NIVEL DE DIGITALIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN MÉXICO

Recarga de tarjeta de movilidad, CDMX.  
Foto: JuanCarlos, AdobeStock.

## 4.1 Contexto institucional y actores clave

Dentro del andamiaje institucional mexicano, donde las responsabilidades en materia de transporte público recaen en gran medida en los Gobiernos Estatales y, sólo en algunos casos, en los Gobiernos Municipales, se dibuja un panorama marcado por la falta de una coordinación federal.

Pese a algunos esfuerzos de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), la digitalización del transporte público es un fenómeno impulsado principalmente desde instancias estatales y municipales, así como por iniciativas conjuntas con la sociedad civil y el sector privado.

Figura 11. Actores clave en el transporte público en México.



### 4.1.1 Actores gubernamentales

**Dependencias estatales y municipales de movilidad.** Las funciones de planeación y gestión del transporte público en México son, en general, responsabilidad de las Secretarías de Movilidad y/o las Direcciones de Transporte de los Gobiernos Estatales, con algunas excepciones en las que estas funciones se realizan a nivel municipal. Adicionalmente, existen iniciativas lideradas desde asociaciones como la Asociación Mexicana de Autoridades de Movilidad (AMAM), que busca mejorar la movilidad y el transporte público en México mediante el trabajo conjunto entre autoridades municipales y estatales. En las regiones objeto del presente estudio, las responsabilidades de planear y gestionar la movilidad recaen sobre el Gobierno Estatal en los casos de Oaxaca (a través de la Secretaría de Movilidad), Yucatán (a través del Instituto de Movilidad y Desarrollo Urbano Territorial, IMDUT) y el Estado de México (a través de la Secretaría de Movilidad), mientras que en León (Guanajuato) la movilidad se gestiona a nivel municipal (a través de la Dirección de Movilidad).

**Asociación Mexicana de Autoridades de Movilidad (AMAM).** Es una asociación a nivel nacional constituida en 2017 de la que son miembros distintas autoridades de los sistemas de movilidad de todo el país, con una agenda establecida en torno a ejes temáticos. Es una iniciativa de gobiernos estatales y municipales, apoyados por el Instituto de Recursos Mundiales México A.C. (WRI México) y la Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones, A.C. (ANPACT). La AMAM trabaja para mejorar la movilidad y el transporte público en México mediante el trabajo conjunto entre autoridades municipales y estatales, el intercambio de experiencias y buenas prácticas,

y la generación de políticas públicas locales y federales.

**Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME).** La CAME es un órgano de coordinación intergubernamental que integra al Gobierno Federal, el Gobierno de la Ciudad de México y los Gobiernos de los estados de Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Querétaro que tiene como objetivo la imposición de medidas ambientales comunes y la coordinación interinstitucional en materia de mitigación de emisiones.

**Gobierno Federal.** El rol del Gobierno Federal es clave para homogeneizar los estándares de calidad e impulsar la adopción correcta de la nueva Ley General de Movilidad y Seguridad Vial (LGMSV) en el país. A nivel federal se han empezado a impulsar estrategias integrales entre los diferentes niveles de gobierno. Esta coordinación requerirá normativa y legislación que homologuen y estandaricen elementos, componentes y prácticas. Por su parte, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) se enfoca principalmente en el autotransporte federal, tanto de carga como de personas, por lo que no ha desarrollado programas o normativas enfocados al transporte urbano. A continuación, se describen con mayor detalle las principales dependencias e instrumentos existentes a nivel federal con atribuciones en materia de transporte público:

● **Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).** Esta dependencia tiene la misión de promover sistemas de transporte y comunicaciones seguros, eficientes y competitivos, mediante el fortalecimiento del marco jurídico, la definición de políticas públicas y el diseño de estrategias que contribuyan al crecimiento sostenido de la economía y el desarrollo social equilibrado del país,

ampliando la cobertura y accesibilidad de los servicios, logrando la integración de la población mexicana y respetando el medio ambiente. El rol de la SICT se centra en regular los servicios de autotransporte de carga, pasaje y turismo. La SICT atiende también estrategias sobre transporte público a nivel federal, como la ENAMOV, desde su Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, con responsabilidades en algunas políticas públicas y fondos como el Programa de Apoyo Federal al Transporte Masivo (PROTRAM).

○ **Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).**

La SEDATU tiene como misión impulsar el desarrollo territorial sostenible e incluyente del país mediante el diseño, coordinación e implementación de políticas de ordenamiento territorial, desarrollo agrario, desarrollo urbano y de vivienda, con un enfoque transversal articulado a través del Plan Nacional de Desarrollo (PND). La

SEDATU tiene atribuciones sobre el transporte en materia de fomento y promoción, y ha impulsado la LGMSV, promulgada en mayo de 2022, así como el Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial y la Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (ENAMOV).



○ **El Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (Sistema Nacional)**<sup>27</sup>.

Es un mecanismo de coordinación entre las autoridades de los tres órdenes de gobierno y sectores de la sociedad civil organizada que tiene por objetivo impulsar los principios de la ley, el Plan Nacional de Desarrollo y la implementación de la ENAMOV; lo integran la SEDATU, la SICT, la Secretaría de Economía y los representantes de las entidades federativas.

○ **Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS).**

Es la institución líder de la banca de desarrollo en México. BANOBRAS hace posible la creación de infraestructura con alta rentabilidad social, impulsada por el Gobierno Federal a través de novedosos esquemas de financiamiento, con una visión de largo plazo y ampliando la participación del sector privado.

○ **El Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN) es un fondo federal establecido el 7 de febrero de 2008 e instituido en el BANOBRAS.**

El FONADIN actúa como vehículo de coordinación de la Administración Pública Federal para la inversión en infraestructura, principalmente en las áreas de comunicaciones, transportes, hidráulica, medio ambiente y turismo, de acuerdo con los programas y los recursos presupuestados correspondientes. El Gobierno Federal, a través de la SICT, ha otorgado al FONADIN las concesiones para construir, operar, explotar y mantener más de 45 autopistas, así como para generar participación

<sup>27</sup> SEDATU (2022). Instala Sedatu el Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial. <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/instala-sedatu-el-sistema-nacional-de-movilidad-y-seguridad-vial>

de la banca comercial en proyectos de infraestructura.

- El Programa Federal al Apoyo del Transporte Masivo (PROTRAM)<sup>28</sup>.** Fue creado por el Gobierno Federal en 2008, respondiendo a las crecientes necesidades de mejorar los sistemas de transporte público masivo. Financiado por medio del FONADIN y el BANOBRAS, el PROTRAM permite a entidades del sector público y privado acceder a ayudas reembolsables y no reembolsables para invertir en proyectos de transporte público masivo en ciudades por encima de los 500,000 habitantes, tales como sistemas inteligentes para el recaudo de la tarifa de Sistemas Integrados de Transporte (SITs) y corredores de Buses de Tránsito Rápido (BRTs). Sin estar específicamente orientado a la digitalización del transporte, el PROTRAM incide en la profesionalización del sector, transformando modelos antiguos de gestión y promoviendo sistemas de gestión más eficientes, con software y equipos especializados.

#### 4.1.2 Actores del sector privado

Los principales actores del sector privado son los siguientes:

- Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad (AMTM).** LA AMTM nace por la necesidad de generar esquemas de colaboración en materia de movilidad entre los actores centrales en materia de transporte, con el fin de promover políticas públicas encaminadas al desarrollo de sistemas urbanos y regionales de trans-

porte sostenible e integrarlas con otros sectores como el desarrollo urbano, vivienda y medio ambiente, entre otros. Sus líneas de acción son tres: i) Fortalecimiento Institucional, ii) Vinculación y Colaboración y iii) Servicios.

- Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones (ANPACT).** Es una institución mexicana no lucrativa que reúne y representa a empresas productoras de vehículos pesados de peso bruto vehicular igual o mayor a las 6.3 toneladas y otras instituciones relacionadas con este sector. Es un actor eficaz de representación, clave en la armonización, promoción y ejecución de las estrategias para el desarrollo del sector.
- Empresas operadoras de transporte.** Si bien los operadores de transporte no son proveedores de tecnología, desempeñan un papel crucial en la adopción temprana y correcta de nuevas soluciones, pudiendo habilitar la penetración de tecnologías o restringirla. Por ello, es fundamental que estas empresas cuenten con equipos capacitados y familiarizados con las tecnologías de digitalización del transporte público.
- Empresas fabricantes de vehículos.** Es importante vincular a los fabricantes de vehículos para transporte público en los procesos de digitalización. Por ejemplo, para introducir telemetría, comunicación con los centros de control, cámaras de vigilancia o sistemas de información a las personas usuarias, es crítico que los vehículos vengán preparados para instalaciones adicionales u ofrezcan estos equipos auxiliares ya de fábrica.

- Proveedores de software, equipamiento, sistemas y servicios tecnológicos.** Estas empresas participan en licitaciones

<sup>28</sup> WRI (n.d.) PROTRAM: Programa de apoyo federal al transporte masivo. <https://es.wri.org/proyectos/protram-programa-de-apoyo-federal-al-transporte-masivo>

para el suministro de tecnologías de manejo de la información. Un ejemplo es el reciente concurso para suministrar el SAE para el sistema Metrobús en la Ciudad de México (Sonda, 2023)<sup>29</sup>. Otros ejemplos relevantes son los proveedores de dispositivos y servicios de georreferenciación mediante sistemas GPS, los proveedores de equipamiento para monitoreo y conteo (barras contadoras, cámaras, etc.), los proveedores de equipamiento para la medición de emisiones, los proveedores de software de modelación de transporte, y proveedores de software para la asignación de vehículos y de personal de conducción. También se incluyen en esta categoría las empresas que integran el hardware con el software en proyectos específicos para proporcionar soluciones llave en mano.

- **Empresas consultoras en materia de movilidad.** Son empresas que prestan apoyo a los gobiernos para realizar proyectos y actividades complejas. Cuentan con equipos especializados para realizar análisis, mapear, documentar, estudiar los sistemas y generar proyectos integrales.
- **Empresas de levantamiento de información y proveedores de información de movilidad.** Estas empresas proporcionan información para la planeación del transporte, ya sea mediante aproximaciones convencionales, como encuestas, o ya sea mediante la explotación de nuevas fuentes de datos procedentes de tecnologías digitales, como la telefonía celular o las aplicaciones móviles.

<sup>29</sup> Sonda (2023). SONDA impulsa la transformación digital de Metrobús en CDMX. <https://www.sonda.com/detalle-noticia/2023/07/26/sonda-impulsa-la-transformacion-digital-de-metrobus-en-cdmx/>

### 4.1.3 Organizaciones no gubernamentales

Las organizaciones no gubernamentales (ONGs) como el **Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP)** y **WRI México** promueven iniciativas, programas, asesorías y convenios para impulsar proyectos encaminados a la digitalización del transporte público. Algunos ejemplos son el proyecto Datos Abiertos de Transporte Urbano y Movilidad (**DATUM**), cuyo fin es mapear el sistema de transporte público de ciudades que carecen de información, el Foro Ideamos<sup>30</sup> liderado por ITDP, o el programa **Vamos Primero** desarrollado por WRI México en Colima<sup>31</sup>.

### 4.1.4 Marco legislativo

A nivel federal, en la **LGMSV** (Artículos 27-30) se resalta la necesidad de promover avances tecnológicos y en materia de gestión de datos.

La **Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (ENAMOV) 2023-2042** establece la visión y sienta las bases para el desarrollo de la movilidad y la seguridad vial del país, con un horizonte de planeación en el corto, mediano y largo plazo, con el propósito de garantizar el derecho de todas las personas a trasladarse y disponer de sistemas integrales de movilidad con calidad, suficiencia y accesibilidad que, en condiciones de igualdad, equidad y sostenibilidad, permitan reducir las brechas de desigualdad en el acceso a la

<sup>30</sup> Pasajero7 (2023). Rumbo a la digitalización del Transporte público: Inauguran Foro Ideamos - <https://www.pasajero7.com/rumbo-a-la-digitalizacion-del-transporte-publico-inauguran-foro-ideamos/>

<sup>31</sup> WRI (2023). Boletín de prensa: Destacan logros en seguridad vial y movilidad sustentable del programa Vamos Primero en Colima. <https://es.wri.org/noticias/boletin-de-prensa-destacan-logros-en-seguridad-vial-y-movilidad-sustentable-del-programa>

movilidad, priorizando las necesidades de los grupos en situación de vulnerabilidad. Su implementación será el resultado del compromiso renovado de los tres órdenes de gobierno, en coordinación y concurrencia con los sectores social, privado y académico (SNMSV, 2023)<sup>32</sup>. En el Eje 2 'Servicios de transporte público de personas' se incluyen varias líneas de acción orientadas a la digitalización (2.2.7: Elaborar lineamientos y su implementación para la optimización de rutas de transporte urbano que eviten traslapes, sobredimensionamiento de rutas, mala planeación de las frecuencias, todo esto, con base en los datos de la demanda de los sistemas de monitoreo derivados de los procesos de digitalización;

2.2.9: Digitalización y acceso a la información que se genera de todos los servicios de transporte público, que permitan diseñar y tomar mejores decisiones sobre su operación y funcionamiento (concesiones, rutas, derroteros, vehículos, operadores, entre otros), que posteriormente puedan integrarse en el SITU).

A nivel estatal, al momento de la realización de este reporte, hay 29 estados con Ley de Movilidad. Las leyes de Jalisco y Ciudad de México, en 2013 y 2014, respectivamente, fueron las primeras; desde entonces, otros 27 estados han aprobado leyes de movilidad adoptando el mismo esquema.

### Normas, leyes y políticas vigentes relevantes para los procesos de digitalización del transporte público

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM).
- Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTR).
- Norma Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública (LFTAIP).
- Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA).
- Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de Particulares (LFPDPPP).
- Código Penal Federal (CPF).
- Estrategia Nacional de Ciberseguridad 2017 (ENCS).
- Programa Nacional de Seguridad 2014-2018.
- Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental.
- Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (ENAMOV).
- Ley General de Movilidad y Seguridad Vial (LGMYSV).

Entre otras carencias legislativas, no existen leyes que establezcan un marco regulatorio para estandarizar la generación de información y/o resguardo de datos relevantes para el

<sup>32</sup> Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (2023). Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5704444&fecha=10/10/2023#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5704444&fecha=10/10/2023#gsc.tab=0)

La transformación de la normatividad de Ley de Transporte a Ley de Movilidad nace por la necesidad de abarcar de forma integral todos los componentes de un sistema de movilidad. La movilidad es un concepto emergente en el marco legal en México: hasta 2012, las referencias a este concepto eran sumamente limitadas y ninguna de ellas relacionada con instrumentos normativos; existían, en cambio, dos conceptos complementarios, pero generalmente aislados uno del otro: ‘transporte’ y ‘vialidad y tránsito’. A partir de 2016, con la nueva Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Ur-

bano (LGAHOTDU), se define por primera vez la movilidad como la “capacidad, facilidad y eficiencia de tránsito o desplazamiento de las personas y bienes en el territorio, priorizando la accesibilidad universal, así como la sustentabilidad de la misma” (DOF, 2016)<sup>33</sup>.

Para efectos de este ejercicio y reporte, sólo se consideraron las leyes que nominalmente cuentan con Ley de Movilidad<sup>34</sup>, con la finalidad de identificar si dentro de este marco regulatorio consideran acciones de digitalización bajo el concepto de “Innovación Tecnológica”.

**Figura 12.** Estados con Leyes de Movilidad.



\* La Ciudad de México, al momento de desarrollo de este estudio, se encuentra en proceso de actualización.

Fuente: Adaptado con la información de la Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial 2023 - 2042 por Sistema Nacional, 2023.

<sup>33</sup> Diario Oficial de la Federación (2016). Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lqahotdu/LGAHOTDU\\_orig\\_28nov16.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lqahotdu/LGAHOTDU_orig_28nov16.pdf)

<sup>34</sup> Con base de información de SEDATU al 2024

Entre las Leyes de Movilidad, 25 de las 29 consideran como un componente en específico la “innovación tecnológica”. La siguiente tabla describe los principios analizados de cada ley de movilidad como un todo, con énfasis en la

digitalización. En la tabla se resalta la innovación tecnológica, por su relación con la digitalización, y la situación en los estados en los que se enfoca el presente estudio (Guanajuato, Oaxaca, Yucatán y Edomex).

**Tabla 8.** Principios atendidos por las Leyes de Movilidad en México.

Principio / Entidad	Total	Agascalientes	Baja California	Baja California Sur	Campeche	Chiapas	Chihuahua	Ciudad de México	Coahuila	Colima	Durango	Estado de México	Guanajuato	Guerrero	Hidalgo	Jalisco	Michoacán	Morelos	Nayarit	Nuevo León	Oaxaca	Puebla	Queretaro	Quintana Roo	San Luis Potosí	Sinaloa	Sonora	Tabasco	Tamaulipas	Tlaxcala	Veracruz	Yucatán	Zacatecas
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
Accesibilidad	27	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sostenibilidad	23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Calidad	23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Innovación tecnológica	25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Eficiencia	23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Igualdad	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Participación	22	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Seguridad	24	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Multimodalidad	16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Resiliencia	17	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Desarrollo económico y competitividad	13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Equidad	11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Perspectiva de género	12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Desarrollo urbano	12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coherencia y racionalidad	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Concurrencia y coordinación	9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
No discriminación	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Congruencia	6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Legalidad	6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Exigibilidad	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Antimonopolio	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Progresividad	7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Transparencia	12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia, a partir de Céntrico (2020) y datos obtenidos de investigación propia.

En general, estas leyes cuentan con cláusulas que promueven el uso de tecnologías para seguridad, gestión, control, procesamiento, almacenamiento y distribución de información. La Ley de Movilidad de la Ciudad de México, por ejemplo, menciona en su Artículo 7, la necesidad de *“Emplear soluciones apoyadas en tecnología de punta, para almacenar, procesar y distribuir información que permita contar con nuevos sistemas, aplicaciones y servicios que contribuyan a una gestión eficiente, tendiente a la automatización y eliminación del error subjetivo, así como a la reducción de las externalidades negativas de los desplazamientos”* (Diario Oficial de la Ciudad de México, 2014)<sup>35</sup>. Sin embargo, aún no existe una dependencia en el Gobierno Federal que establezca normas, formatos, estándares o alternativas que permitan homologar o normalizar la información relativa al transporte público.

## 4.2 La digitalización del transporte público a escala nacional

El proceso de digitalización del transporte público requiere procedimientos complejos en materia legal, técnica, administrativa, social y económica. Si bien la ENAMOV busca coordinar las estrategias de movilidad de los tres niveles de gobierno (federal, estatal y/o municipal), en el caso de la digitalización del transporte público aún es necesario avanzar hacia una estrategia estructurada y claramente definida a nivel federal. Además, esta estrategia está fuertemente sujeta a la disponibilidad presupuestal y las voluntades políticas.

Los grandes proyectos son escasos y se centran en las ciudades más pobladas del país, como la Ciudad de México (centros de control de STC Metro, Metrobús y RTP, medios de pago digitales), Monterrey (sistema de pago digital en convivencia entre Metrorrey, Transmetro y Ecovía) y Guadalajara (centro de control para monitoreo y equipamiento de las unidades con cámaras, GPS, validadores, pantallas, entre otros), así como en algunas otras ciudades de mediano tamaño, como León, Mérida y Puebla (sistemas de monitoreo con GPS, cámaras, pantallas, megafonía, etc.), en las que las dependencias estatales y/o municipales cuentan con equipos técnicos especializados, estructuras administrativas consolidadas e iniciativas específicas para impulsar la digitalización, como la Agencia Digital de Innovación Pública (ADIP) del Gobierno de la Ciudad de México.

En definitiva, existe un amplio margen de mejora para lograr la adopción de nuevas tecnologías por parte del sector de transporte público de manera eficiente y exitosa. A continuación se analizan los principales retos y oportunidades para la digitalización del transporte en México. Este análisis se estructura alrededor de tres ejes principales:

1. Equipamiento e infraestructura tecnológica.
2. Marco legal e institucional.
3. Iniciativas de digitalización: programas, estándares y normas.

<sup>35</sup> Diario Oficial de la Ciudad de México (2014). Ley de Movilidad de la ciudad de México. <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/6299c5bdd0df4f6da6e540ab8613d2682b7d738b.pdf>

## 4.2.1 Retos y oportunidades relativos al equipamiento y la infraestructura tecnológica

**Equipamientos e infraestructura tecnológica en el sector del gobierno.** Para algunas dependencias gubernamentales en México es complejo mantener equipos de cómputo a la vanguardia, ya sea por falta de recursos o por la falta de capacidad institucional para escoger, licitar y adquirir dichos equipos. En el gobierno en México, los marcos regulatorios de la administración pública hacen que adquirir equipos de cómputo pueda tardar meses o años, lo que conduce a la desactualización de equipos y a que muchas personas que trabajan en el sector público no dispongan del equipamiento adecuado para cumplir las expectativas de sus puestos laborales.

**Hardware y software para la planeación y la gestión de los sistemas de transporte público.** En México existen distintas compañías que proporcionan software y hardware especializado para el transporte público. Los proveedores de tecnologías desempeñan un papel fundamental, ya que a menudo las instancias de gobierno encargadas de desarrollar proyectos de movilidad inteligente no disponen de la capacidad técnica ni los recursos para desarrollar sus propios sistemas. Estos proveedores usualmente operan bajo contratos de prestación de servicios en un horizonte definido de tiempo. Existe un área enorme de oportunidad para mejorar la forma en que los equipos técnicos de los gobiernos implementan y operan sistemas digitales en apoyo al transporte público, en colaboración con compañías privadas capaces de proveer el conocimiento técnico y el capital humano necesarios para sacar adelante dichos proyectos. El uso de estos servicios externos debe ser planeado correctamente para evitar la dependencia de un proveedor, priorizando tecnologías y sistemas abiertos, interoperables y escalables.



Centros de mando. Generalmente, el monitoreo de un sistema de transporte público requiere de un centro de control capaz de monitorear, gestionar y explotar de forma segura la información procedente de la operación real en campo. Ciudades como Ciudad de México (Metrobús, 2023)<sup>36</sup>, Guadalajara, Puebla, León (Pasajero7, 2016)<sup>37</sup>, Mérida (Indigo, 2021)<sup>38</sup>, Hermosillo y Pachuca cuentan con instalaciones ubicadas en lugares estratégicos para dar seguimiento a la operación de transporte público y actuar con base en la información que deriva de esta. Los esfuerzos, con diferentes niveles de ambición, dependen de la capacidad institucional, el presupuesto y la visión de las autoridades de la ciudad.

<sup>36</sup> Metrobús (2023). Celebra jefe de Gobierno 18 años de Metrobús con puesta en marcha de su nuevo centro de control. Metrobús. <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/celebra-jefe-de-gobierno-18-anos-de-metrobus-con-puesta-en-marcha-de-su-nuevo-centro-de-control>

<sup>37</sup> Pasajero7 (2016). Los centros de monitoreo del transporte. <https://www.pasajero7.com/los-centros-monitoreo-del-transporte/>

<sup>38</sup> Indigo (2021). Supervisa Vila Dosal Centro de Control y Monitoreo del sistema de transporte público "Va y ven" Reporte Indigo. <https://www.reporteindigo.com/reportes/supervisa-vila-dosal-centro-de-control-y-monitoreo-del-sistema-de-transporte-publico-va-y-ven/>

**Equipos de monitoreo en unidades de transporte y estaciones.** Para poder implementar un centro de mando que monitoree y gestione de forma coordinada un sistema de transporte público es necesario disponer de hardware y software conectado (dispositivos GPS, cámaras, instrumentos de comunicación, sensores en las unidades, pantallas, instrumentos de seguridad y comunicación en estaciones, paraderos, y unidades).

**Tecnología de recaudo.** Distintas ciudades están migrando a sistemas de pago digitales, como las tarjetas inteligentes, las tarjetas bancarias o la tecnología NFC. Es fundamental que las ciudades se doten de los instrumentos y orientación necesarios para explotar la información generada por estos sistemas. Por ejemplo, la Ciudad de México, en las especificaciones técnicas del concurso del sistema de recaudo, solicitó el manejo de la información de validaciones en una base de datos que permita monitorear los volúmenes de transacciones y sus atributos (Metrobús, 2021)<sup>39</sup>.

**Almacenamiento y procesamiento de la información.** Otro de los requisitos clave para la digitalización del transporte público es disponer de una infraestructura de almacenamiento y procesamiento de datos que facilite su explotación. A la hora de implementar esta infraestructura, las autoridades y operadores de transporte deben elegir entre el empleo de servidores físicos *in situ* o servicios en la nube. En caso de optar por una infraestructura local, deben tenerse en cuenta los costos de inversión inicial para su compra e instalación (CAPEX), así como los costos de operación, mantenimiento y soporte (OPEX). Por su parte, los servicios en

la nube, como Google Cloud, Amazon Web Services (AWS) o Microsoft Azure, exigen altos pagos mensuales o anuales, pero facilitan la escalabilidad, dado que el costo por el aumento de capacidad de procesamiento o almacenamiento es una fracción del costo de los servidores *in situ*, puesto que únicamente se paga por la infraestructura que se usa. En México no hay una ley o norma que exija servidores físicos o en la nube. En general, dependencias en estados o ciudades grandes tienen sus propios servidores, mientras que las dependencias pequeñas optan mayoritariamente por la nube; sin embargo, la tendencia apunta al uso de servidores en la nube, a menudo considerados en los Planes de Recuperación de Desastres (DRP, por sus siglas en inglés) como una medida de respaldo y recuperación de la información de manera inmediata. Para tomar una decisión informada entre el empleo de servidores *in situ* y la contratación de los servicios de un proveedor en la nube es importante realizar un análisis de Costo Total por Propiedad (TCO, por sus siglas en inglés).

#### **Soluciones Software as a Service (SaaS).**

Una fuerte tendencia experimentada en la última década por parte de los proveedores de software es ofrecer dichos productos bajo el modelo de negocio conocido como software como servicio (SaaS). Este modelo tiene las siguientes ventajas: (i) ágil implementación, (ii) mantenimiento y soporte constante, (iii) integridad de los datos (respaldos y redundancia), (iv) actualizaciones automáticas del software (este puede no siempre es el caso, por lo que hay que revisar que los términos de servicio y que el contrato lo estipule), (v) escalabilidad del servicio con aumento de demanda (disponibilidad de más servidores o memoria en la nube) y (vi) seguridad del sistema. Estas ventajas también implican que el costo del servicio será totalmente basado en OPEX, por lo que la entidad contratante deberá planear bien sus ciclos de finan-

<sup>39</sup> Metrobús (2021). Presenta metrobús modernización de la línea 6 con renovación de imagen y pruebas operativas de la primera unidad eléctrica. Metrobús. <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/MB-17082023>

ciamiento y presupuesto. Para aprovechar el potencial de las soluciones SaaS, la autoridad contratante debe gestionar bien los riesgos asociados a estas soluciones: por ejemplo, que el software y su código son normalmente propietarios, lo que implica que cualquier ajuste o cambio tiene que ser realizado por el proveedor, generalmente con costos adicionales; asimismo, la migración hacia los servicios de otro proveedor puede ser complicada si no se incluyen cláusulas en el contrato que aborden elementos como la propiedad de los datos brutos o la documentación sobre el proceso de migración, entre otros.

#### 4.2.2 Retos y oportunidades relativos al marco legal e institucional

**Marco legal.** Para la implementación de una estrategia de transformación digital ambiciosa y eficiente debe existir un marco jurídico coherente y un marco institucional fuerte, que marquen el camino de los próximos pasos a seguir hacia la digitalización del sistema de transporte. Leyes de Movilidad como la de la Ciudad de México (Diario Oficial de la Ciudad de México, 2014)<sup>40</sup> o la de Mérida (Congreso del

Estado de Yucatán, 2020)<sup>41</sup> incluyen artículos que incentivan el desarrollo tecnológico por medio del uso de plataformas, dispositivos tecnológicos y herramientas de digitalización de la información. Sin embargo, no existe aún una estrategia a nivel federal con metas claras que señalen el camino y permitan medir los avances hacia un sistema de transporte público más digitalizado y la contribución de dichos avances a la calidad, la eficiencia, la accesibilidad y la sostenibilidad medioambiental del transporte.

**Normas y estándares.** Es necesario contar con normas y estándares que permitan homologar el manejo, calidad, forma y estructura de la información, con el fin de facilitar el intercambio de información entre distintos sistemas y herramientas software. El desarrollo de normas y estándares proporciona también ventajas relativas al desarrollo de soluciones de procesamiento y almacenamiento en términos de recursos humanos, capacitación, economías de escala y libre competencia, entre otros.

**Capacidad técnica e institucional.** Es necesario contar con personal capacitado y destinado específicamente a esta labor. Dentro del servicio público se cuenta con personal limitado y poco especializado, que realiza tareas necesarias para prestar el servicio de naturaleza muy diversa. Para dar respuesta a este problema, la Ciudad de México creó la Agencia Digital de Innovación Pública (ADIP)<sup>42</sup>. Es necesario avanzar en iniciativas similares en el resto del país con el propósito de conducir, diseñar y vigilar la implementación de políticas de gestión de datos, gobierno digital y gobernanza tecnológica, generando vínculos inte-

<sup>40</sup> Diario Oficial de la Ciudad de México (2014). Ley de Movilidad de la ciudad de México. <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/6299c5bdd0df4f6da6e540ab8613d2682b7d738b.pdf>

<sup>41</sup> Congreso Del Estado de Yucatán (2020). Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Yucatán. <https://isla.merida.gob.mx/serviciosinternet/normatividad/files/Leyes%20Estatales/MOV.SEG.VIAL-20220927-043823.pdf>

<sup>42</sup> <https://adip.cdmx.gob.mx/>

rinstitucionales con los organismos operadores o reguladores de la movilidad.

### 4.2.3 Retos y oportunidades relativos a programas de digitalización

**Iniciativas locales de digitalización de la información.** Distintas ciudades han desarrollado proyectos de digitalización de la información relativa a concesiones, rutas, horarios, indicadores operacionales y patrones de movilidad y demanda de transporte. Un ejemplo es el proyecto desarrollado por la Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México (SEMOVI), en alianza con el Banco Mundial, para mapear el sistema de transporte público y convertir los datos al formato GTFS (World Bank, 2024b)<sup>43</sup>. Una vez publicados, estos datos comenzaron a ser consumidos y estar disponibles a través de aplicaciones móviles por distintas plataformas de navegación como Google Maps, Apple Maps, Transit APP, Citymapper, etc. La iniciativa DATUM, ya mencionada anteriormente, ha logrado mapear sistemas de transporte público como el de Xalapa. Otros proyectos relevantes son los llevados a cabo por ciudades medianas y pequeñas como Mérida (El Financiero, 2023)<sup>44</sup>, Morelia y Zitácuaro (El Sol de Morelia, 2023)<sup>45</sup>. En general, estos esfuerzos son aún parciales y muy fragmentados, y resulta necesario avanzar hacia una digitalización más sistemá-

tica de toda la información relativa al transporte público.

**Programas de digitalización.** Existen distintos programas de digitalización de ámbito nacional abiertos a cualquier dependencia, autoridad o institución que cumpla con el enfoque, los requisitos y las prioridades establecidas. El programa Ideamos, por ejemplo, busca promover proyectos piloto en materia de movilidad para demostrar los beneficios ambientales y sociales de la digitalización (p.ej., el proyecto MoveUp (ITDP, 2022)<sup>46</sup>, realizado en el Estado de Puebla con el objetivo de incentivar el uso de vehículos eléctricos en el transporte universitario), sin embargo, al igual que ocurre con las iniciativas de digitalización de la información, los programas que buscan impulsar la digitalización del transporte público son aún escasos y de alcance limitado.

## 4.3 La digitalización del transporte público en León, Oaxaca, Mérida y Toluca

A continuación se profundiza en los avances, desafíos y estrategias adoptadas en la digitalización del transporte público en las cuatro ciudades seleccionadas para el presente proyecto, esto es, León (Guanajuato), Oaxaca (Oaxaca), Mérida (Yucatán) y Toluca (Estado de México).

<sup>43</sup> World Bank (2024b). Utilización, transparencia y reutilización – una historia sobre el poder transformador de los datos abiertos. Banco Mundial Blogs. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/utilizaci-n-transparencia-y-reutilizaci-n-una-historia-sobre-el-poder-transformador-de-los-datos>

<sup>44</sup> El Financiero (2023). Digitalizan transporte en Mérida. <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/de-jefes/2023/04/17/digitalizan-transporte-en-merida/>

<sup>45</sup> El Sol de Morelia (2023). Digitalizan transporte público de Zitácuaro con app. <https://www.elsoldemorelia.com.mx/local/municipios/digitalizan-transporte-publico-de-zitacuaro-con-app-10117213.html>

<sup>46</sup> ITDP (2022). MoveUp. i [https://ideamos.mx/wp-content/uploads/2022/12/MOVEUP\\_ReporteTecnico\\_Programaldeamos\\_06.12.2022.pdf](https://ideamos.mx/wp-content/uploads/2022/12/MOVEUP_ReporteTecnico_Programaldeamos_06.12.2022.pdf)

### 4.3.1 La digitalización del transporte público en León, Guanajuato

#### La movilidad en León

León es una ciudad con 1,721,215 habitantes, una densidad de población de 1,408.98 hab./km<sup>2</sup> y una superficie de 1,221.6 km<sup>2</sup> (INEGI, 2020). León es uno de los pocos municipios en México que cuentan con una Dirección de Movilidad, siendo esta la única autoridad en materia de movilidad y transporte de la ciudad, y cuenta con la estructura administrativa necesaria para gestionar y regular el transporte público. La ciudad cuenta con un Sistema Integrado de Transporte (SIT) llamado Optibús, inaugurado en 2003, con una empresa operadora consolidada e integración física, tarifaria y modal para el servicio de transporte público, con más de 1700 unidades entre articulados, padrón (12 metros) y convencionales (9-11 metros)<sup>47</sup>. El 37% de los viajes se realizan en transporte público. El sistema transporta más de 610,000 personas al día. El Plan de Movilidad del Municipio (Ayuntamiento de León, 2021)<sup>48</sup>,



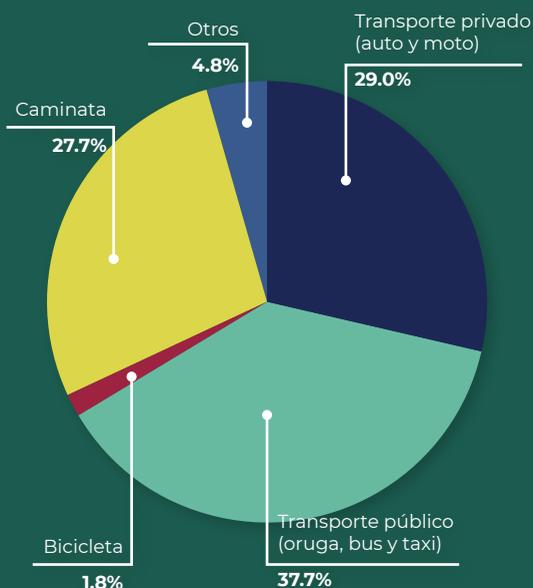
Foto: GIZ

<sup>47</sup> Información proporcionada por la Dirección de Movilidad en León

<sup>48</sup> Ayuntamiento de León (n.d.), Programa de Movilidad del Municipio de León, Guanajuato 2021 - 2024. [https://leon.gob.mx/adminayuntamiento/archivos\\_gaceta/anexo-354-1313397251-Programa\\_de\\_Movilidad.pdf](https://leon.gob.mx/adminayuntamiento/archivos_gaceta/anexo-354-1313397251-Programa_de_Movilidad.pdf)

establece las medidas y directrices de la actual administración para el periodo 2021-2024, que se alinean con el Plan Estatal de Desarrollo. En materia de tecnología, se enfoca a tecnologías de autobuses para descarbonizar la flota.

**Figura 13.** La movilidad en León: reparto modal.



#### Situación actual: avances en la digitalización del transporte

- La Dirección de Movilidad cuenta con un centro de control que sirve para monitorear el servicio. Las unidades cuentan con equipamiento para el monitoreo como dispositivos GPS y cámaras de seguridad.
- La Dirección de Movilidad, en colaboración con WRI México, desarrolló el GTFS estático para el SIT Optibús y el procedimiento para publicarlo en Google Maps.
- El área de tecnología del Gobierno Municipal, además de brindar servicios relativos



Foto: GIZ

a las tecnologías de la información, genera información para la Dirección de Movilidad, incluyendo la actualización de la página oficial con rutas, horarios y paradas.

- Hay algunas iniciativas de transformación digital, como el desarrollo de la aplicación Optibús, que recopila la información de operación del sistema y la pone a disposición de las personas usuarias. Aunque no es muy utilizada, es especialmente útil para las personas que no están familiarizadas con el sistema.
- El sistema de transporte Optibús permite el pago en efectivo y con tarjeta. Este último se diseñó para ser operado y regulado por la empresa transportista, es decir, desde el sector privado (a través de la empresa de recaudo NRTec), por lo que la autoridad tiene acceso limitado a esa información.

### Retos principales

- Acceso completo a los datos de los sistemas de pago por parte de la Dirección de Movilidad y explotación de dichos datos para una mejor planeación del transporte público.
- Acceso a información en tiempo real sobre la operación del sistema, dado que, a la fecha de elaboración de este reporte, no existe un mecanismo (contrato, norma o ley) que obligue a las empresas transportistas a compartir información<sup>49</sup>.
- Desarrollo de una plataforma única de integración de la información del transporte público, que integre tanto las fuentes de datos existentes como nuevas fuentes de datos de utilidad para la planeación y gestión del sistema. La Dirección de Movilidad trabaja actualmente en este tema en colaboración con el proyecto TranSIT.

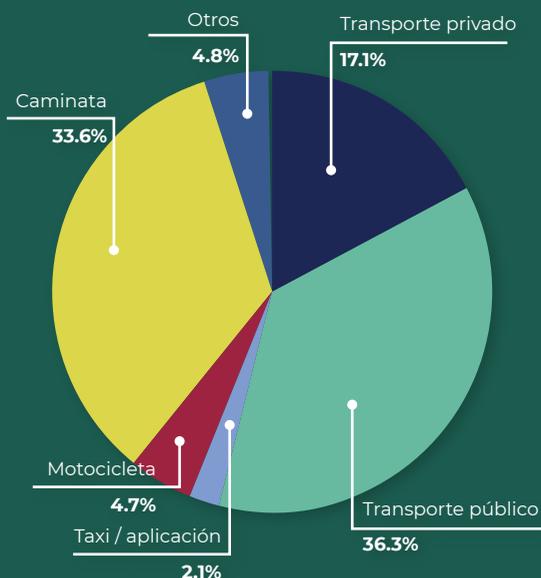
<sup>49</sup> Información compartida por la Dirección de Movilidad en entrevistas.

## 4.3.2 La digitalización del transporte público en Oaxaca, Oaxaca

**La movilidad en Oaxaca**

Oaxaca de Juárez cuenta con una población de 270,955 habitantes y un parque vehicular de 223,405 vehículos, de los cuales 396 corresponden a vehículos de transporte público de hasta 70 personas de capacidad. Según los datos de la Secretaría de Movilidad, la distribución modal del transporte público es del 36.31%. Oaxaca cuenta con una autoridad en materia de movilidad y transporte con alcance estatal: la Secretaría de Movilidad.

**Figura 14.** La movilidad en Oaxaca: reparto modal.

**Situación actual: avances en la digitalización del transporte**

- En la Zona Metropolitana de Oaxaca se cuenta con una versión histórica del GTFS; no obstante, está en proceso de actualización, ya que después de la pandemia hubo rutas que dejaron de operar.



Foto: Semovi Oaxaca

- La Ley de Movilidad vigente (art. 87) señala los dispositivos tecnológicos que deben integrar las distintas modalidades de transporte, por lo que se está trazando una hoja de ruta para integrar dispositivos GPS, contadores de pasajeros, botón de pánico y cámaras en unidades de transporte.
- La Secretaría de Movilidad cuenta con un portal<sup>50</sup> de rutas, que actualmente está en proceso de actualización.
- Hay zonas urbanas entre los 570 municipios del estado de Oaxaca donde se buscará trazar las rutas de transporte urbano colectivo y así compartir información a las personas usuarias. Las primeras serían la Zona Metropolitana de Oaxaca y los municipios de Salina Cruz y San Juan Bautista Tuxtepec.
- El Plan Estatal de Desarrollo es el mecanismo que incluye una visión de planeación a nivel ciudad, pero no incluye ninguna estrategia o acción en torno a la tecnología.
- La Secretaría de Movilidad, en conjunto con GIZ, ha diseñado un plan de trabajo en torno a la digitalización del transporte
- A partir de la armonización de la Ley de Movilidad del Estado de Oaxaca, se pro-

<sup>50</sup> <https://rutas.semovioaxaca.gob.mx/>



Foto: Semovi Oaxaca

pondrá un Sistema Estatal de Información Territorial y Urbana (SEITU), que buscará integrar una base de datos única de empresas operadoras y concesionarias del transporte público.

- Se emplean sistemas de información geográfica, como QGIS, para la planeación del sistema de movilidad, incluyendo mapas de rutas y análisis geoespacial.
- Existe un centro de control para supervisar en tiempo real la operación de las dos rutas del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano Citybus Oaxaca. Asimismo, se cuenta con un recaudo centralizado y pago por medio de una tarjeta de prepago, como parte de una etapa inicial rumbo al Sistema Integrado de Transporte de Oaxaca.



Foto: Semovi Oaxaca



Foto: Semovi Oaxaca

- Por último, se ha trabajado en una aplicación móvil para la consulta en tiempo real de las unidades del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano Citybus Oaxaca.

### Retos principales

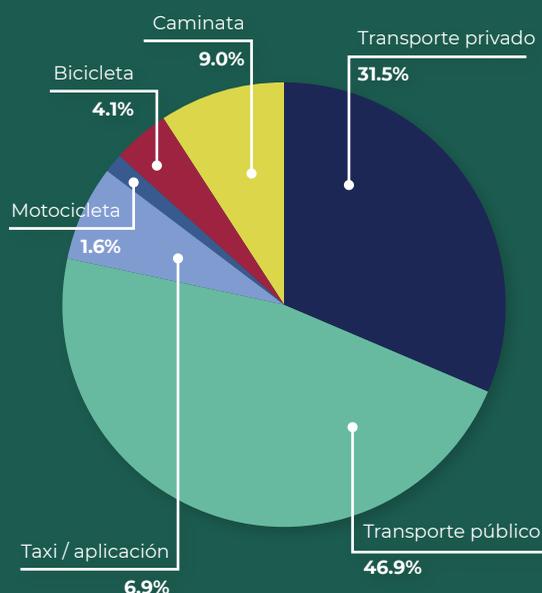
- A nivel del estado de Oaxaca se cuenta con una Dirección General de Tecnologías que centraliza la toma de decisión y la adquisición de nuevas tecnologías, siendo un área de soporte pero no especializada o enfocada en sistemas de transporte.
- Ausencia de regulación normativa en relación con la digitalización del transporte. Se cuenta con una Ley de Tratamiento de Datos abiertos, pero la autoridad responsable del transporte no cuenta con una plataforma de datos abiertos, ni existen leyes o regulaciones estatales de datos de movilidad.
- El Sistema de Control y Administración de Concesiones (SICAC) para la gestión de concesiones necesita ser renovado. Esta actividad se encuentra en proceso de planeación en la Secretaría de Movilidad.
- En el ámbito de la planeación del transporte, no se cuenta con sistemas digitales de recopilación y explotación de la información de demanda.

### 4.3.3 La digitalización del transporte público en Mérida

#### La movilidad en Mérida

En el municipio de Mérida se concentran 995,129 habitantes (el 42.55% de la población estatal) en una extensión de 87,22 km<sup>2</sup> (INEGI, 2020). El transporte colectivo predominante son los autobuses y microbuses, que operan bajo concesiones y permisos otorgados por la autoridad estatal, mientras que la responsabilidad de la autoridad local se enfoca en el mantenimiento de las vías públicas. Hay 56 empresas operadoras, algunas vinculadas bajo la misma propiedad, mientras que otras operan de manera independiente bajo la modalidad de “hombre-camión”.

**Figura 15.** La movilidad en Mérida: reparto modal.



Aunque este análisis se enfoca en el municipio de Mérida, es importante mencionar que el proceso de digitalización abarca otros municipios del estado de Yucatán, como: Conkal,

Kanasín, Umán y Ucú. Mérida es un caso de éxito en la implantación de iniciativas de digitalización, que se busca replicar en el futuro en otras ciudades del estado. La digitalización del transporte ha pasado por varias etapas:

- Implementación y transición: el Instituto de Movilidad y Desarrollo Urbano Territorial (IMDUT), respaldado por el Gobierno Estatal de Yucatán, vinculó la renovación de concesiones y entrega de subsidios a la colaboración de los concesionarios en la digitalización del transporte. Esto incluyó la adopción de un modelo de pago por kilómetro, la instalación de dispositivos tecnológicos y la inauguración de un centro de control y monitoreo.
- Adaptación: tras la implementación del sistema, el Gobierno Estatal reorganizó la operación del transporte para supervisar su funcionamiento y liderar la planeación de rutas, enfrentando desafíos como la resistencia de los transportistas a nuevos horarios y las dificultades en el conteo de personas.
- Regulación y avance legal: la Ley de Movilidad y Seguridad Vial, promulgada en septiembre de 2022, fue crucial para regular los procesos digitales y establecer medidas como la compensación por kilómetro recorrido. El 28 de diciembre de 2023 se publicó la Ley de la Agencia de Transporte de Yucatán (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán, 2023)<sup>51</sup>.
- Evolución y expansión: se han tomado medidas para expandir la digitalización, incluyendo la introducción de tarifas dinámicas con descuentos por trasbordos y una transición gradual de rutas al sistema de pago electrónico Va-y-Ven.

<sup>51</sup> Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán (2023). Ley de la Agencia de Transporte de Yucatán. [https://www.yucatan.gob.mx/docs/diario\\_oficial/diarios/2023/2023-12-28\\_9.pdf](https://www.yucatan.gob.mx/docs/diario_oficial/diarios/2023/2023-12-28_9.pdf)

### Situación actual: avances en la digitalización del transporte

- El Plan Estatal de Desarrollo de Yucatán 2018-2024 cuenta con una estrategia de movilidad sostenible que incluye la mejora del transporte público mediante sistemas tecnológicos.
- El Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable 2019 creado por el Instituto Municipal de Planeación de Mérida (IMPLAN) establece un marco estratégico que impulsa la digitalización del transporte concesionado en Mérida, reconociendo la necesidad de optimizar y mejorar la calidad del servicio.
- Se dispone de un centro de control inaugurado en el año 2021.
- Existe un sistema de pago electrónico con las tarjetas Va-y-Ven implementado por el IMDUT.
- Al tiempo de realización de este reporte, todos los autobuses y microbuses urbanos de la Zona Metropolitana y parte del parque vehicular de las rutas de combi (Van) cuentan con AVL. La autoridad tiene planeado renovar el parque vehicular de casi toda la flota de autobuses (de 8 a 12 metros), así como también parte de Vans. Además, se renovará todo el AVL y el sistema de pago electrónico para pasar a pago



Foto: IMDUT



Foto: IMDUT

abierto. También se incorporarán algunos sistemas de asistencia a bordo a través de un interfaz de tipo tableta.

- El Ayuntamiento ha impulsado el programa de bicicletas compartidas “En Bici”<sup>52</sup>.
- La iniciativa privada ha creado algunas aplicaciones para taxis como “Mi Taxi”.
- La aplicación móvil Va-y-Ven permite el seguimiento en tiempo real de algunas rutas.

### Retos principales

- Desarrollo, maduración y estructuración tanto del equipo como de las funciones de la recién creada Agencia de Transporte de Yucatán (ATY).
- Las combis y microbuses no están actualmente integrados en el plan de digitalización, aunque se está considerando la inclusión de autobuses de menor capacidad en rutas específicas para el 2024 con tecnología de motorización eléctrica.
- Desarrollo de estrategias para integrar las rutas interurbanas a través de centros de transferencia multimodal (CETRAM).
- Necesidad de modernizar la infraestructura (p.ej., implementación de paraderos fijos que indiquen parada de las unidades de transporte público).

52 <https://www.merida.gob.mx/movilidad/en-bici.php>

### 4.3.4 La digitalización del transporte público en Toluca

#### La movilidad en Toluca

En el municipio de Toluca se concentran 910,608 habitantes (el 5.36% de la población estatal) en una extensión territorial de 452.4 km<sup>2</sup>. El municipio cuenta con una autoridad para gestionar el servicio de transporte público a nivel de secretaría estatal, la Secretaría de Movilidad, donde opera la subsecretaría de Telecomunicaciones. En el momento de preparar el presente informe, no se ha encontrado información detallada sobre el reparto modal en la ciudad. En el municipio operan alrededor de 22 rutas de transporte público, con más de 45 mil vehículos, de los cuales más del 70% son vagonetas o combis. Los esfuerzos de digitalización se centran en sistemas como el Mexibús (sistema BRT con cuatro líneas en operación) y el Mexicable (con una línea en operación), que operan bajo esquemas de colaboración público-privada: por medio del Sistema de Transporte Masivo y Teleférico del Estado de México (SITRAMyTEM), las empresas operadoras brindan el servicio (en el caso del Mexibús, con un pago por kilómetro).

#### Situación actual: avances en la digitalización del transporte

- Tanto Mexibús como Mexicable cuentan con un centro de control para realizar labores de monitoreo y generación de información.
- Las unidades cuentan con equipamiento de monitoreo, con receptores GPS y cámaras de seguridad. Con distintas interfaces de tecnologías, las cuatro líneas de BRT y la línea de cable cuentan con una tarjeta para el pago de la tarifa. En las estaciones existe equipamiento con torniquetes y máquinas de recaudo.

#### Retos principales

- La Secretaría de Movilidad del Estado de México se encarga de regular el transporte público y controlar las concesiones, pero ha mostrado poco énfasis en la planeación y el desarrollo tecnológico.
- Los esfuerzos de digitalización del transporte se han concentrado principalmente en sistemas como el Mexibús y el Mexicable; estas iniciativas de digitalización no se extienden al municipio de Toluca, donde la operación del transporte público es mayoritariamente rudimentaria, bajo el esquema "hombre-camión".
- Las prácticas en regulación, normatividad y soluciones tecnológicas para la planeación y operación del transporte son prácticamente inexistentes.



### 4.3.5 Evaluación comparativa de las ciudades analizadas

Teniendo en cuenta el marco legal y las tecnologías disponibles en cada ciudad, así

como el análisis presentado en las secciones anteriores, se presenta a continuación una evaluación comparativa de las cuatro ciudades empleando los indicadores definidos en la sección 3.3.

**Tabla 9.** Evaluación comparativa del nivel de digitalización de las ciudades analizadas.

Indicador global		León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
		6,83	7,97	2,79	1,86
		Avanzada	Consolidada	Intermedia	Inicial
1	Marco habilitante	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
1.1	Autoridad en transporte y movilidad	Dirección de Movilidad (municipal)	Dirección de Movilidad (estatal)	Dirección de Movilidad (estatal)	Dirección de Movilidad (estatal)
1.2	Ley de Movilidad	Existe	Existe	Existe	Existe
1.3	Objetivos específicos de digitalización en el marco regulatorio	Parcialmente abordados	Parcialmente abordados	Parcialmente abordados	Parcialmente abordados
1.4	Presupuesto para digitalización	No existe	Existe	No existe	No existe
1.5	Conectividad	Básica	Básica	Básica	Básica
1.6	Gestión integrada del transporte público	Implementación parcial	Implementación parcial	Implementación parcial	Implementación parcial
1.7	Protección de datos	Implementación completa	Implementación completa	Implementación completa	Implementación completa
<b>Valor del bloque 1</b>		<b>6,43</b>	<b>7,86</b>	<b>6,43</b>	<b>6,43</b>
2	Gobernanza digital	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
2.1	Área responsable de la información	Dirección de Movilidad	Dirección de Tecnologías	Planeación	Dirección de Registro Estatal
2.2	Área especializada y enfocada en el manejo de la información digital	Existe	Existe	Responsabilidad distribuida	Existe
2.3	Plataformas digitales	Implementación parcial	Implementación parcial	No existe	No existe
2.4	Plan de recuperación de desastre	Existe	Existe	Existe	No existe

2	Gobernanza digital	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
2.5	Intranet	Existe	Existe	Existe	Existe
<b>Valor del bloque 2</b>		<b>9,00</b>	<b>9,00</b>	<b>7,00</b>	<b>6,00</b>

3	Planeación informada	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
3.1	Sistemas de recopilación de información	Implementación completa	Implementación parcial	No existe	No existe
3.2	Análisis de la demanda	No existe	Sí existe	No existe	No existe
3.3	Software de modelación y simulación de transporte	No existe	Sí existe	No existe	No existe
3.4	Sistemas GIS	Existe	Existe	Existe	No existe
<b>Valor del bloque 3</b>		<b>5,00</b>	<b>3,75</b>	<b>2,50</b>	<b>0,00</b>

4	Gestión inteligente	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
4.1	Centro de control	Sí	Sí	No existe	No existe
4.2	SAE	Sí	Sí	No existe	No existe
4.3	Telemetría	Sí	Sí	No existe	No existe
4.4	Sistemas de ayuda a la conducción	No existe	Implementación parcial	No existe	No existe
4.5	Seguridad de la persona pasajera y protección frente al crimen	Implementación completa	Implementación completa	No existe	No existe
4.6	Sistemas de vehículos autónomos	No existe	No existe	No existe	No existe
4.7	Servicios emergentes de movilidad	No existe	Sí existe	No existe	No existe
<b>Valor del bloque 4</b>		<b>5,71</b>	<b>6,43</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

5	Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
5.1	Plataforma para consulta de información en tiempo real	No existe	Implementación parcial	No existe	No existe
5.2	App de movilidad de la ciudad	Existe	Existe	No existe	No existe

5	Confiabilidad, accesibilidad y usabilidad del servicio	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Estado de México
5.3	Acuerdos con aplicaciones comerciales	Existe	Implementación parcial	No existe	No existe
5.4	Equipamiento de información en vehículos	Implementación completa	Implementación completa	No existe	No existe
5.5	Equipamiento de información en estaciones e infraestructura	Implementación completa	Implementación completa	No existe	No existe
5.6	GTFS	Existe	Existe	Existe	No existe
5.7	Sistema digital de recaudo	Implementación completa	Implementación completa	No existe	No existe
5.8	Plataforma para planeación de viaje	Implementación parcial	Existe	No existe	No existe
5.9	Servicio de internet en estaciones	Implementación completa	Parcial	No existe	No existe
Valor del bloque 5		<b>8,33</b>	<b>8,33</b>	<b>1,11</b>	<b>0,00</b>



**5**

**HACIA UN SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO INTELIGENTE, ACCESIBLE, EFICIENTE Y MEDIOAMBIENTALMENTE SOSTENIBLE**

## 5.1 Visión

El futuro del transporte en México pasa necesariamente por **mejorar la eficiencia, la accesibilidad y la sostenibilidad medioambiental del sistema de transporte público, así como la experiencia de movilidad de las personas usuarias.**

Un componente clave de esta visión es la incorporación de soluciones digitales en la administración, la planeación, la operación y la interacción con las personas usuarias de los sistemas de transporte público. La digitalización:

- **aumentará la eficiencia de los procesos administrativos**, gracias a soluciones de gobierno digital tales como las herramientas de participación ciudadana, los sistemas de licitación electrónica y los portales de datos abiertos;
- **facilitará la tarea de diseñar servicios que respondan a las necesidades de movilidad de la población**, gracias a la posibilidad de conocer mejor dichas necesidades a través de nuevas fuentes de datos masivos de movilidad y la incorporación de herramientas avanzadas de modelación y planeación del transporte;
- **incrementará la eficiencia de las operaciones y reducirá su impacto ambiental**, gracias a la incorporación de sistemas de gestión de flotas, de nuevas tecnologías vehiculares más limpias, como autobuses eléctricos o híbridos, y de nuevos modos de transporte compartido que reducirán el uso del automóvil privado;
- **ayudará a desarrollar servicios de transporte público más accesibles para toda la ciudadanía**, guiados por los principios de inclusión y justicia social, mediante so-

luciones como las aplicaciones móviles para la compra de boletos, la provisión de información en tiempo real sobre los servicios y la integración de sistemas de pago electrónico.

## 5.2 Oportunidades

Las oportunidades para mejorar el sistema de transporte público en México a través de la digitalización pueden clasificarse en dos grandes categorías:

1. Oportunidades de optimizar los sistemas existentes, a través de iniciativas de un carácter incremental, con un enfoque de corto-mediano plazo, que construyan sobre la tecnología ya disponible.
2. Oportunidades de implantar estrategias integradas de alto impacto, que incorporen tecnologías disruptivas con un enfoque de mediano-largo plazo.

### 5.2.1 Optimización de los sistemas existentes

Aunque el proceso hacia la digitalización es costoso en relación a los presupuestos de las autoridades, la tecnología ofrece oportunidades para optimizar los servicios de transporte público a corto-mediano plazo, con un costo acotado, construyendo sobre tecnologías e iniciativas ya existentes en las ciudades. El objetivo es generar escenarios de oportunidad que permitan optimizar esfuerzos. Un ejemplo es el aprovechamiento de fuentes de datos ya disponibles para la medición de indicadores que permitan detectar problemas o ineficiencias y tomar mejores decisiones, bajo la premisa de que lo que no se mide, no se puede mejorar.

Para aprovechar estas oportunidades, se recomienda tener en cuenta los siguientes principios y directrices generales:

- **Plataformas comerciales y de fácil acceso.** Existe un área de oportunidad para homologar y estandarizar el servicio de transporte público bajo esquemas y prácticas validados internacionalmente, aprovechando soluciones comerciales y de fácil acceso que ya han sido ampliamente testados en diferentes ciudades.
- **Software abierto y gratuito.** Existen distintas herramientas software abiertas y gratuitas que resultan de gran ayuda en materia de planeación (por ejemplo, SIG de código abierto como QGIS), que permiten mejorar la capacidad de análisis para la toma de decisiones con una inversión muy limitada.
- **Sistemas de datos universales.** Un ejemplo es el estándar GTFS, tanto estático como en tiempo real, que permite sistematizar el intercambio de información relativa a trayectos y paradas predefinidos en los datos estáticos teniendo en cuenta las posiciones de los vehículos y las actualizaciones de los trayectos en tiempo real. La adopción del estándar GTFS es una iniciativa de fácil implementación, que facilita la tarea de informar a las personas usuarias sobre alertas de servicio, como retrasos o interrupciones, y permite que las personas que realizan labores de desarrollo, planeación e investigación y otros actores relevantes exploten la información del transporte público en beneficio de la ciudadanía.
- **Experiencias compartidas.** El intercambio de conocimiento y lecciones aprendidas con otras ciudades que están pasando o han pasado por procesos similares

permite optimizar recursos y costos, así como reducir el tiempo necesario para la puesta en marcha de nuevas soluciones tecnológicas.

## 5.2.2 Estrategias de alto impacto para la digitalización del transporte público

Las ciudades mexicanas, incluyendo León, Oaxaca, Mérida y Toluca, muestran progresos desiguales en la digitalización del transporte público. En el mediano y largo plazo, el desafío se encuentra en implementar estrategias que, con un costo asumible, generen un impacto significativo en la modernización del transporte público. Algunos de los principales elementos a tener en cuenta en el diseño de estas estrategias son los siguientes:

- **Tecnologías interoperables y abiertas.** Es importante avanzar hacia sistemas tecnológicos interoperables, es decir, que se puedan integrar fácil con otros sistemas, sin necesidad de adquirir licencias adicionales o realizar desarrollos tecnológicos a medida. La interoperabilidad de los sistemas se debe planear desde la concepción de los proyectos hasta la contratación de los mismos. Esto incluye promover el uso de software y sistemas abiertos que eviten la dependencia de proveedores específicos.
- **Herramientas avanzadas de planeación.** En un contexto en el que las necesidades de movilidad de la población varían de manera cada vez más dinámica, como consecuencia de la aceleración de los cambios tecnológicos y sociales, las ciudades deben dotarse de herramientas avanzadas para monitorear y anticipar la evolución de la demanda de transporte. Las nuevas fuentes de datos masivos para

el estudio de la movilidad, como los datos de telefonía celular y de los sistemas inteligentes de pago, así como las herramientas de modelación y simulación de transporte, desempeñan un papel fundamental para alcanzar este objetivo.

- **Centros de control centralizados.** Las estrategias de digitalización del transporte público deben incluir el establecimiento y desarrollo de centros de control en para monitorear y gestionar eficientemente el transporte público.
- **Sistemas de recaudo electrónico y tarjetas inteligentes.** Los sistemas de pago electrónico no sólo permiten agilizar el proceso de cobro y fomenta la intermodalidad (p.ej., mediante la promoción de tarjetas inteligentes que puedan utilizarse en diferentes modos de transporte), sino que también habilita la recopilación de datos de gran valor para planeación y la operación de los servicios.
- **Plataformas de datos abiertos.** Mejorar la disponibilidad y accesibilidad de la información del transporte público a través de plataformas de datos abiertos es esencial para fomentar la transparencia y la participación ciudadana.
- **Capacitación y desarrollo de competencias.** Invertir en la formación y capacitación del personal del sector del transporte público en áreas como el conocimiento de las tecnologías emergentes y la gestión de datos es necesario no sólo para la implementación eficaz de las estrategias de digitalización, sino también para retroalimentar y refinar dichas estrategias a partir de la experiencia práctica.
- **Colaboración público-privada.** La colaboración entre el sector público y el sec-

tor privado ayuda a financiar y desarrollar proyectos de digitalización. Las iniciativas de colaboración público-privada deben involucrar a las empresas operadoras privadas en el proceso de modernización a través de incentivos y regulaciones, así como prestar especial atención a la transferencia de conocimiento a los profesionales del sector público.

- **Gobernanza y marco legal.** Es necesario establecer un marco legal claro que promueva y regule la digitalización del transporte público, alineando los esfuerzos de digitalización con las políticas de movilidad y desarrollo urbano.

Las principales barreras para el diseño e implementación de estrategias integrales de digitalización incluyen las limitaciones presupuestarias, la falta de capacidad técnica y normativa, la dependencia de empresas operadoras privados y una infraestructura tecnológica deficiente.

En América Latina se han desarrollado prácticas de alto impacto y probada eficacia para superar algunas de estas barreras (CEPAL, 2021), Ejemplos relevantes son iniciativas de mapeo colaborativo como la llevada a cabo en Morelia<sup>53</sup> y el desarrollo de programas sociales que fomentan la colaboración entre las dependencias públicas con incidencia en el sector y el mundo académico, los cuales permiten generar herramientas de alto impacto a un costo relativamente bajo.

## 5.3 Riesgos

- **Desconocimiento de las necesidades de las personas usuarias.** La planeación

<sup>53</sup> <https://sigmorelia.gob.mx/>

de un sistema de transporte público inteligente debe basarse en el conocimiento de las necesidades de las personas usuarias. El desconocimiento de las mismas puede conducir a la implementación de sistemas que no son atractivos o útiles para la ciudadanía, comprometiendo la eficacia y la sostenibilidad financiera del sistema. Este problema resulta evidente en las ciudades objeto del presente estudio, en las que la planeación del transporte aún no incorpora plenamente las tecnologías digitales.

- **Falta de visión a largo plazo.** La falta de visión a largo plazo puede conducir a soluciones cortoplacistas, que no tienen en cuenta la evolución esperada de la tecnología y las necesidades futuras de las personas usuarias. Por ello, resulta fundamental dotarse de las herramientas necesarias para realizar periódicamente ejercicios de prospectiva que anticipen esta evolución y diseñar estrategias flexibles y con capacidad de crecimiento para acomodar la incertidumbre acerca del futuro.
- **Resistencia al cambio.** La implementación de nuevas tecnologías puede ser vista con escepticismo, tanto a nivel organizacional como individual. A menudo, la digitalización debe ir acompañada de una reestructuración significativa de los procesos existentes, lo que a su vez requiere en inversiones adicionales para formar a los profesionales y facilitar la adaptación a los nuevos procesos. En León, Guanajuato, un ejemplo de resistencia al cambio puede verse en la dificultad para implementar sistemas en tiempo real debido a la falta de obligación contractual de los transportistas para compartir información.
- **Limitaciones presupuestarias.** La adquisición de nuevas tecnologías, la actualización de los sistemas existentes y la formación del personal a menudo requieren una inversión significativa. Adicionalmente, puede haber costos ocultos asociados con la digitalización, como el mantenimiento de los sistemas y la gestión de los datos. Por ejemplo, en Toluca, Estado de México, la infraestructura digital se concentra principalmente en sistemas como Mexibús y Mexicable, dejando una gran parte del transporte público en un estado rudimentario debido a limitaciones presupuestarias.
- **Desacuerdos entre actores involucrados.** La planeación de un sistema de transporte público requiere de la participación de una variedad de actores, incluidos los gobiernos, las empresas de transporte público, las personas usuarias y la sociedad civil. La oposición de algunos de los actores involucrados puede retrasar o impedir la implementación de nuevos sistemas, por lo que resulta esencial que las estrategias de digitalización incorporen las necesidades y los puntos de vista de los diferentes actores y contemplen los incentivos adecuados para alinear sus intereses. En el caso de Mérida, aunque ha habido avances significativos en la digitalización del transporte público, se necesitan esfuerzos coordinados para la integración de diferentes modos de transporte.
- **Complejidad de las operaciones.** La operación de un sistema de transporte público digitalizado puede aumentar la dependencia de las tecnologías y la complejidad operativa: si los sistemas digitales fallan o no se cuenta con la capacidad para operarlos correctamente, el impacto sobre el funcionamiento del sis-

tema puede ser significativo. Por ejemplo, la gestión de los datos generados por los sistemas digitales puede requerir habilidades y conocimientos especializados. La importancia de tener en cuenta estos factores puede verse en Mérida, donde la implementación de sistemas digitales requiere habilidades y conocimientos especializados que actualmente están en desarrollo.

- Protección de la privacidad y seguridad de la información.** Con la creciente dependencia de los sistemas digitales, la protección de los datos personales y la prevención de los ciberataques se convierten en una preocupación importante. Por un lado, los sistemas de transporte público recopilan cada vez más datos sobre las personas usuarias, lo que plantea preocupaciones sobre cómo se recopilan, almacenan y utilizan estos datos: en Mérida, por ejemplo, la digitalización ha mejorado significativamente la recopilación de datos, pero también ha aumentado las preocupaciones de la ciudadanía sobre la privacidad y el uso adecuado de estos. Por otro lado, sin una política adecuada de seguridad, los sistemas de transporte corren el riesgo de ser vulnerables a ciberataques, lo que pue-

de comprometer el correcto funcionamiento del sistema y la seguridad de las personas.

- Experiencia de uso y exclusión digital.** La adopción de soluciones digitales para la interacción con las personas usuarias puede excluir a aquellos que no tienen acceso a la tecnología o que carecen de las habilidades necesarias para utilizarla, creando barreras para el acceso al transporte público y exacerbando las desigualdades existentes. Además, la digitalización puede cambiar la experiencia de uso de formas imprevistas: por ejemplo, la introducción de sistemas de pago digital puede hacer que sea más difícil pagar en efectivo, generando un problema para aquellas personas con mayor dependencia del efectivo, como las personas de mayor edad y las que no cuentan con sistema bancario. Es fundamental que la implementación de nuevas formas de interacción con las personas usuarias se lleve a cabo de forma inclusiva y tenga en cuenta las necesidades y capacidades de todos los grupos de población.





# 6

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 6.1 Conclusiones

### **El potencial de la transformación digital.**

La transformación digital se ha convertido en un pilar fundamental para facilitar la transición hacia un transporte público moderno, inclusivo y adaptado a las exigencias del siglo XXI. La digitalización representa una oportunidad única para mejorar la eficiencia, accesibilidad y sostenibilidad del transporte público en México.

### **La digitalización no es un fin en sí mismo.**

La tecnología no constituye un objetivo en sí mismo, sino un medio para contribuir a los objetivos de movilidad de las ciudades. Por ello, la incorporación de nuevas soluciones digitales debe ir siempre acompañada de un análisis costo-beneficio que tenga en cuenta la contribución de dichas tecnologías a un transporte público más atractivo, accesible, inclusivo, seguro, eficiente y limpio.

### **La diversidad en el nivel de digitalización.**

El grado de avance y madurez tecnológica en las ciudades mexicanas analizadas es muy heterogéneo. Mientras que León y Mérida muestran avances significativos en la implementación de tecnologías digitales, Oaxaca y Toluca aún se encuentran comparativamente rezagadas en el ordenamiento del transporte público, su gestión y digitalización. Así, por ejemplo, mientras Mérida cuenta ya con un centro de control, integración tarifaria, y autobuses eléctricos, en Oaxaca aún no existe una base de datos confiable de las concesiones de transporte en la ciudad. Cualquier iniciativa de digitalización debe tener en cuenta, por tanto, las capacidades actuales de las ciudades.

**La importancia del marco legal y la gobernanza digital.** La efectividad de la digitalización está intrínsecamente ligada a un marco

legal habilitante y una gobernanza digital robusta. Las leyes de movilidad y la existencia de regulaciones específicas son fundamentales para impulsar y estandarizar los esfuerzos de digitalización. Aunque la nueva LG-MSV ha supuesto un importante avance, la mayoría de leyes de las entidades federativas no se han armonizado, ni tampoco se ha impulsado normatividad relevante a los procesos de digitalización del transporte. Es imperativo desarrollar un marco legal y de gobernanza a nivel federal más robusto.

### **La importancia de la integración operativa y tarifaria de los distintos modos.**

Los beneficios de muchas de las tecnologías de digitalización analizadas se multiplican al aumentar el grado de integración del sistema del transporte público.

### **Las brechas en planeación y gestión inteligente.**

Pese a los avances en algunas áreas, como los sistemas de recaudo y monitoreo implantados en León y Mérida, en la mayoría de las ciudades analizadas persisten brechas significativas en la planeación informada y la gestión inteligente del transporte. La falta de análisis de datos de demanda y de sistemas de modelación y simulación del transporte son ejemplos claros de que, en México, las herramientas digitales para la planeación estratégica y la gestión operativa de los sistemas de transporte están subutilizadas.

### **La participación del sector privado y la sociedad civil.**

La colaboración con el sector privado y la sociedad civil es crucial para acelerar la digitalización del transporte público en el país. No obstante, el análisis llevado a cabo demuestra que estas asociaciones público-privadas no han sido siempre exitosas. Por ejemplo, hay importantes áreas de oportunidad para mejorar la relación entre los transportistas y los entes gestores del transporte aumentando la claridad en los mode-

los de concesión, los permisos y el acceso a la información gestionada por los operadores de transporte.

**Los desafíos de implementación y capacidad institucional.** Los gobiernos estatales enfrentan importantes desafíos relacionados con la implementación de tecnologías, la capacidad técnica y financiera, y la resistencia al cambio tanto de las empresas operadoras como de las personas usuarias. Las entrevistas realizadas para este estudio confirman que la capacidad institucional para enfrentarse a los retos de la digitalización del sector transporte es aún insuficiente. En algunas ciudades, además, existen temas aún más críticos pendientes de resolver, como la formalización del sector transporte y la renovación de flotas, que en algunos casos son muy obsoletas.

## 6.2 Recomendaciones

### Fortalecimiento del marco legal y regulatorio:

Los gobiernos estatales deben trabajar en fortalecer el marco legal y regulatorio, incluyendo leyes específicas que impulsen la digitalización y establezcan estándares claros y uniformes. Asimismo, el marco legal debe permitir a los entes públicos el libre acceso a la información de todos los operadores de transporte público.

### Integración del transporte público.

La planeación y operación integrada de los distintos servicios de transporte público facilita la compartición de información y la adopción de medidas de forma coordinada, amplificando los beneficios de

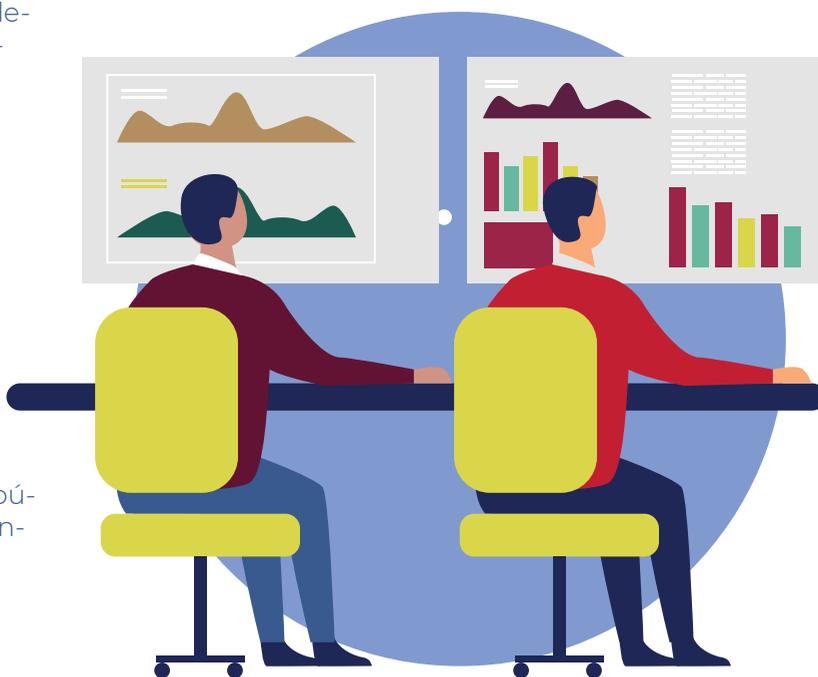
las tecnologías de digitalización. Avanzar hacia un sistema de transporte público integrado, por tanto, debería ser una prioridad para las ciudades mexicanas.

### Desarrollo de capacidades institucionales.

La inversión pública para el desarrollo de capacidades institucionales en la planeación, implementación y gestión de proyectos de digitalización es imperativa. Esto incluye la formación de personal especializado y la creación de unidades o departamentos dedicados a la transformación digital del transporte público.

### Fomento de la participación ciudadana y la colaboración sectorial.

Promover la participación ciudadana en la planeación y evaluación del transporte público ayuda a impulsar el uso de sistemas digitales para prestar una mejor atención a las personas usuarias. Además, fomenta la colaboración entre gobierno, sector privado y organizaciones no



gubernamentales para el desarrollo e implementación de tecnologías innovadoras.

**Apuesta por la planeación informada y la gestión inteligente.** Para lograr la implementación de sistemas avanzados para la recopilación y análisis de datos del transporte, que permitan una planeación informada y una gestión más eficiente del transporte público, se debe invertir desde el sector público y/o promover proyectos de colaboración público-privada. Las ciudades que han invertido en infraestructura digital (dispositivos GPS, sistemas de recaudo, centros de control, entre otros), como Mérida y Ciudad de México, han dado un salto significativo en la operación del transporte público que está teniendo un impacto transformador para todo el sector.

**Enfoque en la accesibilidad y experiencia de uso.** Se debe priorizar la accesibilidad y la experiencia de las personas usuarias, desarrollando interfaces amigables y plataformas de información en tiempo real. Para lograr una implementación efectiva de las herramientas de información a las personas usuarias, se debe tener en cuenta que ya existen esquemas (como son los GTFS), plataformas

(como *Google Transit*) y herramientas (app de la CDMX) probados en México y en el mundo que pueden replicarse en las ciudades piloto analizadas.

**Adopción de tecnologías emergentes y soluciones SaaS.** Incentivar la adopción de tecnologías emergentes y soluciones SaaS que permitan una mayor flexibilidad puede reducir los costos de implementación. Existen ya herramientas software ampliamente probadas que facilitan la digitalización del transporte, desde la planeación hasta la operación y el monitoreo. Si bien invertir en nuevos desarrollos puede ser atractivo, el empleo de soluciones SaaS y de servicios de almacenamiento y computación en la nube puede ahorrar mucho tiempo y reducir sensiblemente los costos.

**Estrategias de financiamiento y modelos de negocio sostenibles.** Para acelerar la transformación digital del transporte público, es necesario desarrollar estrategias de financiamiento innovadoras y modelos de negocio sostenibles que permitan la implementación y mantenimiento a largo plazo de sistemas tecnológicos avanzados.

Figura 16. Recomendaciones.



### FORTALECIMIENTO DEL MARCO LEGAL Y REGULATORIO

Los gobiernos estatales deben trabajar en fortalecer el marco legal y regulatorio, incluyendo leyes específicas que impulsen la digitalización y establezcan estándares claros y uniformes.



### DESARROLLO DE CAPACIDADES INSTITUCIONALES

La inversión pública para el desarrollo de capacidades institucionales en la planeación, implementación y gestión de proyectos de digitalización es imperativa.



### APUESTA POR LA PLANEACIÓN INFORMADA

Invertir desde el sector público y/o promover la colaboración público-privada.



### FOMENTO DE LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA Y LA COLABORACIÓN SECTORIAL

Promover la participación ciudadana en la planeación y evaluación del transporte público ayuda a impulsar el uso de sistemas digitales para prestar una mejor atención a las personas usuarias.



### ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES

Incentivar la adopción de tecnologías emergentes y soluciones SaaS que permitan una mayor flexibilidad puede reducir los costos de implementación.



### ESTRATEGIAS DE FINANCIAMIENTO

Desarrollar estrategias de financiamiento innovadoras y modelos de negocio sostenibles que permitan la implementación de sistemas tecnológicos avanzados.



### INTEGRACIÓN

Es necesario avanzar hacia la integración física y tarifaria de los distintos servicios de transporte público.



### ENFOQUE EN LA ACCESIBILIDAD

Desarrollar interfaces amigables y plataformas de información en tiempo real.

# BIBLIOGRAFÍA

**Ayuntamiento de León (2021).** Programa de Movilidad del Municipio de León, Guanajuato 2021 - 2024. [https://leon.gob.mx/adminayuntamiento/archivos\\_gaceta/anexo-354-1313397251-Programa\\_de\\_Movilidad.pdf](https://leon.gob.mx/adminayuntamiento/archivos_gaceta/anexo-354-1313397251-Programa_de_Movilidad.pdf)

**Calatayud, A., Katz, R., & Riobó, A. (2022).** Impulsando la transformación digital del transporte en América Latina y el Caribe. <https://publications.iadb.org/es/impulsando-la-transformacion-digital-del-transporte-en-america-latina-y-el-caribe>

**Castillo, H., & Pitfield, D. E. (2010).** ELAS-TIC—A methodological framework for identifying and selecting sustainable transport indicators. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(4), 179-188. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920909001102>

**Céntrico (2020).** Radiografía de las Leyes de Movilidad en México. <https://centrico.mx/docs/radiografia.pdf>

**Congreso Del Estado de Yucatán (2020).** Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Yucatán. <https://isla.merida.gob.mx/serviciosinternet/normatividad/files/Leyes%20Estatales/MOV.SEG.VIAL-20220927-043823.pdf>

**CEPAL (2021).** Tecnologías digitales para un nuevo futuro. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46816-tecnologias-digitales-un-nuevo-futuro>

**Chen, Y., & Silva, E. A. (2021).** Smart transport: A comparative analysis using the most used indicators in the literature juxtaposed with interventions in English metropolitan areas. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 10, 100371. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198221000786>

**Cheung, F. (2006).** Evaluation and Cost-Benefit Analysis: Public Transport Smartcard in the Netherlands. In: *Proceedings of the 13th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems (ITS) and Services*, London, United Kingdom, 8-12 October 2006, 13 p.

**Diario Oficial de la Ciudad de México (2014).** Ley de Movilidad de la ciudad de México. <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/6299c5bdd0df4f6da6e540ab8613d2682b7d738b.pdf>

**Diario Oficial de la Federación (2016).** Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. [gob.mx](https://www.gob.mx).

**Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán (2023).** Ley de la Agencia de Transporte de Yucatán. [https://www.yucatan.gob.mx/docs/diario\\_oficial/diarios/2023/2023-12-28\\_9.pdf](https://www.yucatan.gob.mx/docs/diario_oficial/diarios/2023/2023-12-28_9.pdf)

**Debnath, A. K., Chin, H. C., Haque, M. M., & Yuen, B. (2014).** A methodological framework for benchmarking smart transport cities. *Cities*, 37, 47-56. [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgahotdu/LGAHOTDU\\_orig\\_28nov16.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgahotdu/LGAHOTDU_orig_28nov16.pdf)

**Egli, A., Nygren, E. (2018).** The Future of Swiss Railway Dispatching. *Deep Learning and Simulation on DGX-1*

**El Financiero (2023).** Digitalizan transporte en Mérida. <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/de-jefes/2023/04/17/digitalizan-transporte-en-merida/>

**El Sol de Morelia (2023).** Digitalizan transporte público de Zitácuaro con app. <https://www.elsoldemorelia.com.mx/local/municipios/digitalizan-transporte-publico-de-zitacuaro-con-app-10117213.html>

**EuroFound (2020).** *Telework and ICT-based mobile work: Flexible working in the digital age | European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions* <https://www.eurofound.europa.eu/en/publications/2020/telework-and-ict-based-mobile-work-flexible-working-digital-age>

**European Commission (2019).** *Final report of the High-Level Expert Group on the Impact of the Digital Transformation on EU Labour Markets. Shaping Europe's Digital Future.* <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/final-report-high-level-expert-group-impact-digital-transformation-eu-labour-markets>

**Greater London Authority (2018).** *Smarter London Together.* [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/smarter\\_london\\_together\\_v1.66\\_-\\_published.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/smarter_london_together_v1.66_-_published.pdf)

**Inac, H., & Oztemel, E. (2021).** *An assessment framework for the transformation of mobility 4.0 in smart cities.* *Systems*, 10(1), 1. <https://www.mdpi.com/2079-8954/10/1/1>

**Indigo (2021).** *Supervisa Vila Dosal Centro de Control y Monitoreo del sistema de transporte público "Va y ven" Reporte Indigo.* <https://www.reporteindigo.com/reporte/supervisa-vila-dosal-centro-de-control-y-monitoreo-del-sistema-de-transporte-publico-va-y-ven/>

**INEGI (2020).** *Censo de Población y Vivienda 2020.* <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#:~:text=El%20Censo%20de%20Poblaci%C3%B3n%20y%20Vivienda%202020%20%28Censo,sobre%20sus%20principales%20caracter%C3%ADsticas%20demogr%C3%A1ficas%20socioecon%C3%B3micas%20y%20culturales.>

**ITDP (2022).** *MoveUp. ideamos.* [https://ideamos.mx/wp-content/uploads/2022/12/MOVEUP\\_ReporteTecnico\\_Programaldeamos\\_06.12.2022](https://ideamos.mx/wp-content/uploads/2022/12/MOVEUP_ReporteTecnico_Programaldeamos_06.12.2022)

**Metrobús (2021).** *Presenta metrobús modernización de la línea 6 con renovación de imagen y pruebas operativas de la primera unidad eléctrica.* Metrobús. <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/MB-17082023>

**Metrobús (2023).** *Celebra jefe de Gobierno 18 años de Metrobús con puesta en marcha de su nuevo centro de control.* Metrobús. <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/celebra-jefe-de-gobierno-18-anos-de-metrobus-con-puesta-en-marcha-de-su-nuevo-centro-de-control>

**Nommon (2024).** *Monitorización de la demanda de viajes en Bogotá y Buenos Aires durante la pandemia.* <https://www.nommon.es/es/casos-de-estudio/monitoring-travel-demand-bogota-buenos-aires-world-bank-transit-insights/>

**Pasajero7 (2016).** *Los centros de monitoreo del transporte.* <https://www.pasajero7.com/los-centros-monitoreo-del-transporte/>

**Pinna, F., Masala, F., & Garau, C. (2017).** *Urban policies and mobility trends in Italian smart cities.* *Sustainability*, 9(4), 494. <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/494>

**Rudmark, D., Lindman, J., Tryti, A., & Dammen, B. (2023).** *Beyond Procurement: How Entur Navigated the Open Source Journey to Advance Public Transport.* *IEEE Software*, 40(4), 62-70

**SEDATU (2022).** *Instala Sedatu el Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial.* <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/instala-sedatu-el-sistema-nacional-de-movilidad-y-seguridad-vial>

**Sistema Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (2023).** *Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial.* [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5704444&fecha=10/10/2023#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5704444&fecha=10/10/2023#gsc.tab=0)

**SEMARNAT (2022).** Contribución determinada a nivel nacional. [https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico\\_NDC\\_UNFCCC\\_update2022\\_FINAL.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico_NDC_UNFCCC_update2022_FINAL.pdf)

**Sonda (2023).** SONDA impulsa la transformación digital de Metrobús en CDMX. <https://www.sonda.com/detalle-noticia/2023/07/26/sonda-impulsa-la-transformacion-digital-de-metrobus-en-cdmx/>

**UITP (2019).** The benefits of full metro automation. [https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/04/Knowledge-Brief-InfrastructureV7\\_web.pdf](https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/04/Knowledge-Brief-InfrastructureV7_web.pdf)

**UITP (2020).** Digital Transformation and Social Dialogue in Urban Public Transport in Europe. <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/10/Final-report-Digital-transformation-and-social-dialogue-in-urban-public-transport-EN.pdf>

**Vial, G. (2021).** Understanding digital transformation. In Routledge eBooks (pp. 13–66). <https://doi.org/10.4324/9781003008637-4>

**Voss, E., & Vitols, K. (2020).** Digital Transformation and Social Dialogue in Urban Public Transport in Europe. Study commissioned by the European Transport Workers' Federation (ETF) and the International Association of Public Transport (UITP). Berlin. EVA-Europäische Akademie für umweltorientierten Verkehr gGmbH. <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/10/Final-report-Digital-transformation-and-social-dialogue-in-urban-public-transport-EN.pdf>

**Welde, M. (2012).** Are Smart Card Ticketing Systems Profitable? Evidence from the City of Trondheim. *Journal of Public Transportation*, 15 (1): 133-148. <https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=jpt>

**World Bank (2024a).** The “new normal” of personal and urban freight mobility in Bogotá and Buenos Aires. *Worldbank blogs*. <https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/new-normal-personal-and-urban-freight-mobility-bogota-and-buenos-aires>

**World Bank (2024b).** Utilización, transparencia y reutilización – una historia sobre el poder transformador de los datos abiertos. *Banco Mundial Blogs*. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/utilizaci-n-transparencia-y-reutilizaci-n-una-historia-sobre-el-poder-transformador-de-los-datos>

**World Maritime University (2019).** Transport 2040: Automation, Technology, Employment - the Future of work. <https://doi.org/10.21677/itf.20190104>

**WRI (n.d.)** PROTRAM: Programa de apoyo federal al transporte masivo. <https://es.wri.org/proyectos/protram-programa-de-apoyo-federal-al-transporte-masivo>

**WRI (2023).** Boletín de prensa: Destacan logros en seguridad vial y movilidad sustentable del programa Vamos Primero en Colima. <https://es.wri.org/noticias/boletin-de-prensa-destacan-logros-en-seguridad-vial-y-movilidad-sustentable-del-programa>

**Wright, T. (2018).** The Impact Of The Future Of Work For Women In Public Transport. <https://www.itfglobal.org/sites/default/files/node/resources/files/Future%20of%20Work%20report%20English.pdf>

# ANEXO I. TECNOLOGÍAS DE DIGITALIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO DISPONIBLES EN LEÓN, OAXACA, MÉRIDA Y TOLUCA

A continuación se presentan, en forma de tabla resumen, las tecnologías de digitalización del transporte actualmente disponibles en cada ciudad, de acuerdo a la clasificación establecida en la sección 2.2.

**Tabla 10.** Tecnologías de digitalización de transporte público disponibles en cada ciudad analizada

Tecnologías	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Edomex
<b>Soluciones digitales para la administración del transporte: gobierno digital</b>				
<b>Comunicación digital y participación ciudadana</b>				
Plataformas web de participación	No	No	No	No
Redes sociales	Sí	Sí	Sí	Sí
Aplicaciones móviles	Sí	Sí	Sí	No
<b>Licitación electrónica</b>				
Plataformas de licitación electrónica	No	No	No	No
Sistemas de gestión de documentos y contratos en línea	Sí	Sí	Sí	No
<b>Portales de datos abiertos</b>				
Plataformas de datos abiertos	No	Sí	Sí	No
Estándares de datos abiertos para el transporte público.	No	Sí	No	No
Herramientas de visualización de datos	No	No	No	No
<b>Soluciones digitales para la planeación del transporte</b>				
<b>Análisis de datos masivos para el estudio de la demanda</b>				
Análisis de datos geolocalizados procedentes de transacciones electrónicas	No	Sí	No	No

Tecnologías	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Edomex
Análisis de datos procedentes de sistemas inteligentes de pago en el transporte público colectivo	No	No	No	No
Datos geolocalizados procedentes de otros servicios de transporte	Sí	Sí	Sí	No
Datos geolocalizados procedentes de otros servicios relacionados con la movilidad	Sí	Sí	No	No
<b>Herramientas para la modelación y simulación del transporte</b>				
Softwares de programación y optimización de sistemas	Sí	Sí	No	No
Softwares de simulación de transportes.	Sí	Sí	No	No
<b>Herramientas de visualización de datos</b>				
Sistemas de información geográfica	Sí	Sí	No	No
Business Intelligence	No	No	No	No
<b>Soluciones digitales para la operación del transporte público</b>				
<b>Herramientas de gestión de la operación</b>				
Sistemas de Ayuda a la Explotación (SAE/AVL)	Sí	Sí	Sí	No
Sistemas de scheduling & dispatching	Sí	Sí	No	No
<b>Tecnologías vehiculares</b>				
Sistemas de medición de ocupación de vehículo	Sí	Sí	Sí	Sí
Sistema de medición de emisiones	No	No	No	No
Servicios basados en vehículos autónomos	No	No	No	No
Monitoreo y mantenimiento de la flota	No	No	No	No
Sistemas de conducción segura y eficiente	No	No	No	No
<b>Seguridad de las personas usuarias</b>				
Videovigilancia	Sí	Sí	Sí	Sí
Botones de pánico	Sí	Sí	Sí	No
Aplicaciones de seguridad para personas usuarias	No	Sí	No	No
Iluminación e infraestructura mejoradas	No	No	No	No
<b>Seguridad vial</b>				
Sistemas de asistencia a la conducción	No	No	No	No
Capacitación y simulación	No	No	No	No
<b>Servicios emergentes de movilidad</b>				
Soluciones de transporte a la demanda	No	No	No	No
Tecnologías habilitadoras de multimodalidad	Sí	Sí	No	No
Agregadores MaaS (Mobility as a Service)	No	No	No	No

Tecnologías	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Edomex
<b>Soluciones digitales para las personas usuarias del transporte público</b>				
<b>Servicios de información para las personas usuarias</b>				
Páginas web	Sí	Sí	Sí	No
Aplicaciones móviles	Sí	Sí	Sí	No
Pantallas de información en tiempo real	No	Sí	No	No
Sistemas de información por voz	Sí	Sí	No	No
<b>Métodos de pago y validación</b>				
Validación mediante tarjeta inteligente de transporte (smart card)	Sí	Sí	Sí	No
Validación mediante pago con tarjeta de crédito o NFC	No	No	No	No
Pago online (apps, PayPal, pasarelas de pago)	No	No	No	No
Validación mediante ticket electrónico (QR, código)	No	No	No	No
Validación mediante detección biométrica	No	No	No	No
<b>Planeadores de viaje</b>				
Estático a partir de horarios, frecuencias y velocidades medias	Sí	Sí	Sí	No
Dinámico a partir de información en tiempo real (actualizaciones de las expediciones, tráfico, vehículos disponibles, etc.)	No	No	No	No
De ruta entre estaciones para una red de un único servicio de transporte público	No	No	No	No
Para varios servicios de transporte público, dado un origen y un destino	Sí	Sí	No	No
De viaje integral, tanto transporte público como transporte privado, optimización de rutas	No	No	No	No
<b>Conectividad en sistemas de transporte</b>				
WI-FI	Sí	Sí	Sí	No
Carga de dispositivos	Sí	Sí	No	No
Entretenimiento a bordo	No	No	No	No
Conectividad para dispositivos personales	No	Sí	No	No
Servicios de comercio electrónico a bordo	No	No	No	No

La siguiente tabla resume el nivel de adopción de estas tecnologías en las cuatro ciudades.

Tecnologías	León, Guanajuato	Mérida, Yucatán	Oaxaca, Oaxaca	Toluca, Edomex
Soluciones digitales para la administración del transporte: gobierno digital	Penetración Media	Penetración Media	Penetración Media	Penetración Media
Soluciones digitales para la planeación del transporte público	Penetración Media	Penetración Alta	Penetración Baja	Penetración Baja
Soluciones digitales para la operación del transporte público	Penetración Alta	Penetración Alta	Penetración Media	Penetración Baja
Soluciones digitales para las personas usuarias del transporte público	Penetración Alta	Penetración Alta	Penetración Baja	Penetración Baja

	Nula Penetración
	Penetración Baja
	Penetración Media
	Penetración Alta

# ANEXO II. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS TECNOLOGÍAS DE DIGITALIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

## II.1 Soluciones para la administración del transporte: gobierno digital

### II.1.1 Comunicación digital y participación ciudadana

#### Descripción y objetivos

En el contexto de la administración del transporte, la comunicación digital y la participación ciudadana se refieren a la **utilización de plataformas web, redes sociales y aplicaciones móviles para involucrar a la ciudadanía en la planeación, el monitoreo, la gestión y la toma de decisiones relacionadas con el transporte.** Los objetivos principales incluyen:

1. Aumentar la comunicación e interacción con las personas usuarias.
2. Aprovechar el intercambio de información para dar soluciones más eficientes a los problemas de transporte.

3. Hacer partícipe a la ciudadanía en la toma de decisiones, empoderando a la sociedad civil y aumentando la transparencia y la rendición de cuentas de la administración.

#### Principales tecnologías

##### ● Plataformas web de participación.

Se trata de espacios en la web donde la sociedad civil puede involucrarse activamente en la discusión de asuntos públicos y en los procesos de toma de decisiones. En estas plataformas la ciudadanía puede expresar opiniones, presentar propuestas, participar en encuestas y participar de charlas y debates sobre temas de interés general. La información recogida por estos espacios puede ser utilizada por los gobiernos para promover la transparencia en la toma de decisiones basadas en evidencias.

- ##### ● Redes sociales.
- Plataformas en línea como X (anteriormente Twitter), Facebook, LinkedIn, TikTok e Instagram permiten a las personas comunicarse, conectarse y compartir información ins-

tantáneamente. En el marco de la participación ciudadana, las redes sociales pueden utilizarse para difundir información sobre temas de interés público, facilitar la interacción y el debate entre la ciudadanía, y promover la colaboración y cocreación en proyectos comunitarios. Asimismo, las redes sociales sirven como canales de comunicación de eventos y noticias relevantes que sin estos medios pueden tener menos repercusión y llegada a la ciudadanía.

- **Aplicaciones móviles.** Las aplicaciones móviles son programas diseñados para dispositivos móviles que, entre otras funciones, permiten a la ciudadanía acceder a información sobre el transporte público, participar en encuestas de satisfacción e informar sobre problemas en la oferta de servicios de transporte. Este intercambio permite la retoolimentación en tiempo real y la mejora de los servicios que se proveen.

### Nivel de madurez de la tecnología

El nivel de madurez de estas tecnologías es alto.

- Los gobiernos han implementado numerosas plataformas y aplicaciones para interactuar e intercambiar información con la ciudadanía. Las infraestructuras y servicios de transporte son uno de los pilares fundamentales en el día a día de la ciudadanía, y se ha visto un progreso considerable en la comunicación digital para mejorar la experiencia de la movilidad.
- Por otro lado, aún hay mucho margen para la mejora. Los desafíos actuales y futuros del transporte y la movilidad en las ciudades (congestión y espacio limitado, contaminación y calidad del aire, cambio

climático, accesibilidad y equidad, seguridad, etc.) requieren un esfuerzo muy importante por parte de los gobiernos. Seguir construyendo y mejorando los canales de comunicación y participación ciudadana resulta indispensable para promover mensajes relacionados con el fomento de modos más sostenibles, la incorporación de tecnologías más avanzadas (p.ej., vehículos eléctricos, vehículos conectados y autónomos) y la necesidad de un enfoque centrado en las personas.

### Beneficios

- Mayor transparencia y confiabilidad de las políticas de transporte.
- Recopilación en tiempo real de información sobre incidencias en el transporte.
- Identificación temprana de necesidades y potenciales problemas percibidos por la ciudadanía.
- Decisiones de política pública basadas en evidencias.
- Decisiones y soluciones más eficaces y eficientes gracias a la colaboración y co-creación de soluciones entre el sector público y la ciudadanía.
- Mayor visibilidad y alcance de eventos, noticias y otras informaciones de interés general.

### Costos

Los costos corresponden principalmente a los recursos humanos (ya sean recursos propios de la administración o proporcionados

por terceros) para el desarrollo de las siguientes tareas:

- Desarrollo, mantenimiento y monitoreo de las plataformas, aplicaciones y redes sociales.
- Formación y capacitación de los recursos humanos que gestionan dichas tecnologías y la información que se recoge de las mismas
- Marketing, promoción y difusión de las plataformas.
- Medidas de seguridad para el tratamiento e integridad de los datos recogidos.
- Soporte técnico para resolver los problemas técnicos de las plataformas y responder a las consultas ciudadanas.

### Factores críticos de éxito

- **Gestión del cambio.** El éxito de las herramientas de comunicación y participación ciudadana puede verse amenazado por una cultura administrativa conservadora y con aversión al riesgo, así como por el desinterés de la ciudadanía en formar parte de estos procesos participativos. Es por ello que el despliegue de estas herramientas debe ir acompañado de los correspondientes procesos de gestión del cambio. Esto incluye, por ejemplo, dotarse de las estructuras y procedimientos organizativos adecuados para emplear la información recopilada a través de estas herramientas en los procesos de toma de decisiones.
- **Usabilidad, accesibilidad y equidad.** Las herramientas digitales de comunicación y participación ciudadana deben ser

accesibles para un sector lo más amplio posible de la ciudadanía, incluyendo los grupos de población con menores niveles de acceso a la tecnología (brecha digital).

- **Autenticidad y seguridad de la información recopilada.** Para garantizar la credibilidad de estas herramientas resulta fundamental asegurar que la información recogida es fiable, abordando los problemas relacionados con la verificación de la validez y representatividad de la información aportada por la ciudadanía. Asimismo, es también esencial garantizar la protección de datos personales y la anonimización de la información.
- **Capacidades digitales.** Es necesario disponer de un equipo humano con las capacidades necesarias para hacerse cargo tanto del funcionamiento de las tecnologías (sitios web, redes sociales, apps) como del tratamiento y explotación de la información recopilada.

## II.1.2 Licitación electrónica

### Descripción y objetivos

La licitación electrónica consiste en el **uso de plataformas digitales por parte de los gobiernos para la gestión de procesos de adquisición de bienes y servicios de transporte**. Esto incluye la publicación de anuncios de licitación, la presentación de ofertas por parte de los proveedores, las comunicaciones relativas al proceso de evaluación de las ofertas recibidas (por ejemplo, las actas de apertura de sobres), las comunicaciones respecto a las adjudicaciones y formalizaciones de los contratos, y la gestión de documentación para la ejecución y resolución del contrato. Los objetivos principales incluyen:

1. Aumentar la eficiencia y eficacia del gasto público y de los procedimientos de contratación.
2. Aumentar la calidad y transparencia en la interacción entre el gobierno y los proveedores de bienes y servicios.
3. Eliminar o simplificar procesos burocráticos.
4. Facilitar la competencia entre proveedores, contribuyendo así a la penetración en el mercado de más productos y servicios innovadores.

### Principales tecnologías

#### ● Plataformas de licitación electrónica.

Se trata de sistemas en línea que permiten a las autoridades públicas llevar a cabo procesos de licitación de manera digital. En el contexto de la digitalización del transporte, estas plataformas facilitan la búsqueda de posibles proveedores y los procesos de licitación y adjudicación de diversos proyectos. Estas herramientas permiten agilizar los procedimientos de presentación de ofertas, reducir la carga de trabajo manual y la burocracia, y promover la transparencia a través de la publicación de los documentos relacionados con la licitación para que estén disponibles públicamente.

- #### ● Sistemas de gestión de documentos y contratos en línea.
- Son sistemas utilizados para administrar y supervisar la documentación asociada a licitaciones y contratos. Estos sistemas permiten a las organizaciones almacenar, organizar y compartir documentos de manera eficiente, rápida y segura, lo que resulta particularmente relevante en proyectos de

infraestructuras de transporte, dada su complejidad y el elevado costo de posibles errores documentales.

### Nivel de madurez de la tecnología

El nivel de madurez de estas tecnologías es alto.

- El uso de Internet en el sector público se ha vuelto omnipresente y los servicios públicos se han digitalizado, siendo la licitación electrónica uno de ellos.
- Estos sistemas han sido ampliamente adoptados por gobiernos en todo el mundo desde hace mucho tiempo, acentuándose aún más su uso y mejorando las tecnologías y los procesos desde la pandemia por COVID-19.
- Muchas organizaciones han reemplazado el 100% de los procesos de licitación y los trámites asociados convencionales por herramientas digitales.

### Beneficios

- Mayor eficiencia en los procesos de adquisición de productos y servicios.
- Mayor competencia y transparencia en los procedimientos licitatorios y adjudicaciones.
- Mayor visibilidad de pequeñas y medianas empresas.
- Mayor acceso a nuevos proveedores y soluciones innovadoras.
- Reducción de costos de transacción y de procedimientos burocráticos.

## Costos

Los costos para la puesta en marcha de sistemas y procesos de licitación electrónica incluyen:

- Adquisición (compra o desarrollo) de las tecnologías software.
- Mantenimiento y actualización de dichos sistemas.
- Formación y capacitación de los recursos humanos que gestionan las plataformas y revisan la documentación de las empresas licitadoras.
- Medidas de seguridad y auditorías de los datos.

## Factores críticos de éxito

- **Seguridad y autenticidad de los datos y transacciones digitales.** Las tecnologías empleadas deben garantizar la seguridad y evitar cualquier riesgo de fraude electrónico.
- **Usabilidad y material de soporte a las personas usuarias.** Para vencer la resistencia al cambio y asegurar el buen funcionamiento de los procesos de licitación electrónica, es fundamental asegurar la facilidad de uso de las herramientas y proporcionar material (manuales de uso, tutoriales, etc.) que reduzca al máximo la curva de aprendizaje y evite errores, especialmente en los procesos de envío de ofertas.
- **Imposibilidad de afrontar este tipo de procesos por parte de potenciales proveedores.** Determinados proveedores pueden no estar preparados para proce-

sos de licitación 100% electrónicos (por ejemplo, debido a la elevada carga administrativa requerida en los primeros procesos de licitación). En estos casos, es importante capacitar a estas empresas y, cuando proceda, habilitar procesos alternativos de forma transitoria.

- **Capacidades digitales.** Es necesario disponer de un equipo humano con las capacidades necesarias para hacerse cargo tanto del funcionamiento de las tecnologías como de la ejecución y supervisión de los procesos de licitación, incluyendo la resolución de problemas y dudas por parte de los proveedores.

## 11.1.3 Portales de datos abiertos

### Descripción y objetivos

Los portales de datos abiertos son **plataformas en línea que permiten a la sociedad civil acceder a un conjunto diverso de datos en formato digital** sobre diversos temas, como el transporte. Algunos de los conjuntos de datos sobre las infraestructuras y los servicios de transporte que se publican habitualmente en portales de datos abiertos son mapas, información sobre rutas, horarios y frecuencias del transporte público (por ejemplo, en formato GTFS), datos de tráfico, etc. Los objetivos de los portales de datos abiertos incluyen:

1. Promover la transparencia gubernamental.
2. Facilitar la igualdad en el acceso y uso de los datos por parte de toda la ciudadanía.
3. Fomentar el conocimiento de la sociedad civil sobre el funcionamiento de las

infraestructuras y servicios de transporte y su involucración en las políticas de transporte.

4. Fomentar la innovación a través de la cooperación público-privada: por ejemplo, a partir de proyectos *open-source* colaborativos que utilizan los datos publicados por las administraciones públicas para mejorar la calidad de los servicios de transporte público (por ejemplo, desarrollo de apps móviles).

### Principales tecnologías

- **Plataformas de datos abiertos.** Las plataformas de datos abiertos son sistemas en línea que permiten a las autoridades públicas publicar conjuntos de datos relacionados con las infraestructuras y los servicios de transporte público de manera accesible para organizaciones no gubernamentales, universidades, estudiantes, desarrolladores y cualquier persona que quiera acceder a esta información. Estas plataformas ofrecen un espacio centralizado para el almacenamiento y la distribución de datos relevantes, como horarios y frecuencias de autobuses y trenes, información geoespacial, datos de tráfico, etc. Los portales de datos abiertos a menudo incluyen aplicaciones y plataformas que permiten explorar y comprender los datos de transporte público de manera visual. Estas herramientas pueden incluir gráficos interactivos, mapas y paneles de control. Entre otras aplicaciones, estas tecnologías permiten comprender mejor las condiciones de viaje y los servicios públicos que se prestan.
- **Estándares de datos abiertos para el transporte público.** Se trata de formatos

de datos predefinidos que estandarizan la publicación de información de transporte público (horarios del transporte y la información geográfica relacionada, como las redes). Estos estándares permiten que las agencias de transporte público proporcionen datos de manera coherente y comprensible que a su vez mejora la interoperabilidad y la utilidad de los mismos. El ejemplo posiblemente más relevante es el estándar GTFS (*General Transit Feed Specification*).

### Nivel de madurez de la tecnología

El nivel de madurez de estas tecnologías es medio-alto.

- En algunos países (*early-adopters*) el nivel de madurez es alto y los portales de datos abiertos son ampliamente utilizados a escala local, regional, nacional y continental (p.ej., la plataforma europea Tenders Electronic Daily (<https://ted.europa.eu/en/browse-by-place-of-performance>)).
- En muchos otros lugares, sin embargo, el uso de estas tecnologías es aún muy limitado. Esto se debe a diversas barreras internas y capacidades gubernamentales aún no desarrolladas, así como a barreras externas relacionadas con problemas de accesibilidad, conocimiento y resistencia al cambio por parte de la ciudadanía.

### Beneficios

- Aumento de la transparencia y la rendición de cuentas (*accountability*) por parte de las autoridades de transporte, lo que a su vez conduce a una mayor confianza en el gobierno (legitimidad de las políticas públicas).

- Mayor accesibilidad a la información de interés público.
- Controles externos de la calidad de los datos (validación).
- Mejora en la toma de decisiones y la evaluación de las políticas públicas relacionadas a los servicios de transporte.
- Fomento de la colaboración entre el gobierno y la sociedad civil en la resolución de problemas urbanos complejos y en la mejora de los servicios públicos.
- Estimulación de la innovación y de la mejora de procesos, productos y servicios de transporte público.

### Costos

Los costos para la puesta en marcha de portales de datos abiertos incluyen:

- Desarrollo y mantenimiento de los portales web.
- Inversión en la mejora de la calidad y la estructuración de los datos.
- Formación y capacitación de los recursos humanos que gestionan los portales
- Infraestructura de almacenamiento de datos.
- Medidas de seguridad de los datos.

### Factores críticos de éxito

- **Gestión del cambio.** La necesidad de reorganizar los sistemas y procedimientos internos para la estructuración y estandarización de los datos puede dificultar la publicación y el uso efectivo de los mismos. Es necesario superar distintas barreras, que incluyen la resistencia al cambio de la administración pública (p.ej., debido a preocupaciones sobre la privacidad y seguridad de los datos), la resistencia a la digitalización de procedimientos por parte de empresas que no ven el beneficio de estos nuevos sistemas, y la falta de confianza de la sociedad civil en los datos.
- **Calidad y actualización continua de los datos proporcionados.** Para garantizar la credibilidad de estas herramientas y fomentar su uso resulta fundamental asegurar que la información recogida es fiable y está permanentemente actualizada.
- **Políticas de privacidad y seguridad efectivas que resguarden la confidencialidad y la integridad de los datos.** Garantizar la protección de datos de carácter sensible es básico para generar confianza entre los distintos actores involucrados en la planeación y la operación del transporte público, de forma que aumente su disposición a contribuir mediante la compartición de datos.
- **Capacidades digitales.** Es necesario disponer de un equipo humano con las capacidades necesarias para hacerse cargo de la gestión de los datos.

## II.2 Soluciones digitales para la planeación del transporte

### II.2.1 Análisis de datos masivos para el estudio de la demanda

#### Descripción y objetivos

La planeación del transporte público **requiere información precisa, fiable y actualizada sobre los patrones de movilidad de la población**. Tradicionalmente, la principal fuente de datos para la caracterización de la demanda de transporte han sido las encuestas de movilidad (encuestas domiciliarias, encuestas a bordo del transporte público, etc.), las cuales, si bien proporcionan información muy valiosa, resultan caras y lentas de realizar, lo que limita el tamaño de las muestras recogidas y la frecuencia de actualización de la información. Las tecnologías de análisis de datos masivos (big data) permiten explorar los **datos generados por diferentes tipos de dispositivos móviles geolocalizados asociados a personas o vehículos** (teléfonos móviles, tarjetas inteligentes de transporte, dispositivos GPS embarcados) para producir distintos indicadores de demanda de transporte (matrices OD, distribución del número de viajes por persona, distribución de distancias de viaje, reparto modal, accesibilidad en distintos modos de transporte) de forma continua y a un costo sensiblemente inferior al de los métodos tradicionales. La información obtenida de estas nuevas fuentes de datos resulta de gran valor para:

1. Diagnosticar la situación actual de la movilidad, con el fin de identificar los principales problemas y las posibles soluciones.

2. Monitorear la evolución de la movilidad, identificando cambios en los comportamientos de la demanda y anticipando tendencias futuras.
3. Alimentar modelos de transporte que den soporte a la definición de nuevas políticas, servicios o infraestructuras.
4. Realizar una evaluación ex post de distintas acciones, derivando lecciones aprendidas.

#### Principales tecnologías

- Análisis de datos geolocalizados procedentes de transacciones electrónicas.** Se trata de datos que, si bien originalmente se recogen para prestar un servicio no relacionado con la movilidad, adecuadamente tratados permiten conocer la movilidad de la población con un nivel de detalle mucho mayor y un costo muy inferior a las encuestas tradicionales. El ejemplo más relevante son los **datos procedentes de las redes de telefonía móvil**, los cuales permiten obtener matrices OD de gran calidad de todos los viajes realizados en un área metropolitana (tanto en transporte público como en otros modos). Los datos de telefonía móvil proporcionan muestras muy grandes y bien distribuidas, y tienen una precisión espacial y temporal suficiente para caracterizar con suficiente nivel de detalle los orígenes y destinos finales de los viajes, lo que los hace especialmente útiles para el conocimiento de la movilidad global en el territorio. La principal limitación de estos datos es la dificultad para identificar el modo de transporte empleado en desplazamientos urbanos de corta distancia. Una potencial alternativa a esta fuente de datos son los datos procedentes de apli-

caciones móviles. Estos datos presentan la ventaja de proporcionar una precisión espacial superior a los datos de telefonía móvil. Sin embargo, a día de hoy, el menor tamaño muestral, los sesgos derivados del perfil de las personas que utilizan las apps y su menor granularidad temporal hacen que, en general, los datos procedentes de aplicaciones móviles no resulten adecuados para obtener matrices OD de calidad.

○ **Análisis de datos procedentes de sistemas inteligentes de pago en el transporte público colectivo.**

Estos datos contienen información sobre el día y la hora de acceso al sistema transporte público, así como la estación, parada y/o vehículo empleado para el desplazamiento. Especialmente interesantes son los datos procedentes de **tarjetas inteligentes de transporte público**. A partir de la adecuada explotación de estos datos es posible estimar la secuencia de etapas en transporte público realizadas por las personas usuarias, obteniendo información sobre matrices OD entre paradas/estaciones del sistema de transporte público, transbordos, tiempos de viaje, tiempos de espera y nivel de ocupación de los vehículos, entre otros muchos indicadores de demanda. Es importante señalar que, dado que solo se recoge información dentro del sistema de transporte público, estos datos no proporcionan información sobre el origen y destino final del viaje.

○ **Datos geolocalizados procedentes de otros servicios de transporte.**

Se incluyen aquí tanto servicios tradicionales, como el taxi, como distintas formas emergentes de movilidad, como el *ride-hailing*, los servicios de movilidad compartida o los servicios de transporte a la demanda. Estos datos permiten obtener informa-

ción sobre el número y la ubicación de los vehículos, así como sobre los desplazamientos realizados en estos sistemas (origen, destino, hora, ruta, frecuencia de uso, etc.), permitiendo caracterizar la demanda de distintos tipos de servicios que en los próximos años tendrán un peso creciente en la movilidad urbana.

○ **Datos geolocalizados procedentes de otros servicios relacionados con la movilidad, como navegadores de conducción y servicios de información de tráfico** (Waze, TomTom, Google Maps, etc.) o **planeadores de viajes y aplicaciones**

(MaaS (Moovit, Citymapper, etc.)). Estos datos resultan particularmente adecuados para obtener información sobre aspectos como los tiempos de viaje o las incidencias en la red de transporte. Si bien también se han empleado para la estimación de matrices OD, a día de hoy esta aplicación se enfrenta a las limitaciones derivadas del tamaño de la muestra y sus posibles sesgos. Es previsible que, en los próximos años, la generalización de los **vehículos conectados y autónomos** permita obtener datos de mayor calidad para la construcción de matrices OD de viajes en vehículo privado.

### Nivel de madurez de la tecnología

El nivel de madurez de estas tecnologías es variable:

- Las tecnologías de obtención de matrices OD a partir de datos de telefonía móvil y de datos de sistemas inteligentes de pago tienen un nivel de madurez alto. En países como Estados Unidos, Reino Unido o España, estas tecnologías se vienen empleando con éxito en la planeación del transporte desde hace más de 5

años, mientras que en otros mercados su adopción es más reciente.

- El uso de datos de navegadores de conducción y servicios de información de tráfico para la obtención de información sobre tiempos de viaje también es alto.
- Por último, la explotación de datos procedentes de servicios emergentes de movilidad, de aplicaciones MaaS y de vehículos conectados está en un estado más incipiente y tiene un nivel de madurez bajo, pero se espera que adquiera una importancia creciente en la próxima década.

### Beneficios

- Posibilidad de monitorear la movilidad de forma continua e identificar cambios en el comportamiento de viajes, lo que permite adaptar la oferta de servicios y las políticas de movilidad de forma más dinámica. Este aspecto resulta fundamental en un entorno en el que el cambio tecnológico hace que los patrones de movilidad sean cada vez más cambiantes.
- Posibilidad de actualizar con mayor frecuencia los modelos de transporte.
- Mejores decisiones de planeación del transporte público, gracias al acceso a información de mayor calidad.
- Importantes ahorros de costos con respecto a las metodologías tradicionales de recogida de datos.

### Costos

En el caso de las matrices OD obtenidas a partir de datos de telefonía celular, por motivos de protección de la privacidad y cumplimiento de la legislación de protección de datos, en general no es posible acceder a los datos desagregados. El modelo de adquisición más habitual consiste en adquirir las matrices OD de un proveedor especializado, ya sea directamente un proveedor de telefonía celular o una empresa especializada en analítica de datos de movilidad que trabaje en colaboración con el operador móvil. El costo de las matrices OD varía de unos países a otros en función de aspectos como las políticas de compartición de datos de los operadores móviles y el número de competidores presentes en el mercado, y habitualmente depende de factores como el número de días a analizar y el tamaño de la ciudad. En mercados maduros, como el Reino Unido o España, es posible encontrar proyectos desde 10,000-15,000 USD, en los que se proporciona una matriz OD de una ciudad de tamaño medio para un día laborable promedio, hasta proyectos más ambiciosos en los que se utiliza esta tecnología para monitorear continuamente la movilidad de forma diaria, que pueden alcanzar importes entre 100,000 y 200,000 USD anuales.

En el caso la obtención de matrices OD del sistema de transporte público a partir de datos de tarjetas inteligentes de transporte, la situación es diferente, puesto que en general las autoridades de transporte pueden acceder a los datos en crudo. Por ello, en el caso de esta tecnología el modelo más recomendable consiste en adquirir una herramienta software capaz de procesar los datos y generar de forma diaria los indicadores requeridos. En el mercado existen distintos proveedores de este tipo de software. El modelo de comercialización más habitual consiste en un proyecto

inicial de despliegue cuyo costo típicamente puede variar entre 25 000 y 50 000 USD, y una licencia mensual o anual de entre 1500 y 2500 USD mensuales.

### Factores críticos de éxito

- **Identificación y definición clara de la información necesaria.** Los datos no son un fin en sí mismo, sino un medio para la planeación y la gestión de la movilidad: la información a recolectar debe contribuir de manera efectiva a la consecución de los objetivos de la ciudad en materia de movilidad. Asimismo, es importante tener en cuenta que existen distintas áreas de gobierno que pueden beneficiarse de una mejor información de movilidad en sus procesos de toma de decisiones, por lo que se recomienda validar y enriquecer los requisitos identificados con los responsables de dichas áreas.
- **Integración y fusión de datos.** Los datos de telefonía celular, las tarjetas inteligentes de transporte público y las encuestas de movilidad proporcionan información muy relevante para el análisis de la movilidad, pero ninguna de estas fuentes aporta por sí misma una visión completa, siendo necesario implementar metodologías de fusión de datos. Por ejemplo, los datos de telefonía móvil aportan una información muy relevante sobre la movilidad total en ámbitos urbanos y metropolitanos, pero la calidad de la información en relación al reparto modal es limitada. Los datos procedentes de las encuestas y de los sistemas de pago en el transporte público permiten complementar los datos de telefonía móvil para refinar las estimaciones de reparto modal. Un factor clave para sacar el máximo partido de estas tecnologías es, por tanto, definir un enfoque
- integrado que permita explotar la complementariedad y las sinergias entre las distintas fuentes de datos para reconstruir la mejor fotografía posible de la movilidad con el mínimo costo.
- **Especificación detallada de los datos o el software requeridos.** Una vez determinada la combinación óptima de fuentes de datos a emplear, resulta fundamental especificar de forma exhaustiva la información o el software a adquirir. En el caso de la adquisición de datos, es importante especificar aspectos como el formato de los datos. En el caso de la adquisición de herramientas software, deben especificarse claramente aspectos como el formato de los datos de entrada o las necesidades de integración con otras herramientas.
- **Aseguramiento de la calidad y usabilidad de los datos.** La calidad de las soluciones de analítica de datos de movilidad puede variar mucho de unos proveedores a otros en función de la metodología y algoritmos empleados. Para asegurar la calidad de los datos, deben establecerse medidas tanto en el proceso de licitación (evaluación técnica exhaustiva de las metodologías de análisis, experiencias previas de validación, etc.) como durante la provisión de los servicios (p.ej., penalizaciones asociadas a un mal servicio como, por ejemplo, suministro de datos erróneos).
- **Cumplimiento de la legislación en materia de protección de datos.** En procesos de licitación, es importante requerir una justificación razonada por parte del proveedor de que el tratamiento que realiza de los datos y la información suministrada cumplen con la legislación de protección de datos.

- **Infraestructura tecnológica.** En el caso de adquirir herramientas software, conviene valorar si resulta más adecuado optar por un modelo de despliegue local o por una solución de tipo software-as-a-service (SaaS); en el primer caso, es importante asegurar que se dispone del hardware y el software necesarios para la operación del sistema.
- **Capacidades digitales.** La implantación de estas soluciones debe ir acompañada de un plan de formación al personal de la administración pública que asegure no solo las capacidades técnicas requeridas para el almacenamiento de los datos, sino el conocimiento necesario para su explotación.
- **Coordinación con el equipo de modelación de transporte.** Por último, dado que una de las aplicaciones principales de estos datos es la construcción y actualización de los modelos de transporte, resulta fundamental establecer mecanismos de capacitación del personal a cargo de dichos modelos para que puedan extraer el máximo valor de los datos.

## II.2.2 Herramientas para la modelación y simulación del transporte

### Descripción y objetivos

La complejidad de los sistemas de transporte hace que la evaluación de nuevas políticas y medidas requiera la utilización de herramientas de **modelación de transporte**. Los modelos son una representación simplificada de la realidad que permiten la exploración de escenarios futuros aún inexistentes. Los modelos de transporte pueden dividirse en

dos grandes grupos, de acuerdo al objetivo al que dan respuesta:

- **Planeación estratégica:** estos modelos se focalizan en modelar el comportamiento de la demanda en respuesta a la oferta de servicios y las políticas implementadas.
- **Planeación táctica:** el objetivo es definir los servicios, recursos y niveles de calidad ofrecidos.

### Principales tecnologías

- **Software de simulación de transportes.** Se trata de herramientas que integran información geolocalizada para la representación de la infraestructura y los servicios de transportes con modelos y algoritmos que permiten representar el comportamiento de la demanda de transporte y hacer proyecciones para escenarios futuros. A su vez, estas herramientas pueden clasificarse en tres grandes grupos:
  - **Herramientas de simulación macroscópica.** Son herramientas enfocadas en la planeación estratégica (p.ej., elaboración de planes de movilidad) que simulan flujos de movilidad de manera agregada. Algunos ejemplos relevantes son Vissum, TransCAD, EMME y CUBE.
  - **Herramientas de microsimulación.** Son herramientas dirigidas a la planeación operacional (p.ej., estudios de tráfico, operación en vía exclusiva de transporte público) que simulan el movimiento individual de cada vehículo. Algunos

ejemplos relevantes son Vissim, TransModeler, Aimsun y Paramics.

- **Herramientas de simulación mesoscópica.** Recientemente, algunas herramientas como Aimsun han incorporado la posibilidad de desarrollar modelos mesoscópicos, con un nivel de detalle intermedio entre la simulación macroscópica y microscópica.
- **Software de optimización de sistemas.** Son herramientas software que permiten la construcción de modelos matemáticos que buscan la mejor solución para un determinado problema (p.ej., minimizar los costos de operación) a partir de tres elementos: (1) una función objetivo, que relaciona las variables de decisión con el objetivo del problema a través de una función matemática; (2) las variables de decisión; y (3) las restricciones del problema. Se busca encontrar el conjunto de variables de decisión que maximizan o minimizan el valor de la función objetivo respetando las restricciones. Muy utilizadas en el ámbito de la logística, estas herramientas también se emplean en problemas de transporte público (p.ej., definición de las frecuencias óptimas del sistema) y sistemas de movilidad compartida (p.ej., dimensionamiento del número óptimo de vehículos). Algunos ejemplos de estas herramientas son Gurobi, GAMS y AIMMS. .

### Nivel de madurez de la tecnología

La modelación del transporte tiene su origen en los años 50 del pasado siglo, con el desarrollo del llamado modelo de 4 etapas. Inicialmente limitadas por las capacidades de computación disponibles en la época, fue a

finales de los años 70 cuando las tecnologías de modelación y simulación ganaron fuerza y empezaron a ser empleadas de forma generalizada. A día de hoy, el grado de madurez de las herramientas softwares para la planeación de transporte es alto, y su uso está muy consolidado en Estados Unidos y la mayor parte de Europa. En América Latina, el empleo de herramientas de modelación de transporte ha ido ganando espacio en los últimos años. Al mismo tiempo, tanto los modelos de transporte como las herramientas que permiten su implementación están actualmente en proceso de adaptación a las nuevas dinámicas urbanas y los servicios emergentes de movilidad, como la movilidad compartida.

### Beneficios

- Capacidad de planear de sistemas de transporte público complejos, analizando problemas que, de otra manera, serían de difícil resolución y permitiendo optimizar aspectos como la calidad del servicio de transporte público, los niveles de congestión y los tiempos de viaje, la sostenibilidad económico-financiera del sistema, la seguridad vial y el impacto medioambiental del transporte.
- Capacidad de investigar distintos escenarios futuros, permitiendo así el diseño de políticas y medidas más flexibles y resilientes frente a distintos escenarios de evolución de la demanda de transporte.

### Costos

Los costos de estas tecnologías son variables. Por un lado, existen herramientas de código abierto gratuitas (p.ej., R Statistic, MATSim). Por otro lado, el costo de las herramientas propietarias desarrolladas por empresas privadas

(p.ej., VISUM, Aimsun) varía de acuerdo con el tipo de herramienta, el modelo de despliegue (on-premise vs cloud), el número de licencias y la duración de la licencia, oscilando típicamente entre 20,000 y 100,000 USD anuales.

### Factores críticos de éxito

#### ● **Conocimiento de modelación de transporte.**

El empleo de software de simulación de transporte exige conocimientos avanzados de planeación y modelación de transporte, así como un buen entendimiento de la región de estudio y del comportamiento de la demanda. La interfaz de estas herramientas, normalmente amigable, puede dar una impresión errónea de fácil aplicación; sin embargo, si los modelos de transporte no son bien entendidos por las personas usuarias, pueden llevar a errores en los resultados o en la interpretación de los mismos, dando lugar a decisiones equivocadas.

#### ● **Conocimiento del software y/o de los lenguajes de programación empleados.**

Las herramientas para el desarrollo de modelos de transporte no demandan que las personas usuarias tengan conocimiento de lenguajes de programación (aunque en algunos casos esto puede resultar útil), pero sí resulta necesario disponer de personal especializado en las herramientas que se decida emplear, dado que cada una tiene sus propias interfaces. En el caso de las herramientas de optimización, exigen un alto grado de conocimiento del problema estudiado, de los tipos de modelos de optimización y, generalmente, del lenguaje de programación utilizado.

#### ● **Acceso a datos de la oferta y la demanda de transporte.**

La construcción de modelos de transporte requiere disponer de información detallada, fiable y actualizada tanto sobre la oferta (infraestructura vial, estacionamientos, infraestructura y servicios de transporte público, etc.) como sobre la demanda de transporte público (p.ej., matrices de viajes). Si bien el acceso a la información sobre la oferta ha mejorado notablemente en los últimos años gracias a la digitalización de mapas, horarios de los servicios de transporte público, etc., obtener información de demanda de calidad resulta un reto para muchas ciudades. Las tecnologías de análisis de datos masivos para el estudio de la demanda descritas en la sección 1.2.1 (p.ej., matrices OD obtenidas a partir de datos de operadores de telefonía celular) resultan particularmente interesantes superar esta limitación. La integración operativa y tarifaria entre distintos modos facilita la recogida de los datos de oferta y de validaciones, contribuyendo así a una mejor calidad de la información empleada en la planeación.

#### ● **Mantenimiento de los modelos y planeación continua.**

Dada la dinámica cambiante de los sistemas de transporte y los patrones de movilidad, la planeación del transporte público debe ocurrir de forma continua, lo que a su vez requiere una actualización periódica de los modelos de transporte. Sin embargo, la naturaleza de muchos proyectos, de duración acotada en el tiempo, a menudo dificulta esta tarea, debido a la falta de recursos para la actualización de los modelos y la formación de nuevas personas usuarias.

## II.2.3 Herramientas de visualización de datos

### Descripción y objetivos

Uno de los aspectos clave de la planeación de la movilidad es la necesidad de **compartir información con diferentes grupos de interés** (desde las propias administraciones públicas y los operadores de transporte hasta la ciudadanía) con el fin de **facilitar los procesos de toma de decisión**. Para ello, es necesario recurrir a herramientas que permitan presentar la información de forma visual, a través de imágenes, mapas, tablas y gráficos.

Estas herramientas tienen tres objetivos principales:

1. Recopilar y almacenar datos históricos.
2. Analizar y procesar datos para dar soporte a los procesos de toma de decisiones.
3. Comunicar de manera sencilla y accesible los resultados obtenidos.

### Principales tecnologías

#### ● Sistemas de información geográfica.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas que almacenan, procesan y representan información espacial referenciada geográficamente. Los SIG permiten organizar la información en diferentes capas temáticas, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla. En el caso del transporte, los SIG tienen diversas aplicaciones, desde el análisis de la red de transporte y el diseño de líneas de transporte público hasta la realización de estudios de accesibilidad. En

el mercado existen distintas herramientas que incluyen tanto software no libre desarrollado por empresas privadas (p.ej., ArcGIS, desarrollado por la empresa ESRI) como herramientas de software libre (p.ej., QGIS).

#### ● Herramientas de Business Intelligence.

Las herramientas de Business Intelligence (BI) permiten el análisis y la presentación de datos para dar soporte a los procesos de toma de decisiones. De forma general, las herramientas de BI tienen tres propósitos principales: (i) almacenar y gestionar datos; (ii) facilitar el análisis de los datos; y (iii) elaboración de informes y cuadros de mando con gráficos, tablas, etc. Las herramientas de BI han ganado importancia con la transformación digital y el auge del big data, permitiendo el análisis de grandes volúmenes de datos. Algunos ejemplos de estas herramientas son Google Data Studio, Microsoft PowerBI, Tableau, Oracle Analytics y Qlik. En el caso del transporte, las herramientas de BI permiten el procesamiento y la visualización de distintas estadísticas e indicadores clave de rendimiento (KPIs, por sus siglas en inglés), facilitando el diagnóstico del estado del sistema, el análisis de tendencias y la comparación entre distintos escenarios.

### Nivel de madurez de la tecnología

Tanto los SIG como las herramientas de BI tienen un grado de madurez alto, y su uso en el sector del transporte está muy extendido

- Aunque la cartografía existe desde la antigüedad, los SIG surgieron en los años 60 del pasado siglo junto con las primeras computadoras. El primer SIG fue comercializado por la empresa ESRI a principios de los años 80. Desde entonces, su uso

se ha extendido rápidamente en numerosos campos (p.ej., planeación urbana, hidrografía, estudios medioambientales, movilidad).

- Las herramientas de BI surgieron también en los años 60, si bien su uso se generalizó a partir de los años 90 con el desarrollo de nuevas tecnologías de procesamiento de datos.

Las herramientas de visualización de datos están en constante evolución en lo relativo a la velocidad de procesamiento y al volumen de datos procesados. Además, el desarrollo de nuevas metodologías de análisis de datos exige que las herramientas incorporen constantemente a sus funcionalidades nuevas formas de tratamiento de datos.

### Beneficios

- Identificación de patrones y análisis de problemas, riesgos y oportunidades relacionados con el sistema de transporte público: por ejemplo, detección de zonas con baja accesibilidad en transporte público, en las que resulta necesario reforzar el servicio.
- Posibilidad de comunicar informaciones, proyectos y resultados complejos en un lenguaje gráfico accesible, facilitando así la comunicación entre los equipos técnicos y los distintos actores involucrados en la planeación del transporte público.

### Costos

Los costos de estas tecnologías son variables. Existen SIG y herramientas de BI de software libre, disponibles de forma gratuita, con capacidades que cubren las necesidades de

muchas autoridades de transporte. En cuanto a las herramientas comerciales, los costos dependen del tipo de herramienta, el modelo de despliegue (*on-premise vs cloud*), el número de licencias y la duración de la licencia, y habitualmente están en el entorno de unos miles o decenas de miles de USD anuales.

### Factores críticos de éxito

- **Recopilación y gestión de datos.** Para que la inversión en estas tecnologías tenga sentido, es condición necesaria la puesta en marcha de procesos y procedimientos para la recogida y la gestión de los datos de los que se alimentan, asegurando el acceso a datos actualizados y de calidad.
- **Estandarización e integración de la información.** El procesamiento de los datos exige la integración de diferentes fuentes de datos recopiladas por diferentes actores. La estandarización de los procesos de recogida de datos permite aumentar la calidad de la información y disminuir el tiempo de procesamiento (p.ej., reducción del esfuerzo dedicado a la limpieza y depuración de los datos), permitiendo la entrega rápida y eficiente de resultados.
- **Capacidades digitales.** El empleo de herramientas de visualización de datos requiere disponer de personal con
- **Conocimientos en procesamiento de datos.** El empleo de herramientas de visualización de datos requiere disponer de personal con conocimientos en el área de procesamiento de datos ya que, de lo contrario, existe el riesgo de producir resultados erróneos o de baja calidad. En particular, el empleo de SIG requiere co-

nocimientos de geografía, cartografía, topografía, y análisis espacial, mientras que para el empleo de herramientas de BI es necesario tener conocimientos de analítica de estadística y analítica de datos.

- Conocimiento sobre la herramienta empleada.** Si bien los SIG y las herramientas de BI tienen, en general, menor complejidad que las herramientas de modelación y simulación de transporte, es importante que las personas usuarias conozcan la herramienta empleada, así como sus capacidades y limitaciones.
- Mantenimiento de la solución.** Debido a la necesidad de constante evolución de las herramientas, es importante que existan procesos para la actualización del software a las versiones más recientes.

## 11.3 Soluciones digitales para la operación del transporte

### 11.3.1 Herramientas de gestión de la operación

#### Descripción y objetivos

Las herramientas de gestión de la operación son los medios con los que cuenta el operador de transporte público para asegurar la disponibilidad en tiempo y forma de los recursos, materiales y humanos, necesarios para la correcta operación del servicio planeado.

Los objetivos cubiertos por estas herramientas son dos, de acuerdo a la diferente naturaleza de los dos tipos de recursos involucrados

en la operación del transporte público: los vehículos y el personal de conducción.

- 1. Asignación de vehículos.** Los vehículos deben ser asignados a las rutas o servicios para los que han sido planeados en función de las características requeridas, como por ejemplo el número de plazas. Esta asignación a servicios debe ser coordinada con los periodos de mantenimiento que sean preceptivos en función de las características del vehículo y con las necesidades de repostaje o recarga en función del combustible usado. Una vez que el servicio comienza, los vehículos deben ser monitoreados para asegurar el cumplimiento del servicio según lo previsto.
- 2. Asignación de personas conductoras.** Las personas conductoras deben ser asignados a rutas o servicios en función de su capacitación. Esta asignación implica el cumplimiento de la legislación laboral aplicable, tanto en términos de jornadas de trabajo (número máximo de horas de trabajo, descansos de conducción, etc.) como en términos de descansos semanales (días libres) o anuales (vacaciones).

#### Principales tecnologías

- Sistemas de Ayuda a la Explotación (SAE/AVL).** Un sistema de ayuda a la explotación (SAE) es un sistema software y hardware con distintas capacidades. El núcleo de un SAE es un sistema software centralizado que recibe actualizaciones en tiempo real sobre la ubicación de los vehículos de la flota. Habitualmente esto requiere una computadora a bordo del vehículo con un receptor GPS y capacidad de comunicación a través de la red de telefonía móvil. Opcionalmente,

algunos SAEs incorporan características adicionales como el monitoreo de la adherencia al servicio planeado, comunicaciones de voz con la persona conductora y/o el pasaje, y anuncios de próxima parada.

### ● **Sistemas de Scheduling & Dispatching.**

Un sistema de Scheduling & Dispatching es un sistema software con dos capacidades fundamentales: el dimensionamiento de los recursos necesarios para realizar la operación de forma legal (cuántos vehículos y cuántas personas son necesarios) y la asignación de turnos de trabajo a los vehículos y al personal de conducción. En la primera capacidad, es habitual que estos sistemas incluyan funcionalidades de optimización para dimensionar de la forma más eficiente posible la operación. En la segunda capacidad, el criterio que suele primar es el aseguramiento de la legalidad y la velocidad de reacción ante imprevistos en la operación.

### Nivel de madurez de la tecnología

El nivel de madurez de estas tecnologías es alto.

- Los sistemas de *Scheduling & Dispatching* surgieron a finales de los años 70 en el sector de la aviación comercial. Desde la década de 1990 existen soluciones específicamente adaptadas para operaciones de transporte urbano.
- El auge de sistemas SAE/AVL en el sector del transporte urbano se produce también entre finales de la década de 1990 y principios de la década del 2000, aprovechando la generalización de los sistemas GPS y de las tecnologías de transmisión de datos.

Estas herramientas están muy generalizadas en Estados Unidos y Europa. Prácticamente todas las ciudades grandes y medianas cuentan con estos sistemas en sus transportes públicos.

### Beneficios

- Aseguramiento del cumplimiento de la legislación laboral en la elaboración de los turnos de trabajo.
- Planeación óptima de vehículos eléctricos con necesidades de recarga de batería.
- Mayor equilibrio en el reparto de la carga de trabajo entre todo el personal.
- Capacidad de gestionar flotas de mayor tamaño de forma eficiente.
- Mejora de la puntualidad y la confiabilidad del servicio.
- Reacción más oportuna y efectiva ante interrupciones del servicio, incidencias, etc.
- Análisis post-operación más efectivo gracias a la recopilación de datos históricos más detallados (p.ej., uso de datos históricos de puntualidad para mejorar los horarios).

### Costos

En el caso de los sistemas de Scheduling & Dispatching, es habitual utilizar el tamaño de la operación como medida para establecer el costo del sistema bajo la premisa de que, cuanto mayor sea el operador, más beneficio obtiene de la utilización de este tipo de sistemas. El indicador más utilizado para medir el

tamaño de la operación es la flota del operador, esto es, el número de vehículos involucrados. Así, nos podemos encontrar con costos en el rango entre 50,000 USD y 100,000 USD para operaciones pequeñas hasta rangos de varios millones de dólares para grandes operaciones de transporte.

En el caso de los sistemas SAE también existe una relación entre el costo del sistema y el tamaño de la flota, en este caso justificado por la necesidad de tener que equipar cada vehículo con un computador embarcado. Esta necesidad de adquisición de hardware, que se da en los sistemas SAE pero no en los sistemas de Scheduling & Dispatching, hace que el rango de precios de estos sistemas sea superior, pudiendo alcanzar algunos proyectos el rango de varias decenas de millones de dólares.

Respecto al modelo de adquisición, históricamente ambos tipos de sistemas se adquirirían con el modelo clásico de licencia perpetua OTC (*One Time Charge*) más un costo añadido en concepto de proyecto de implantación. En los últimos tiempos se está imponiendo el modelo SaaS (*Software as a Service*) como modelo para la adquisición de este tipo de sistemas.

### Factores críticos de éxito

- Soporte de todas las áreas involucradas en el proyecto.** Las herramientas de gestión de la operación tienen una naturaleza transversal a toda la organización: si bien el área de operaciones es su principal usuario, IT y mantenimiento tienen un importante rol en el mantenimiento de estos sistemas y el área de planeación es fundamental tanto como proveedor de mucha de la información necesaria en estas herramientas, como consumidor de muchos de los resultados proporcionados.
- Definición clara y precisa del alcance.** Las herramientas de gestión de la operación sustituyen procesos que tradicionalmente se han llevado a cabo manualmente, con el potencial grado de indefinición que un proceso manual puede tener. Para asegurar el éxito de una herramienta de estas características es clave tener una definición clara y precisa sobre lo que se desea que la herramienta haga y cómo se desea que lo haga.
- Gestión del cambio.** Es inevitable que muchos procedimientos de trabajo en la organización se vean alterados por la incorporación de una herramienta digital. Es preciso gestionar adecuadamente este cambio con todos los *stakeholders* para asegurar la adquisición de las herramientas en todos los niveles de la organización.
- Soporte técnico del proveedor.** Una vez implantada, una herramienta de gestión de la operación se convierte en una herramienta de uso cotidiano. Es clave contar con un acuerdo de nivel de servicio claramente definido con el proveedor que asegure su involucración en la resolución de todos los problemas que puedan surgir. También es importante contar con un plan de contingencia en caso de desaparición del proveedor.
- Interoperabilidad.** Por su naturaleza transversal, a las herramientas de gestión de la operación se les debe exigir un elevado nivel de interoperabilidad con el resto de sistemas para evitar incoherencias en la información final.

- **Infraestructura tecnológica.** Es clave asegurar la disponibilidad del hardware necesario, tanto embarcado en el vehículo como disponible de forma centralizada, del software de base utilizado (sistemas operativos, librerías de terceros, etc.), y de las tecnologías de comunicación requeridas por el sistema (redes WiFi, tecnología 5G, etc.).
- **Integración entre los distintos modos de transporte público.** La integración operativa entre los distintos modos de transporte público amplifica muchos de los beneficios de estas tecnologías, tales como la mejora de la puntualidad, al facilitar la tarea información procedente de distintos modos y adoptar acciones de forma coordinada.
- **Capacidades digitales.** La implantación de herramientas de gestión de la operación debe ir acompañada de un plan de capacitación que identifique qué roles dentro de la organización requerirán formación y qué tipo de formación necesitan en función de su interacción con el sistema.

## II.3.2 Tecnologías vehiculares

### Descripción y objetivos

El concepto “tecnologías vehiculares” agrupa un conjunto de tecnologías que recogen y analizan datos sobre el servicio de transporte público para generar recomendaciones que mejoren el servicio. La incorporación de capacidad de cómputo a bordo de los vehículos tuvo su primera aplicación en las herramientas de gestión de la operación (ver sección I.3.1), pero pronto fue evidente que esta capacidad de cómputo podía usarse para otras

aplicaciones. Así, se desarrollaron diferentes tipos de sensores orientados a medir diferentes características del servicio. Los objetivos cubiertos por las tecnologías vehiculares incluyen:

1. Mantener niveles óptimos de ocupación de los vehículos.
2. Facilitar el mantenimiento de la flota.
3. Optimizar la conducción en términos tanto de eficiencia como de seguridad vial.
4. Reducir el impacto medioambiental del transporte público.
5. Aumentar la eficiencia mediante la automatización de determinados procesos, incluido el desarrollo de soluciones de conducción autónoma.

### Principales tecnologías

- **Sistemas de medición de ocupación de vehículo.** Los sistemas de medición de ocupación (APC, Automatic Passenger Counting) permiten medir el número de personas a bordo de un vehículo en cada momento de su recorrido. Existen dos formas principales de medir la ocupación: (i) midiendo el número de personas que suben y bajan en cada parada y obteniendo la ocupación por diferencias entre ambas magnitudes; (ii) midiendo directamente la ocupación. Ambas aproximaciones se basan en tecnologías de sensorización que detectan presencia (p.ej., cámaras capaces de realizar conteos).
- **Sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo de la flota.** Se trata de sistemas dotados de sensores que realizan mediciones periódicas de determi-

nados parámetros del vehículo (temperatura, niveles de aceite y agua, presión de neumáticos, etc.), con un doble objetivo: (i) establecer alertas cuando un determinado componente reporta valores anormales, permitiendo así revisar el vehículo antes de que se produzca la avería; (ii) desarrollar modelos predictivos que anticipen problemas en un vehículo antes de que estos se produzcan.

### ○ **Sistemas de conducción segura y eficiente.**

Los sistemas de conducción segura y eficiente (ecoconducción) monitorean la relación persona conductora-vehículo-ruta y ponen en relación estas variables con el consumo de combustible y otras variables relacionadas con la eficiencia y la seguridad vial. El análisis a posteriori de la información recogida permite realizar recomendaciones orientadas al ahorro de combustible y al confort en el viaje, tales como cambios en el estilo de conducción de cada persona o en la asignación de vehículos a rutas. Algunos sistemas incorporan la posibilidad de ayudar al personal a mejorar su estilo de conducción y de monitorear su estado de fatiga para prevenir accidentes.

### ○ **Sistemas de medición de emisiones.**

Los sistemas de medición de emisiones ligados a servicios de transporte público pueden ser de dos tipos: (i) sistemas orientados a medir las emisiones contaminantes y de GEI de los vehículos de la flota del operador; (ii) sistemas que aprovechan la amplia cobertura de la ciudad por parte de los vehículos de transporte público para realizar mediciones de los niveles de contaminación ambiental. En el primer caso, el objetivo es obtener mediciones que permitan calibrar modelos de cálculo de emisiones en función de factores como el tipo de vehículo y combus-

tible usado, las características de la línea operada o las condiciones de carga del vehículo. En el segundo caso, el objetivo es complementar la información recogida por las estaciones fijas de las redes de monitoreo de la calidad del aire.

### ○ **Servicios basados en vehículos autónomos.**

Los sistemas de conducción autónoma son sistemas capaces de monitorear el entorno del vehículo en movimiento (señalizaciones de la vía, otros vehículos, peatones, condiciones meteorológicas, etc.) y procesar la información recogida para automatizar las tareas de conducción del vehículo. Según SAE International (<https://www.sae.org/>) existen 6 niveles de automatización, que abarcan desde el nivel 0, en el que no hay ninguna automatización de la conducción, hasta el nivel 5, donde no se requiere ninguna actuación por parte de la persona conductora. En el campo de la automatización del transporte público, los trenes y metros fueron los primeros medios en automatizarse. Actualmente muchas líneas ferroviarias funcionan sin personal de conducción, con el fin de reducir costos y aumentar la frecuencia de servicio. En el caso del transporte público colectivo por carretera el avance es más lento, debido a las dificultades del entorno de operación, y las pruebas realizadas hasta la fecha se han limitado a microbuses en entornos acotados y controlados, como campus universitarios y empresariales. No ocurre lo mismo en el caso de los servicios de taxi, donde la tecnología de vehículos autónomos ya está utilizándose en entornos reales. Así, por ejemplo, la empresa Waymo, nacida a partir del proyecto de vehículo autónomo de Google, ya está proporcionando servicios de taxi autónomo en ciudades como San Francisco.

## Nivel de madurez de la tecnología

El nivel de madurez de estas tecnologías es variable:

- Las tecnologías de medición de ocupación de vehículo y de medición de emisiones tienen un nivel de madurez alto, si bien no están aún plenamente implantadas, debido a la relación entre su costo y el valor percibido por el operador.
- Las tecnologías de monitoreo y mantenimiento de la flota y los sistemas de conducción segura y eficiente tienen un nivel de madurez medio. Existen distintos proveedores de este tipo de soluciones, pero su implantación es aún limitada.
- Las tecnologías de conducción autónoma tienen un nivel de madurez bajo, aunque se espera que adquieran una importancia creciente en la próxima década, hasta el punto de que posiblemente constituyan la próxima gran revolución en este sector.

## Beneficios

- Optimización de los niveles de servicio y la eficiencia del transporte público: a nivel global, el número de personas usuarias es un indicador del éxito de un servicio de transporte público y es clave para establecer las medidas de financiación pública adecuadas; a nivel de línea, la ocupación es un indicador necesario para establecer correctamente la dotación de cada línea (número de vehículos), de la cual depende el servicio que se va a ofrecer. La recolección manual de datos de ocupación requiere mucho tiempo y resulta muy costosa. El uso de sistemas de medición de la ocupación permite disponer de una base de datos mucho más rica,

con observaciones repartidas por toda la red y en varios días, y a un costo muy inferior.

- Los sistemas de monitoreo y mantenimiento de la flota permiten pasar del tradicional mantenimiento preventivo, muy intensivo en el uso de recursos y con importantes limitaciones, como la de no ofrecer visibilidad sobre la vida restante de los componentes del vehículo, a un mantenimiento predictivo, que proporciona el mismo beneficio de prevenir averías a un costo sensiblemente menor.
- Los sistemas de conducción segura y eficiente reportan ahorros de entre un 5% y un 10% en el consumo de energía y tasas de reducción de la siniestralidad cercanas al 10%.
- La conducción autónoma ayudará a reducir la accidentalidad, principalmente por la eliminación de errores humanos, así como a mejorar la fluidez del tráfico. Asimismo, permitirá aumentar la fiabilidad y puntualidad del servicio, reducir costos de personal (gracias a la eliminación de las personas conductoras) y aumentar la flexibilidad para modificar las rutas y los horarios de los servicios, al eliminar la dependencia del personal.

## Costos

En el caso de los sistemas de movilidad autónoma aún no existe una base suficientemente amplia de implantaciones como para poder establecer un rango de costos de esta tecnología. Probablemente será una tecnología que los fabricantes de vehículos irán incorporando paulatinamente, de forma similar a cómo se han ido incorporando las tecnologías de electrificación. Respecto al

resto de tecnologías vehiculares, los costos de implantación son muy variables, pero sí se ha observado que, en aquellos operadores que optan por este tipo de tecnologías, lo habitual es que solo se sensorice una parte de la flota, lo que probablemente es un indicativo de que el costo por unidad es aún alto en comparación con el beneficio percibido por el operador, y por tanto resulta fundamental evaluar estos beneficios cuidadosamente.

### Factores críticos de éxito

- **Capacidades analíticas.** En algunas ocasiones, los sistemas de medición, ya sea de ocupación, de emisiones o de conducción eficiente, proporcionan únicamente los datos en crudo, que es preciso depurar y procesar para extraer conclusiones. Por tanto, es importante asegurar que, si la organización no tiene las capacidades analíticas necesarias para llevar a cabo estos procesos, el proveedor del sistema debe proporcionar también dichas capacidades.
- **Gestión del cambio y comunicación interna.** La implantación de determinados sistemas debe ir acompañada de un proceso de gestión del cambio. Así, por ejemplo, implantar un sistema de conducción eficiente requiere una adecuada campaña de comunicación con el personal. Este tipo de sistemas pueden ser percibidos negativamente por el personal de conducción, por entender que su objetivo es fiscalizar su tarea. Es importante realizar campañas de comunicación para erradicar esta idea y transmitir que el objetivo de estos sistemas es contribuir
- a mejorar la eficiencia en la conducción, con el consiguiente ahorro de costos para la operación.
- **Cumplimiento de la legislación en materia de protección de datos.** Algunos de los sistemas de medición de ocupación embarcados en los vehículos se basan en la toma de imágenes del interior del vehículo. En estos casos, es importante asegurar que el sistema utilizado cumple las normativas vigentes en materia de protección de datos personales.
- **Infraestructura tecnológica.** Los sistemas descritos requieren la instalación de hardware adicional en el vehículo, por lo que debe asegurarse que la organización tiene cubierta la instalación y mantenimiento de este hardware, ya sea con medios propios de organización o a través de un proveedor externo.
- **Marco regulatorio.** En el caso de las tecnologías de conducción autónoma un factor clave de éxito es la existencia de un marco regulatorio adecuado en el país o región donde se vayan a operar estos sistemas.
- **Comunicación a las personas usuarias.** Diversas investigaciones acerca de la percepción y aceptación de la población sobre servicios de conducción autónoma en el transporte público confirman que aún existen reticencias con respecto a su puesta en marcha. Por ello, es importante acompañar la implantación de estos servicios de una adecuada campaña de comunicación, haciendo especial hincapié en la seguridad.

### II.3.3 Seguridad de las personas usuarias y protección frente al crimen

#### Descripción y objetivos

La seguridad y protección frente al crimen es uno de los factores clave en la medición de la calidad de un servicio de transporte público. Junto a otros factores como la presencia de personal de seguridad, la iluminación adecuada en las instalaciones y la existencia de puntos de ayuda claramente identificados, la tecnología desempeña un papel muy importante en mejorar la seguridad del personal y las personas usuarias de un servicio de transporte público. Los objetivos cubiertos por estas tecnologías son dos:

1. Reducir los delitos y las infracciones contra las personas (robos, hurtos, agresiones) dentro del sistema de transporte público.
2. Mejorar la percepción de seguridad, eliminando así barreras para el uso del transporte público.

#### Principales tecnologías

- Videovigilancia a través de cámaras embarcadas.** La implementación de sistemas de videovigilancia en los vehículos y estaciones del transporte público ayuda a disuadir actividades delictivas y proporcionar pruebas en caso de incidentes. El monitoreo en tiempo real permite a las autoridades responder rápidamente a emergencias o amenazas a la seguridad.
- Botones de pánico y comunicación de emergencia.** Equipar los vehículos de transporte público con botones de pánico

o sistemas de comunicación de emergencia permite a las personas usuarias y al personal del transporte público alertar rápida y discretamente a las autoridades en caso de agresiones, emergencias médicas o actividades sospechosas.

- Aplicaciones de seguridad.** Las aplicaciones móviles que brindan funciones de seguridad para las personas usuarias, como informar sobre incidentes, compartir su ubicación en tiempo real con contactos confiables o acceder a servicios de emergencia, permite a las personas tomar el control de su propia seguridad. Las nuevas aplicaciones móviles han mejorado la seguridad de los servicios de taxi y *ride hailing* mediante la implementación de diferentes medidas. Por ejemplo, Uber ha implementado la verificación de antecedentes del conductor y la supervisión en tiempo real del vehículo. Además, los usuarios pueden compartir su ruta en tiempo real con amigos o familiares. Esta función permite que los usuarios puedan sentirse más seguros durante su viaje.
- Iluminación e infraestructura mejoradas.** Actualizar los sistemas de iluminación y garantizar estaciones y paradas de transporte público bien iluminadas mejora la visibilidad y ayuda a disuadir las actividades delictivas.

#### Nivel de madurez de la tecnología

En general, el nivel de madurez de estas tecnologías es alto. En este apartado el transporte público se ha beneficiado de otros sectores que avanzaron previamente en estas tecnologías: por ejemplo, los sistemas de videovigilancia en edificios públicos han podido ser trasladados posteriormente al transporte público.

## Beneficios

- Reducción de los delitos e infracciones contra las personas en el transporte público.
- Aumento de la percepción de seguridad, eliminando así una de las barreras para fomentar el uso del transporte público entre la ciudadanía.
- Mejora de las condiciones laborales del personal, al proteger a las personas trabajadoras de daños físicos y emocionales y reducir las bajas, el absentismo laboral y la rotación de los empleados, con el consiguiente aumento del compromiso y la productividad.

## Costos

Los costos de las tecnologías para la seguridad y la prevención de infracciones y delitos en el transporte público son relativamente bajos. A diferencia de otras tecnologías vehiculares, para las que es posible instalar tecnología en una parte de la flota y extrapolar los resultados a la operación global, en el caso de las tecnologías de seguridad es necesario actualizar toda la flota para conseguir los objetivos buscados, por lo que, en general, los costos escalan con el tamaño de la flota a actualizar (p.ej., instalación de cámaras de vigilancia en todos los vehículos).

## Factores críticos de éxito

- **Edad y brecha digital.** Las tecnologías que promueven la seguridad de las personas deben tener en cuenta los potenciales problemas de accesibilidad de algunas personas a determinadas herramientas digitales (p.ej., personas con

algún tipo de discapacidad o de edad avanzada).

- **Perspectiva de género.** Existen distintos estudios que confirman la diferente situación y percepción de inseguridad en el transporte público entre hombres y mujeres. Esto condiciona las opciones de las mujeres en el uso del transporte público, afectando directamente su movilidad. Por ello, es importante que la implantación de estas tecnologías tenga en cuenta la relación entre la seguridad ciudadana y el género y vaya acompañada de políticas y medidas específicamente orientadas a mitigar problemas que afectan de forma principal a las mujeres, como el acoso sexual.

- **Cumplimiento de la legislación en materia de protección de datos.** Algunas de las tecnologías que incrementan la seguridad, como las cámaras de videovigilancia, pueden suponer la recogida de información personal, por lo que es necesario tener en consideración la necesidad de anonimizar la información recogida.

- **Infraestructura tecnológica.** Los sistemas descritos requieren la instalación de hardware adicional en el vehículo, por lo que debe asegurarse que la organización tiene cubierta la instalación y mantenimiento de este hardware, ya sea con medios propios de organización o a través de un proveedor externo.

- **Marco regulatorio.** Las tecnologías de seguridad en el transporte público deben ir acompañadas de un marco regulatorio que promueva la seguridad de todos los actores involucrados en el servicio y considerando la seguridad en todo el ámbito de operación del servicio, desde los grandes intercambiadores de transporte has-

ta los propios vehículos y las paradas de la red.

- **Formación del personal del transporte público.** Finalmente, para maximizar la eficacia de estas tecnologías, su implantación debe ir acompañada de la necesaria formación de las personas trabajadoras del transporte público (p.ej., en lo relativo a los protocolos de actuación cuando se producen incidentes de seguridad).

### II.3.4 Seguridad vial

#### Descripción y objetivos

Las tecnologías para la mejora de la seguridad vial abarcan diferentes tecnologías orientadas a mejorar la disponibilidad y visibilidad de los elementos de ayuda en los vehículos, las prácticas de conducción, la salvaguarda activa por parte del personal o la visibilidad de los elementos de riesgo. Los objetivos de estas tecnologías incluyen:

1. Reducir la siniestralidad vial.
2. Aumentar el confort.
3. Reducir la percepción de riesgo de siniestros.

#### Principales tecnologías

- **Sistemas de asistencia a la conducción.** Los sistemas avanzados de asistencia a la conducción (ADAS, Advanced Driving Assistance Systems) se emplean en vehículos de transporte público para prevenir accidentes y mejorar la seguridad

general de personas usuarias y personal de conducción. Sus funciones incluyen la prevención de colisiones, la detección de puntos ciegos y las advertencias de cambio de carril.

- **Tecnologías de simulación.** Los simuladores (p.ej., simuladores de conducción) permiten mejorar los programas de capacitación para el personal del transporte público. Las simulaciones y la realidad virtual proporcionan escenarios realistas para capacitar al personal del transporte público en la conducción, el manejo de emergencias, la gestión de crisis y el servicio al cliente.

#### Nivel de madurez de la tecnología

El nivel de madurez de las tecnologías asociadas al incremento de la seguridad vial es alto. Como en el caso de otras tecnologías, el transporte público se ha beneficiado de los avances realizados previamente en otros sectores: así, por ejemplo, los sistemas de asistencia a la conducción fueron desarrollados inicialmente por la industria del automóvil, mientras que los simuladores de conducción fueron originalmente desarrollados por la industria de la aviación para mejorar la capacitación de los pilotos.

#### Beneficios

- Reducción de siniestros de tránsito, con el consiguiente beneficio para las personas usuarias del transporte público, de otros vehículos y de la vía pública.
- Aumento del confort.
- Aumento de la percepción de seguridad.

- Mejora de las condiciones laborales del personal del transporte público.

### Costos

Los costos de las tecnologías de asistencia a la conducción son relativamente bajos, pero escalan linealmente con el tamaño de la flota a actualizar. En general, la práctica habitual no es actualizar la flota ya existente, sino aprovechar la renovación natural de la flota cuando termina su vida útil para incorporar vehículos que ya dispongan de sistemas de asistencia.

Por otro lado, las tecnologías de simulación para capacitación del personal de conducción tienen un costo elevado, por lo que solamente los grandes operadores puedan acceder a esta tecnología.

### Factores críticos de éxito

- Edad y brecha digital.** Las tecnologías de asistencia a la conducción deben tener en cuenta los potenciales problemas de accesibilidad de algunas personas a estas herramientas (p.ej., personas de edad avanzada).
- Infraestructura tecnológica.** Los sistemas de asistencia a la conducción requieren la instalación de hardware adicional en el vehículo, por lo que debe asegurarse que la organización tiene cubierta la instalación y mantenimiento de este hardware, ya sea con medios propios o a través de un proveedor externo.
- Marco regulatorio y políticas de seguridad vial.** Las tecnologías para el aumento de la seguridad vial deben ir acompañadas de un marco regulatorio y de

un conjunto de políticas y medidas que promuevan la seguridad vial de forma integral.

## II.3.5 Servicios emergentes de movilidad

### Descripción y objetivos

En los últimos años, las tecnologías de la información y las comunicaciones han facilitado la aparición de nuevos servicios de movilidad, como los sistemas de *ride hailing*, los sistemas de transporte a la demanda (DRT, *Demand Responsive Transport*) y los servicios de movilidad compartida (patinetes y bicicletas compartidas, *car sharing*, etc.), con el potencial de complementar los servicios de transporte público colectivo. Desde el punto de vista de la planeación y la operación del transporte público, estos servicios emergentes de movilidad contribuyen a diferentes objetivos:

- Facilitar las etapas de acceso y dispersión (última milla) al transporte público, ofreciendo así a la ciudadanía soluciones multimodales de transporte de puerta a puerta capaces de competir con el vehículo privado y energéticamente más eficientes.
- Mejorar la accesibilidad en zonas con baja demanda, en las que los servicios de transporte público regular resultan ineficientes.

### Principales tecnologías

- Soluciones de transporte a la demanda.** El transporte a la demanda incluye distintos servicios de transporte en los

cuales los vehículos no siguen rutas, horarios ni paradas predefinidas, sino que funcionan de acuerdo a la demanda de movilidad en cada momento. La reserva normalmente se realiza a través de una aplicación móvil, pero también se puede realizar mediante una llamada telefónica o a través de un navegador web. Se trata de servicios de base tecnológica no solo porque normalmente requieren la utilización de tecnología para realizar las reservas, sino también, y sobre todo, porque utilizan algoritmos complejos para agrupar solicitudes de viaje de varias personas que desean viajar en una dirección similar, de forma que varias personas pueden utilizar un mismo vehículo al mismo tiempo. Este concepto de comparación entre varias personas de un mismo vehículo se conoce también como *ridepooling*.

- Servicios de movilidad compartida.** En los servicios de movilidad compartida, una empresa o entidad pone a disposición de las personas usuarias una flota de vehículos bajo un esquema de pago, de forma que la persona accede al uso del vehículo por un tiempo determinado bajo su propia conducción. Dentro de esta categoría se incluyen servicios de coche compartido (*car sharing*), motocicleta compartida (*moto sharing*), bicicleta compartida (*bike sharing*) y patinete compartido (*scooter sharing*). Frente a las empresas de alquiler clásicas, en general las empresas de movilidad compartida alquilan sus vehículos para viajes de menor duración y calculan sus tarifas de uso por minuto o kilómetro. Dentro de los servicios de movilidad compartida se hace una distinción entre los denominados servicios de flota libre y los servicios basados en estaciones. En estos últimos, es necesario acudir a una estación fija para

recoger el vehículo y, por norma general, devolverlo en ese mismo lugar. En el caso de la modalidad de flota libre, los vehículos se encuentran estacionados en la calle y pueden localizarse a través de una aplicación móvil. Una vez finalizado el viaje, está permitido estacionar el vehículo en cualquier lugar dentro de la zona operativa del servicio. Habitualmente esta zona abarca el centro de las ciudades y determinados lugares muy frecuentados, como los aeropuertos.

- Tecnologías habilitadoras de la multimodalidad: micromovilidad.** Dentro del grupo de “tecnologías habilitadoras de multimodalidad” se incluyen los servicios de micromovilidad especializados en cubrir la última milla. Se trata de una modalidad de transporte que utiliza vehículos muy ligeros, como patinetes eléctricos o bicicletas, ya sean particulares o compartidos (en este último caso, estos servicios se encuadran también dentro de la categoría de “servicios de movilidad compartida”). EL ITPD define como vehículos de micromovilidad aquellos con propulsión humana o eléctrica y de velocidad baja (hasta 25 km/h) o moderada (hasta 45 km/h) (<https://www.itdp.org/multimedia/defining-micromobility/>). Los servicios de micromovilidad, en la modalidad de movilidad compartida, requieren para su funcionamiento de tecnologías especializadas. Por un lado, de forma similar a las soluciones de transporte a la demanda, las soluciones de micromovilidad establecen su relación con las personas usuarias a través de aplicaciones móviles para reservar un vehículo, iniciar y finalizar los viajes, y realizar el pago del servicio. Por otro lado, para operar correctamente un servicio de micromovilidad con decenas o cientos de vehículos distribuidos en el área de operación es preciso la utilización

de dispositivos IoT, comunicaciones inalámbricas y sistemas GPS que permitan localizar y monitorear los vehículos.

- **Agregadores MaaS (Mobility as a Service).** Los agregadores MaaS son servicios que ofrecen la posibilidad de planear, reservar y pagar diferentes soluciones de movilidad a través de una única interfaz. Estos agregadores consolidan múltiples servicios de transporte e informan a las personas usuarias sobre cada opción y sus características (costos, tiempo, disponibilidad, etc.), permitiendo elegir la opción más apropiada para sus necesidades de movilidad.

### Nivel de madurez de la tecnología

El nivel de madurez de estas tecnologías es medio. La tecnología ha ido evolucionando a medida que estos servicios se han ido consolidando como una opción de transporte, en algunos casos impulsados por los propios gobiernos locales, por lo que el nivel de penetración es muy variable de unas ciudades a otras.

### Beneficios

- Contribución a la sostenibilidad económica del transporte público. El transporte a la demanda es especialmente eficiente a la hora de proporcionar servicios de transporte público en áreas donde el nivel de demanda no justifica la implantación de rutas fijas (p.ej., zonas periurbanas o rurales con baja densidad de población). La optimización de rutas en función de la demanda en cada momento permite reducir las distancias de viaje y mejorar la ocupación de los vehículos, lo que

redunda en un uso más eficiente de los recursos.

- Capacidad de ofrecer conexiones puerta a puerta. Una de las grandes desventajas del transporte público frente al vehículo privado es la imposibilidad de ofrecer conexiones puerta a puerta, al estar basado en rutas compartidas por múltiples personas. Las soluciones de micromovilidad ofrecen esta capacidad de conexión puerta a puerta, bien de forma aislada, cuando la distancia a recorrer lo permite, bien de forma combinada con el transporte público, para cubrir las etapas de acceso y dispersión.
- Aumento de la flexibilidad. En este tipo de sistemas las personas usuarias pueden realizar viajes en el horario y ubicación que más le convienen, lo cual supone una mayor flexibilidad en comparación con los servicios tradicionales de ruta fija.
- Aumento de la accesibilidad. Los servicios de transporte a la demanda desempeñan un papel importante en la mejora de la accesibilidad para personas con movilidad limitada, poblaciones de edad avanzada y residentes de áreas desatendidas. Al poder ofrecer servicios personalizados, el transporte a la demanda garantiza que el transporte sea más inclusivo y llegue a una gama más amplia de personas.

### Costos

El costo de los sistemas de transporte a la demanda es alto; sin embargo, es importante tener en cuenta que, en zonas con baja demanda, este costo es inferior al del transporte público basado en rutas y horarios fi-

jos, por lo que pueden suponer un notable ahorro de costos.

El costo de implantar servicios de movilidad compartida (p.ej., sistemas de bicicleta pública) es elevado, e incluye elementos como el mantenimiento de la flota, la reubicación de los vehículos y, en el caso de los vehículos eléctricos, la recarga de las baterías. En general estos servicios están en una fase inicial de consolidación del modelo de negocio y, en su mayoría, resultan deficitarios.

Los agregadores MaaS tienen un costo más reducido; la rentabilidad de la inversión depende principalmente de la existencia de un número suficiente de servicios de transporte como para justificar la utilidad de la solución y de la capacidad de alcanzar una masa crítica de personas usuarias.

### Factores críticos de éxito

- Integración de los nuevos servicios de movilidad con las redes de transporte público ya existentes.** Para que estos nuevos servicios de movilidad tengan éxito, deben ofrecer una experiencia de viaje coherente. Para ello es preciso asegurar la interoperabilidad y coordinación de los servicios de micromovilidad y de transporte a la demanda con las redes de transporte masivo, la integración de tarifas y el intercambio de datos en tiempo real entre todos los servicios.
- Marco regulatorio.** En el caso de los nuevos servicios de movilidad compartida, resulta fundamental una regulación que favorezca su complementariedad con el transporte público, evitando efectos indeseados (p.ej., trasvase de demanda del modo peatonal a los servicios de micromovilidad, ocupación indebida del espa-

cio público por parte de patinetes y bicicletas, etc.).

- Logística eficiente.** Para asegurar la rentabilidad económica de los servicios de micromovilidad es importante contar con plataformas de gestión que optimicen la operación del sistema (p.ej., estrategias de reubicación de vehículos) y el mantenimiento de la flota.
- Confiabilidad del servicio.** Es fundamental que estos nuevos servicios ofrezcan información clara y confiable en su relación con las personas usuarias, tanto en cuestiones operativas (p.ej., lugar de recogida) como tarifarias.
- Edad y brecha digital.** Los servicios de movilidad emergente tienen que apoyarse en soluciones tecnológicas para acceder al servicio (p.ej., realizando las reservas a través de aplicaciones móviles). Es preciso tener en cuenta los posibles problemas de accesibilidad de algunas personas para usar estas herramientas digitales y ofrecer alternativas como la reserva telefónica.

## II.4 Soluciones digitales para las personas usuarias

### II.4.1 Servicios de información para las personas usuarias

#### Descripción y objetivos

Los Sistemas de Información al Pasajero (PIS, *Passenger Information Systems*) se utilizan para proporcionar información relevante y útil a las personas usuarias, como rutas, ho-

rarios de los servicios, paradas próximas (en servicios a bordo del vehículo), posibles modificaciones del servicio, niveles de ocupación, accesibilidad en estaciones o vehículos (p.ej., áreas adaptados para una condición particular, existencia de elevadores, etc. ) y normativa de uso (p.ej., obligación de uso de mascarillas durante la pandemia de COVID-19). El desarrollo de distintas tecnologías digitales ha permitido mejorar estos servicios para permitir acceder de forma remota y proveer información en tiempo real. El acceso a la información puede ser activo (servicios *pull*) o pasivo (servicios *push*). Estos servicios tienen un doble objetivo:

1. Mejorar la experiencia de uso y fomentar el uso del transporte público, facilitando la tarea de planear cuándo y cómo viajar.
2. Influenciar el comportamiento de la demanda para aumentar la eficiencia del sistema o la calidad del servicio (p.ej., desincentivando el uso de algunos servicios sobredemandados recomendando opciones alternativas).

### Principales tecnologías

- **Páginas web** con información general sobre el sistema de transporte público o el estado de determinados servicios (p.ej., tiempo estimado de espera en una parada).
- **Aplicaciones móviles**, que además de la información disponible vía web, pueden utilizar la información de geolocalización de las personas usuarias para proporcionar información adicional (p.ej., estaciones o paradas más cercanas).

- **Pantallas de información en tiempo real** en estaciones/paradas o a bordo del vehículo.
- **Sistemas de información por voz** en estaciones y paradas o a bordo de los vehículos.

### Nivel de madurez de la tecnología

Las tecnologías presentadas tienen un nivel de madurez alto y están desplegadas en una gran variedad de ciudades y áreas metropolitanas. El nivel de implementación es muy variable dependiendo del grado de digitalización de las ciudades y las autoridades de transporte, abarcando desde páginas web básicas con información estática de horarios y rutas hasta la provisión de servicios de planeación de viajes altamente personalizados, opciones de pago digital y notificaciones en tiempo real. Las aplicaciones móviles son en general más sofisticadas y pueden incluir funciones como mapas interactivos.

### Beneficios

- Planeación de la ruta en función de las necesidades de las personas usuarias. Algunas de estas tecnologías ofrecen herramientas de planeación de viajes en función del origen y el destino. Dependiendo del grado de avance de la tecnología, estos planeadores pueden tener en cuenta preferencias o necesidades especiales de las personas usuarias.
- Aumento de la sensación de confort y seguridad. El conocimiento de la existencia de zonas adaptadas a necesidades especiales o del grado de ocupación de distintos vehículos permite evitar ciertos servicios u horarios y manejarse con ma-

por seguridad dentro de las estaciones o vehículos.

- Gestión dinámica de la demanda, tanto dentro en las estaciones como en los vehículos.
- Mayor adhesión a las normas (p.ej., uso adecuado de áreas prioritarias).
- Mejora continua del servicio. Algunas de estas tecnologías permiten enviar comentarios sobre la calidad del servicio, lo que facilita la mejora continua del mismo.
- Mejora de la imagen del servicio. Proporcionar información actualizada del estado del servicio aumenta la confianza de las personas usuarias y reduce la percepción del tiempo de espera, repercutiendo en un mayor uso del servicio.

## Costos

El costo de implementación de estos sistemas de información puede variar dependiendo del tamaño de la red de transporte, la tecnología utilizada y la complejidad y funcionalidades del sistema. Las necesidades de conectividad, así como de hardware y software, dependen mucho de las funcionalidades ofrecidas. La implementación y mantenimiento de servicios de información estática tiene un costo mucho menor al de los servicios de información dinámica y/o en tiempo real. Algunos de los elementos que más impactan el costo de implementación de estos servicios son:

El costo del hardware (pantallas, servidores e infraestructura de red) y software (para gestión de datos, interfaces de uso, etc.) puede ser significativo dependiendo de la tecnología elegida, especialmente en el caso de

servicios que proporcionan información en tiempo real.

Gestión de contenido: la creación y gestión de contenido, incluidos textos, imágenes y contenidos multimedia, es un costo continuo. Esto incluye tanto el costo de personal para la creación de contenidos como el software para la gestión de dichos contenidos.

## Factores críticos de éxito

● **Acceso a información actualizada.** La base de los servicios de información a las personas usuarias son los datos en tiempo real. Esto incluye la capacidad de rastrear la ubicación y el estado de los vehículos (autobuses, trenes, tranvías, etc.) utilizando tecnologías como el GPS para garantizar que las personas reciban información precisa y actualizada sobre horarios y llegadas de vehículos.

● **Almacenamiento y transmisión de la información.** Es necesario contar con los recursos necesarios para la recopilación de datos y los mecanismos de coordinación que habiliten el intercambio de datos entre distintos departamentos y organizaciones de transporte público.

● **Conectividad.** Las redes de comunicación confiables son esenciales para transmitir datos en tiempo real desde vehículos y estaciones a sistemas centrales y aplicaciones orientadas a las personas usuarias.

● **Usabilidad, accesibilidad y equidad.** Los sistemas de información a las personas usuarias deben ser accesibles para un sector lo más amplio posible de la ciudadanía, incluyendo los grupos de población con menores niveles de acceso a la tecnología (brecha digital). Asimismo,

es necesario que las informaciones proporcionadas tengan en cuentas las necesidades de diferentes tipos de personas usuarias (p.ej., personas con movilidad reducida).

- o Cumplimiento de la legislación en materia de protección de datos.** Algunas de las tecnologías empleadas pueden suponer la recogida de información personal, por lo que es necesario tener en consideración la necesidad de anonimizar la información recogida.

## II.4.2 Métodos de pago y validación

### Descripción y objetivos

Los métodos digitales de pago y validación son tecnologías que permiten desembolsar el costo del viaje a realizar y acreditar la validez de dicho pago con el fin de acceder al servicio de transporte público correspondiente. Los objetivos de estas tecnologías son:

1. Facilitar la forma en la que se pagan los servicios de transporte público.
2. Optimizar el acceso al transporte público (p.ej., reduciendo el tiempo de acceso).

### Principales tecnologías

- o Validación mediante tarjeta inteligente de transporte.** Las tarjetas inteligentes de transporte pueden ser recargadas mediante prepago electrónico o en las estaciones, y habitualmente permiten la carga de diferentes títulos de transporte (p.ej., abonos mensuales, bonos de 10 viajes, etc.). Una de las ventajas de este siste-

ma es que permite almacenar las validaciones realizadas durante un periodo de tiempo, de forma que, al finalizar dicho periodo, se realiza el cálculo de las validaciones realizadas y se calcula la mejor tarifa a aplicar (tarifas *pay as you go*).

- o Validación mediante pago con tarjeta de crédito.** El pago mediante tarjeta de débito o de crédito elimina la necesidad de tener que acudir a una máquina de venta de títulos de transporte o de emplear el pago en efectivo a bordo del vehículo. Los sistemas más avanzados permiten también almacenar las validaciones realizadas y aplicar la tarifa más conveniente para las personas usuarias.
- o Validación mediante NFC.** El NFC es una tecnología inalámbrica de alta frecuencia que incorporan todos los teléfonos celulares de última generación y que, entre otras aplicaciones, habilitan la posibilidad de integrar en el teléfono móvil las tarjetas de transporte y las tarjetas de débito y crédito.
- o Validación mediante boleto electrónico.** Los boletos electrónicos se almacenan en el teléfono celular (p.ej., en forma de códigos QR), permitiendo sustituir los boletos en papel.
- o Pago online.** Estas tecnologías incluyen el pago mediante aplicaciones móviles y pasarelas de pago (p.ej., aplicaciones MaaS).
- o Validación mediante detección biométrica.** La autenticación mediante biometría para realizar pagos basa su verificación en identificación de huellas dactilares, reconocimiento de la voz, patrones faciales o reconocimiento ocular, entre otros parámetros.

- **Pago a través de plataformas intermedias.** En servicios de taxi, por ejemplo, cada vez es más habitual poder realizar el pago del servicio a través de plataformas como Paypal o Bizum.

### Nivel de madurez de la tecnología

La mayor parte de las tecnologías digitales para el pago y validación del uso del transporte público se encuentran en un estado de madurez avanzado. Así, por ejemplo, las tarjetas inteligentes de transporte llevan décadas en funcionamiento y se han implementado en más de un millar de sistemas de transporte público de todo el mundo. La recarga de estas tarjetas mediante pago online se permite igualmente en una gran cantidad de sistemas de transporte y está basada en tecnologías ya muy maduras gracias a la explosión de las compras y pagos por internet. La única tecnología de las mencionadas con un nivel de madurez inferior es la detección biométrica. Pese a los avances recientes en esta área, como el reconocimiento facial o de huellas dactilares, ya implementados en muchos *smartphones* de última generación, su adopción en sistemas de transporte público es escasa.

### Beneficios

- **Eficiencia:** estos sistemas permiten minimizar el tiempo que se emplea en el proceso de pago y, especialmente, en el de validación, reduciendo la congestión y los retrasos innecesarios tanto en estaciones como a bordo de los vehículos.
- **Experiencia de uso:** permitir formas más ágiles y cómodas de pagar y acceder a los servicios mejora la experiencia de uso y la percepción del sistema de transporte.

- **Gestión de la información:** el registro eficaz y fiable de los pagos y conteos de personas facilita la gestión económica del sistema, así como su planeación y su operación.
- **Interoperabilidad:** estos sistemas contribuyen también a homogeneizar los sistemas de validación y pago en distintos servicios de transporte, así como integrar las tarifas. Algunos países, como los Países Bajos, han introducido una única tarjeta de transporte inteligente que sirve para validar la entrada a servicios de transporte en todo el país, lo que simplifica el acceso al transporte público. Además, esto permite actualizar de forma ágil el esquema de tarifas en todos los modos y servicios al mismo tiempo, permitiendo gestionar sistemas de transporte complejos de múltiples zonas de forma más flexible.

### Costos

La mayor parte de los sistemas de validación digitales requieren una inversión inicial importante en equipamiento a bordo de los vehículos y/o en las estaciones, así como en la infraestructura tecnológica necesaria para el procesamiento y transmisión de la información en tiempo real. Además, se requiere de un equipo que lleve a cabo la implementación y mantenimiento de este sistema. Sin embargo, distintos estudios han concluido que esta inversión está plenamente justificada en base al análisis costo-beneficio social de estas tecnologías en diferentes ciudades (Cheung, 2006; Welde, 2012).

### Factores críticos de éxito

- **Fiabilidad.** La implementación de un nuevo sistema digital puede generar ini-

cialmente interrupciones en el servicio, fallos técnicos u otras dificultades que deben evitarse y/o subsanarse rápidamente para prevenir una potencial falta de adopción. La introducción de los nuevos sistemas de pago y validación debe ser correctamente testeada y gradualmente implementada.

- **Accesibilidad.** Se debe ofrecer una gama suficientemente amplia de métodos de pago y validación para que todas las personas puedan acceder a cualquier servicio de transporte público con o sin planeación previa.
- **Privacidad y seguridad.** Algunos sistemas de pago y validación pueden generar entre la ciudadanía preocupaciones por la privacidad y la divulgación de datos de tarjetas inteligentes. Por ello, es fundamental implementar las medidas pertinentes en materia de seguridad y protección de datos, así como fomentar la transparencia en cuanto a cómo se recopilan, almacenan y utilizan los datos personales.
- **Actualización.** Estos sistemas requieren de actualizaciones periódicas que responden a necesidades de seguridad, así como a nuevas tecnologías que demanden las personas usuarias y faciliten el proceso de validación y/o pago.
- **Sinergias con otras tecnologías.** En numerosas ocasiones, la introducción de sistemas digitales para el pago y validación en el transporte público forma parte de la implementación de un SAE moderno, que aprovecha las inversiones en equipamiento para distintos usos, como digitalizar la información a las personas usuarias, facilitar el monitoreo del uso del transporte público, etc.

○ **Integración entre modos.** Los beneficios de estas tecnologías aumentan con una mejor integración entre modos de transporte público, dado que esta integración facilita el uso de un único medio de pago y la gestión coordinada de las tarifas y los pagos.

○ **Campañas de comunicación y promoción.** El éxito de un nuevo sistema de pago y validación depende en gran medida de su adopción efectiva por parte de las personas usuarias. Por ello, se recomienda llevar a cabo una introducción gradual acompañada de campañas publicitarias, además de la provisión de descuentos o ventajas temporales a las personas que empleen estos sistemas (p.ej., transbordo gratuito entre distintos modos, descuentos en determinadas tarifas).

○ **Capacidades digitales.** La implementación y mantenimiento de un sistema digital de pago y validación en transporte público debe ser llevada a cabo por un equipo con los conocimientos técnicos y la experiencia necesarios para identificar y especificar las soluciones más adecuadas para la ciudad, así como para realizar un seguimiento de los resultados obtenidos.

### II.4.3 Planeadores de viaje

#### Descripción y objetivos

Un planeador de viaje es una herramienta que ayuda a encontrar la combinación óptima de servicios de transporte para viajar de un origen a un destino. Los planeadores de viaje permiten a las personas usuarias planear sus viajes teniendo en cuenta un conjunto de variables como la infraestructura, las conexiones entre modos de transporte, los

horarios de los servicios, las condiciones de accesibilidad, la hora de salida o de llegada, la congestión, el costo del servicio, las preferencias de la persona, etc. Para ello, deben solucionar un problema de optimización de forma rápida, para proporcionar la mejor ruta según un criterio seleccionado (la ruta más corta, la más rápida, la de menos transbordos, la más barata, etc.). La complejidad de los problemas a resolver es variable, desde el caso más sencillo del planeador para un único servicio de transporte hasta planeadores que tienen en cuenta de forma integrada distintas opciones de transporte público y privado. Los objetivos principales de los planeadores de viaje son:

1. Facilitar la tarea de planear cuándo y cómo viajar de acuerdo a las necesidades y preferencias de cada persona, mejorando así la experiencia de uso y atrayendo más personas al uso del transporte público,
2. Influenciar el comportamiento de la demanda para aumentar la eficiencia del sistema o la calidad del servicio (p.ej., recomendando alternativas más eficientes que pueden no ser evidentes).

### Principales tecnologías

- **Planeadores de viaje estáticos.** Son planeadores de viaje que únicamente tienen en cuenta horarios, frecuencias y velocidades medias.
- **Planeadores de viaje dinámicos.** Son planeadores de viaje que tienen en cuenta información en tiempo real: actualizaciones de las expediciones, tráfico, vehículos disponibles, etc.

En el ámbito del transporte existen estándares para compartir horarios de servicios,

tanto estáticos (p.ej., GTFS) como dinámicos (p.ej., GTFS-rt).

### Nivel de madurez de la tecnología

Los algoritmos de teoría de redes que se aplican a los problemas de optimización de rutas llevan décadas aplicándose. Estos algoritmos tienen un nivel de madurez medio-alto. En cuanto a las plataformas y aplicaciones web que permiten albergar y acceder a estos algoritmos, se encuentran también muy extendidas, especialmente desde la proliferación de los smartphones a finales de la década de los 2000s. Algunos de los principales planeadores de viaje integrales que incluyen todos los modos de transporte son proporcionados por empresas privadas proveedoras de mapas y aplicaciones de geolocalización, como Google y Apple. Muchas autoridades de transporte público comparten información con estas empresas, pero pocas comparten información en tiempo real que permita estimar tiempos de espera a partir del estado de la red.

### Beneficios

- **Accesibilidad:** los planeadores de viajes permiten a las personas usuarias del transporte público obtener de forma rápida y sencilla un recorrido óptimo para llegar a su destino. Esto ayuda especialmente a aquellas personas que no conocen tan bien el sistema de transporte local (visitantes, turistas, etc.).
- **Experiencia de uso:** los planeadores de viajes facilitan la identificación de rutas óptimas, considerando opciones que inicialmente la persona podría no haber descubierto por sí misma. Además, agilizan y simplifican el proceso de planeación de

viajes. Dependiendo del grado de avance de la tecnología, estos planeadores pueden tener en cuenta preferencias o necesidades especiales de las personas. Todo ello contribuye a una mejora significativa en la percepción del sistema de transporte público por parte de la ciudadanía.

## Costos

Los costos de compartir información estática con los proveedores de aplicaciones son muy reducidos, pero el beneficio para las personas usuarias puede llegar a ser significativo. De la misma forma, el costo de proporcionar y mantener por parte del operador o autoridad de transporte una plataforma web en la que consultar la ruta óptima entre dos puntos considerando un servicio o grupo de servicios de transporte público es también relativamente reducido.

Compartir la información en tiempo real para conseguir un planeador de viajes dinámico requiere una inversión mayor, ya que necesita conocer el estado de la flota que presta los servicios de transporte en todo momento, así como otra información de la infraestructura y del tráfico. Gran parte de esta información, sin embargo, está disponible a través de los SAE, por lo que, una vez implementado un SAE, el costo diferencial de compartir información en tiempo real con uno o más proveedores de aplicaciones es relativamente bajo, al limitarse a los costos de la extracción de la información y de la conexión (p.ej., a través de una API).

## Factores críticos de éxito

- **Acceso a información actualizada.** Se deben actualizar los datos que emplea el planeador de viajes para incluir cambios

en el servicio, obras, desvíos, nuevos horarios, festivos, etc.

- **Fiabilidad.** Se debe realizar un mantenimiento adecuado que evite caídas del servicio y proporcione los niveles suficientes de disponibilidad y calidad del servicio para que las personas se acostumbren a su uso.

- **Usabilidad, equidad y brecha digital.** Los planeadores de viajes deben ser intuitivos y fáciles de utilizar para maximizar su adopción, tratando de incluir a aquellas personas no tan acostumbradas a las tecnologías digitales. En cualquier caso, se deben mantener servicios de información alternativos que permitan con problemas de acceso a las nuevas tecnologías seguir informándose a partir de métodos más tradicionales, como paneles con mapas de la red de transporte y horarios.

- **Integración.** Es deseable integrar los datos del mayor número de servicios de transporte posible y estandarizarlos en un formato común para conseguir un planeador de viajes completo que sea ampliamente utilizado. Si hay modos que no están incluidos, o que están incluidos de forma poco precisa o fiable, las personas preferirán otros servicios o directamente consultar los horarios o el mapa de las distintas redes de transporte online.

- **Capacidades digitales (recursos humanos).** Las capacidades para desarrollar un planeador de viajes sencillo que incluya algunos servicios de transporte público en la propia web del gestor u operador de transporte público se pueden encontrar de manera relativamente sencilla. De la misma manera, extraer y compartir ficheros GTFS para que los proveedores de aplicaciones puedan incluir los servi-

cios de transporte público no es una tarea que requiera capacitaciones tecnológicas muy avanzadas. Por el contrario, si se quiere diseñar un planeador de viajes más avanzado que se base en información en tiempo real y que incluya más modos de transporte, se necesitan capacidades digitales más avanzadas. Por tanto, resulta fundamental determinar qué tipo de planeador se desea desarrollar y de qué capacidades tecnológicas dispone la organización.

#### II.4.4 Conectividad en sistemas de transporte

##### Descripción y objetivos

La conectividad en los sistemas de transporte público hace referencia a los servicios que proporcionan acceso a diversas formas de comunicación y entretenimiento tanto en las estaciones y paradas como a bordo de los vehículos. El objetivo de estas tecnologías es doble:

1. Mejorar la experiencia de uso.
2. Atraer más personas al transporte público.

##### Principales tecnologías

Servicio de Internet en unidades, paraderos, terminales o unidades:

- **Conectividad para dispositivos personales.** Ofrecer una conexión Wifi gratuita en estaciones y vehículos es una tendencia cada vez más extendida. En el caso de los vehículos, estos deben estar equipados con transmisores móviles que se co-

munican con los *routers* y puntos de acceso Wifi responsables de redireccionar la señal desde/hacia los dispositivos conectados a bordo.

- **Carga de dispositivos.** Consiste en ofrecer puntos de recarga para los dispositivos móviles de las personas usuarias.
- **Entretenimiento a bordo.** Se trata de sistemas que ofrecen distintos tipos de contenidos a través de pantallas instaladas en las estaciones y los vehículos. Estos mismos sistemas sirven para proporcionar informaciones relevantes sobre el sistema de transporte público.

##### Nivel de madurez de la tecnología

El grado de madurez de las tecnologías de conectividad para las personas usuarias es alto, si bien su nivel de implantación es muy variable dependiendo de la región geográfica y el tipo de transporte. Así, por ejemplo, los servicios de entretenimiento a bordo están en general más implantados en el transporte de media y larga distancia que en los servicios de transporte urbano. En general, la tendencia es hacia una mayor integración de servicios de conectividad para mejorar la experiencia del viaje.

##### Beneficios

- Mejora de la experiencia de uso: los servicios de conectividad en el transporte público permiten a las personas usuarias estar conectados a Internet durante el viaje para acceder a aplicaciones profesionales y personales, facilitando la tarea de trabajar durante el viaje y proporcionando acceso a servicios de entretenimiento.

- **Competitividad del transporte público:** la mejora de la experiencia de uso hace que los servicios de transporte público resulten más atractivos, incrementando su competitividad frente a otros modos de transporte.
- **Caracterización de la demanda y apoyo a la planeación:** los puntos de conexión Wifi pueden servir para caracterizar el número de personas que acceden al servicio en cada estación o parada y sus puntos de bajada, complementando y enriqueciendo las informaciones recogidas mediante las tecnologías descritas en la sección I.2.1.

### Costos

El costo de implementación de estos servicios depende del nivel de sofisticación de la tecnología implementada. En el caso de la conectividad a bordo, los costos de implantación aumentan con el tamaño de la flota, por lo que una práctica frecuente es implantarlos de for-

ma progresiva, sin necesidad de abordar desde el inicio la implantación en toda la flota.

### Factores críticos de éxito

- **Infraestructura tecnológica.** La principal condición para el despliegue exitoso de estas tecnologías es la existencia de una red de comunicación confiable. En cuanto a la instalación de hardware adicional en el vehículo, debe asegurarse que la organización tiene cubierta la instalación y mantenimiento de este hardware, ya sea con medios propios o a través de un proveedor externo.
- **Privacidad y seguridad.** Como en cualquier otro sistema sujeto a posibles riesgos de ciberseguridad, es fundamental implementar las medidas pertinentes en materia de seguridad y protección de datos, así como informar con claridad cómo se recopilan, almacenan y utilizan los datos de las personas usuarias (en caso de hacerlo).

