

Nueva generación de modelos de transporte a través del uso de Big data: Caso San Salvador

Rendón Rodríguez, José Rodrigo
Hernández, Enrique
Del Rio, Hernán

División Transporte

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-01796

Nueva generación de modelos de transporte a través del uso de Big data: Caso San Salvador

Rendón Rodríguez, José Rodrigo
Hernández, Enrique
Del Rio, Hernán

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Rendón Rodríguez, José Rodrigo.

Nueva generación de modelos de transporte a través del uso de big data: caso San Salvador / José Rodrigo Rendón Rodríguez, Enrique Hernández, Hernán Del Río.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1796)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Urban transportation-El Salvador-Data processing. 2. Big data-El Salvador. 3. Urban transportation-El Salvador-Planning. 4. Cell phone systems-El Salvador. I. Hernández, Enrique. II. Del Río, Hernán. III. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. IV. Título. V. Serie.

IDB-TN-1796

JEL Codes: O32; R41; R42; R53.

Keywords: Transport Model, Call Detail Record, Transport Planning, Public Transport, Big Data.

Diseño y diagramación: Valmore Castillo

Agradecimientos: Carolina Benitez, Julia Hollnagel, Manuel Rodriguez y Antonio Carbonell por los comentarios y aportes recibidos.

Contacto: José Rodrigo Rendón (josere@iadb.org)

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2020 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

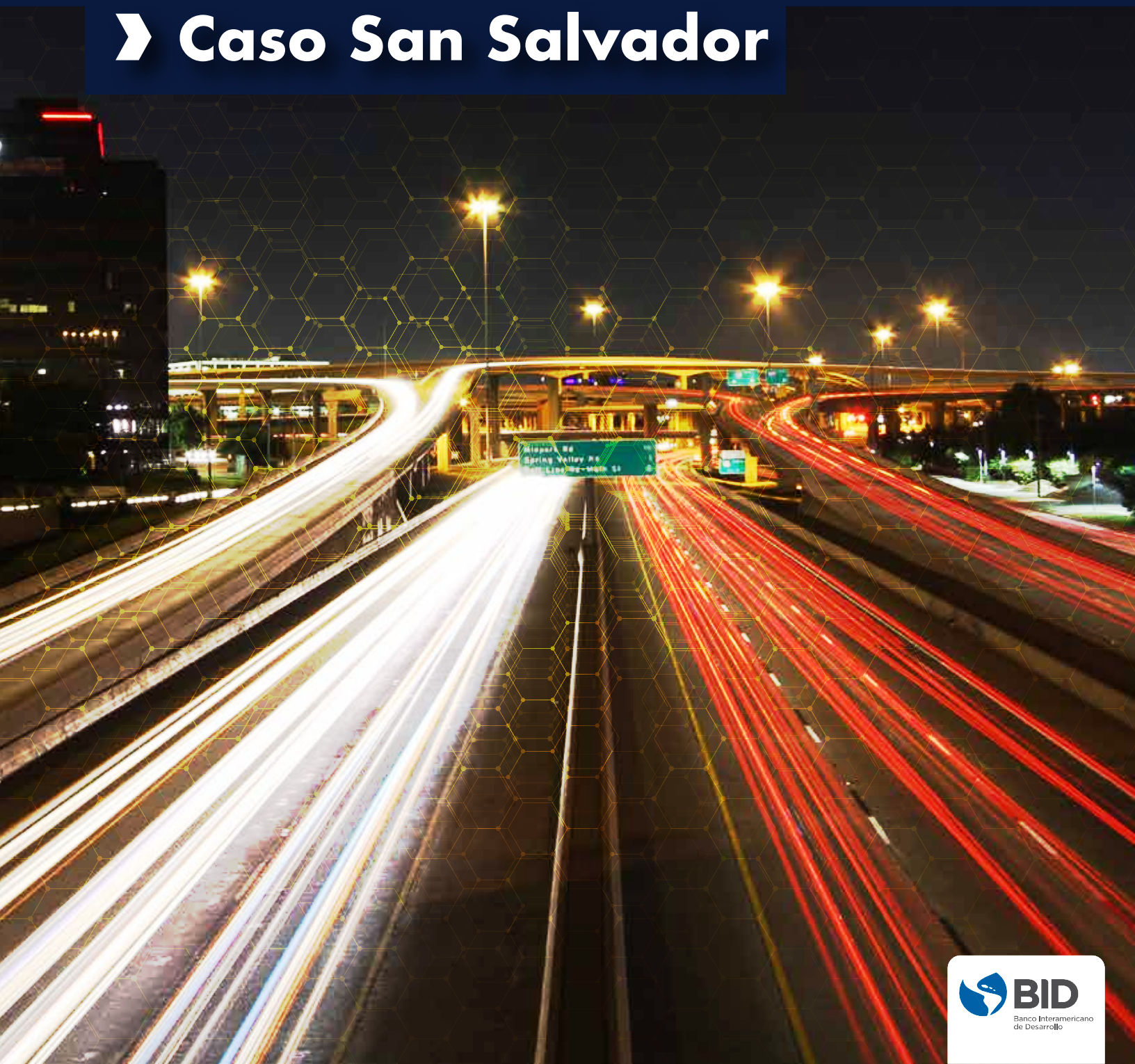


Nueva generación de

MODELOS DE TRANSPORTE

a través del uso de **BIG DATA**

➤ **Caso San Salvador**





Nueva generación de

MODELOS DE TRANSPORTE

a través del uso de **BIG DATA**

Caso San Salvador

Índice

04	Glosario de abreviaturas
05	Listado de figuras
06	Resumen ejecutivo
08	1. Introducción
09	2. Contexto
14	3. Desarrollo conceptual técnico
14	3.1 ¿Qué es un modelo de transporte?
14	3.2 ¿Para qué sirven estos modelos?
15	4. Modelos de transporte por métodos tradicionales reforzados por las nuevas oportunidades con el uso de big data
18	5. Caso de el salvador: modelo de transporte del área metropolitana de san salvador (AMSS)
19	5.1 ¿Qué objetivo persiguió el modelo de transporte del amss?
19	5.2 ¿Cómo se construyó el modelo?
20	5.3 ¿Cuál fue el proceso empleado para elaborar el modelo?
22	5.4 ¿Cuáles son las características del modelo?
28	6. Conclusiones

Glosario de abreviaturas

AATE: Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte de Lima y Callao

AMSS: Área Metropolitana de San Salvador

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

CAPI: *Computer-Assisted Personal Interviewing*, entrevistas personales asistidas por computadora

CDR: *Call Detail Record*, sistema de recopilación de datos a través de llamadas telefónicas

GTFS: *General Transit Feed Specification*, especificación general de alimentación de tránsito

ITU: *International Telecommunications Union*, Unión Internacional de Telecomunicaciones

LUCA: Oficina de Información de Big Data de Telefónica El Salvador, S.A.

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transporte

OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

SMS: Mensajes de texto enviados desde dispositivos móviles

VMT: Viceministerio de Transporte

Listado de Figuras

Figura 1. Índice de preparación de red (NRI por sus siglas en inglés), Economía digital y desarrollo productivo en Centroamérica, Guillermo Cruz.....	11
Figura 2. Indicadores del Banco Mundial.....	11
Figura 3. Municipios del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).....	18
Figura 4. Zonificación para la elaboración de las matrices origen-destino del AMSS.....	21
Figura 5. Elementos de la red del modelo de transporte del Área Metropolitana de San Salvador. Modelo de transporte del AMSS, 2019.....	24
Figura 6. Rutas del transporte público del modelo de transporte del Área Metropolitana de San Salvador. Modelo de transporte del AMSS, 2019	24
Figura 7. Partición modal del Área Metropolitana de San Salvador. Modelo de transporte del AMSS, 2019.	25
Figura 8. Comportamiento de la velocidad en el Área Metropolitana de San Salvador. Modelo de transporte del AMSS	26
Figura 9. Volumen de autos por corredor en el Área Metropolitana de San Salvador. Modelo de transporte del AMSS, 2019	26
Figura 10. Orígenes destinos en el Área Metropolitana de San Salvador. Modelo de transporte del AMSS, 2019.....	27
Figura 11. Oferta de transporte público en el Área Metropolitana de San Salvador. Modelo de transporte del AMSS, 2019	27



RESUMEN EJECUTIVO.

El crecimiento de la población en los países latinoamericanos trae aparejado el crecimiento de sus formas de movilización. El transporte público, el parque vehicular y las vías de acceso deben someterse a estos cambios con una visión a futuro que permita dar respuesta y anticiparse a las demandas de los próximos diez o 15 años.

Para ello, se requieren instrumentos de análisis de la realidad de la movilización urbana más efectivos. Aprovechando la tecnología y el uso de la telefonía celular como un mecanismo de información, se pudo realizar en El Salvador, un estudio de movilización ciudadana a partir del big data, es decir, del manejo de información surgida de dispositivos electrónicos.

Este tipo de estudio ya se había realizado en años anteriores de una forma análoga, pero con metodologías tradicionales. A través de visitas de campo, encuestas y otras herramientas de apoyo se recababa información para su posterior análisis, volviéndose una herramienta útil pero que demandaba un tiempo prolongado de realización por la complejidad de la recopilación de información.

El estudio que se presenta en esta publicación fue desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en septiembre de 2019 y se realizó en los 14 municipios que conforman el Área Metropolitana de San Salvador. Contó con el apoyo de la metodología Smart Steps de LUCA-Telefónica y la empresa Steer de Bogotá, Colombia, quienes aportaron significativos datos para la construcción de las matrices de análisis y la elaboración del modelo de transporte.

Como resultado, se construyó un modelo de transporte empleando tecnología de big data¹, datos georreferenciados a partir de la información de

1. Nota Técnica: "Cómo aplicar BIG DATA en la planificación del transporte urbano: El uso de datos de telefonía móvil en el análisis de movilidad", BID, 2019.

Call Detail Record (CDR) y de los registros de localización de usuarios de teléfonos con sistema operativo Android y de aplicaciones de Google Maps.

Mediante los CDR, es posible determinar los viajes que realizan las personas a lo largo del día a través de un registro de eventos, resultantes de los datos arrojados por las llamadas, envíos de mensajes de texto o paquetes de datos, pero sin identificar el contenido de los mismos.

La velocidad de operación de la red, medida por una herramienta desarrollada por Steer y basada en la información provista por Google, permite determinar la velocidad de movimiento de los usuarios, así como el tramo vial por el que se están desplazando, según una multitud de segmentos viales que se miden de manera simultánea para las franjas de tiempo definidas y los días considerados relevantes para el estudio.

Gracias a estas metodologías, se lograron crear matrices de origen y destino de la población y mapas de calor de los principales orígenes y destinos; se identificaron días, horas y tramos con mayor congestión en el Área Metropolitana de San Salvador y se observó la distribución del volumen de personas movilizadas en diferentes medios, entre otros. Adicionalmente, la empresa Steer realizó mediciones directas en campo para complementar la información recopilada con big data e incorporar los elementos que resultaran necesarios para elaborar el modelo de transporte público y privado del AMSS y los municipios de influencia.

Ahora, el Gobierno de El Salvador, a través del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) y el Viceministerio de Transporte (VMT), tiene en sus manos un estudio actualizado que es, en sí mismo, una herramienta para que la toma de decisiones sea más efectiva en materia de planificación de la movilidad. El estudio ofrece información sobre las vías más transitadas, las horas pico, la cantidad de vehículos que se desplazan en los períodos críticos, el flujo de pasajeros en el transporte público, entre otros. A partir de un escenario de transporte calibrado con esta información es posible simular el impacto de diferentes proyectos de infraestructura, por ejemplo, la creación de nuevas vías, la ampliación de carriles o los cambios de sentido vial. También permite evaluar modificaciones en la oferta de transporte público considerando, por ejemplo, la creación de un metro ligero o el reordenamiento de las rutas de transporte público.

Este estudio es por ahora un primer insumo. Para los futuros planes del Gobierno de El Salvador, basados en una mayor precisión en la toma de decisiones relativas a las mejoras de movilidad en el Área Metropolitana de San Salvador, será preciso realizar una constante validación de estos recursos.

Introducción

La movilidad es uno de los principales factores que aportan al desarrollo de las ciudades. La información y los mecanismos para su estudio avanzan y evolucionan a pasos agigantados. Por ello, es importante hacer uso de mecanismos tecnológicos que permitan obtener información en tiempo real a fin de entender e intervenir en la planificación de la movilidad.

Las formas tradicionales de análisis y recolección de datos se realizan desde hace más de 15 años siguiendo una metodología efectiva. No obstante, estas modalidades se están modificando de manera radical con la llegada de las nuevas tecnologías; no por los datos que ofrecen sino por el ahorro de recursos que conllevan.

Muchas veces las herramientas se encuentran al alcance de la mano, pero se desconoce su poder. Enfocarse en los comportamientos de la población – qué hace, dónde y cómo; cuáles son sus necesidades dentro y fuera de casa; cuales son los horarios de las actividades diarias, entre otros – brinda elementos clave para la determinación de soluciones que, a futuro, brinden mejores expectativas para los ciudadanos.

La presente nota técnica hace referencia al uso de la tecnología como un mecanismo que permite analizar los datos de movilidad de los ciudadanos; estudiarlos detenidamente, y comprender cuáles son sus patrones de comportamiento con el fin de diagnosticar problemáticas, proyectar escenarios futuros de movilidad y planificar de modo más eficiente.

2. Contexto

Analizar la movilidad de las ciudades no ha sido nunca una tarea fácil. El volumen de datos que se necesitan para estimar las relaciones matemáticas que subyacen a los modelos de transporte es de una gran magnitud y constituye un costo significativo para las ciudades o regiones que desean contar con este tipo de herramientas.

Estudiar los modelos de transporte requiere de un proceso minucioso de recopilación de información que incluye la recolección de datos estadísticos mediante el censo o el catastro; la realización de encuestas domiciliarias y de interceptación, y el conteo de vehículos y pasajeros así como el levantamiento de velocidades de recorrido. Estas tareas son tradicionalmente realizadas de forma “análoga”, es decir, mediante la visita a los hogares, la realización de encuestas en vía, el aforo de vehículos y personas mediante observación visual, el uso de papel o de algún mecanismo mecánico o digital. La mayoría de herramientas requieren también algún proceso de digitalización de la información, y debido al tiempo y al costo que éstos implican, se terminan dilatando los análisis para la obtención de resultados.

Los métodos tradicionales resultan costosos, consumen una gran cantidad de tiempo, equivalen a una muestra representativa pero pequeña, y al considerar una cantidad variable, son difíciles de actualizar.

Identificar las variables de la movilidad urbana y analizarlas, puede contribuir con la efectividad a corto y mediano plazo, pero a su vez requiere garantizar la capacidad técnica y los recursos necesarios para la toma de decisiones y la implementación de soluciones de movilidad de manera sostenida.

Muchas aglomeraciones urbanas del mundo siguen llevando a cabo estos ejercicios con cierta periodicidad en tanto que son necesarios para medir el estado y la calidad de la movilidad. También, se desarrollan como fuente de insumos para la preparación y/o actualización de los modelos de transporte. Los modelos basados en actividades conceptualmente se pueden considerar superiores a los que se sustentan en viajes pero imponen necesidades aún más significativas de datos que los que pueden proveer los ejercicios censales aplicados con cierta periodicidad y calidad. Estos últimos, posibilitan el desarrollo práctico de aproximaciones.

A la fecha, aún es limitado el número de herramientas de este tipo que han sido desarrolladas fuera del continente americano. Intentos más ambiciosos de simular relaciones económicas urbanas, como la integración de modelos de transporte, uso del suelo o empleo, requieren mayor cantidad de datos e imponen grandes retos y dificultades a los modeladores.

Frente a esta situación, es interesante estudiar cómo el desarrollo de tecnologías de la información y la comunicación abren nuevas oportunidades para la captura y el proceso de datos con aplicaciones directas en la modelación de transporte.

Existen diferentes fuentes de datos disponibles, dependiendo tanto de la ciudad como de los agentes privados:

Sensores: dentro de esta primera categoría se incluyen las cámaras de video, los sensores de presión neumáticos, los sensores de reconocimiento de pasos, los sensores electromagnéticos y los sensores Bluetooth y WiFi. Los sensores dan una información veraz y precisa. Por ejemplo, a través del *machine learning* se puede utilizar un video para determinar la frecuencia de paso de un tipo de vehículo. Sin embargo, estas fuentes de datos tienen una principal limitante ya que posibilitan una observación local que no funciona en red.

Dispositivos móviles: esta segunda categoría corresponde al grupo de datos de dispositivos móviles, entre éstos se encuentran elementos como GPS de navegadores de conducción, aplicaciones móviles como Twitter, CDR, validaciones con tarjetas inteligentes – *Smart Cards*– y otros. Los dispositivos móviles brindan información flexible en cuanto a tiempo y espacio; a partir de éstos, el perímetro de estudio puede ser ampliado fácilmente y la restricción tradicional del “día típico” tiene tendencia a desaparecer. Sin embargo, tal y como sucede con los sensores, tienen limitantes. Por ejemplo, el GPS no permite determinar el tipo de vehículo utilizado ni la cantidad de personas en el auto, las *Smart Cards* no suelen dar a conocer el punto de bajada del usuario y solo alcanzan a usuarios de transporte público. Además, los CDR dependen de la penetración celular y de su uso.

La solución más eficiente se genera con el uso combinado de diferentes fuentes de información a partir de metodologías y algoritmos que permitan sacar el mayor provecho de cada una.

Dos ejemplos de estas tecnologías son:

- El uso del servicio de registro de posicionamiento GPS de Google en dispositivos Android.
- El uso del servicio de registro de detalles de llamadas (CDR, por sus siglas en inglés).

En el caso del uso de la información de GPS de la telefonía móvil, según *International Data Corporation* (IDC), en 2018, el 85% del mercado a nivel mundial, le pertenecía a Android, mientras que el 15% le pertenecía a iOS de Apple². En El Salvador, en el transcurso de 2019, el porcentaje de usuarios Android es del 89,16%³. Según un estudio de la Universidad de Vanderbilt, desarrollado en Tennessee en 2018, un dispositivo móvil de Android reporta en promedio 14,2 datos de localización por hora. Por el contrario, los dispositivos iOS reportan en promedio 0,042 datos de localización por hora⁴.

La cobertura inalámbrica, brindada por las conexiones WiFi, ha permitido que la obtención de información de localización sea cada vez más fácil. Por ejemplo, según el mencionado estudio, en una caminata de 15 minutos en un área residencial, un dispositivo Android puede enviar hasta nueve consultas de localización a Google, por medio de identificación de redes inalámbricas.

La metodología de los CDR provee información producida por un teléfono u otro dispositivo de telecomunicación, documentando detalles de una llamada o de otro intercambio de información, como mensajes de texto, pero no ofrece el contenido de las mismas. Este recurso contiene varios atributos de la llamada - la hora, la ubicación, los números de destino, etc.- que permiten recabar suficientes datos para la toma de decisiones ante cualquier situación, por ejemplo, en este caso para el transporte.

Las ventajas de este tipo de datos son:

- La recolección pasiva que evita un sesgo en el comportamiento del usuario y brinda más objetividad.
- La obtención de datos históricos y en tiempo real.
- La composición de una muestra mucho mayor que podría corresponderse con el porcentaje de cobertura de usuarios del operador móvil.
- Hay sensores (antenas de telefonía móvil) con amplia cobertura en las zonas estudiadas debido a una mayor densidad en lugares de mayor circulación de usuarios.

2. IDC Corporate USA. (2019). Recuperado de Smartphone Market Share: <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/os>

3. Statcounter (2019). Mobile, Tablet & Console Operating System Market Share in El Salvador, September 2019. Recuperado de: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile-tablet-console/el-salvador>

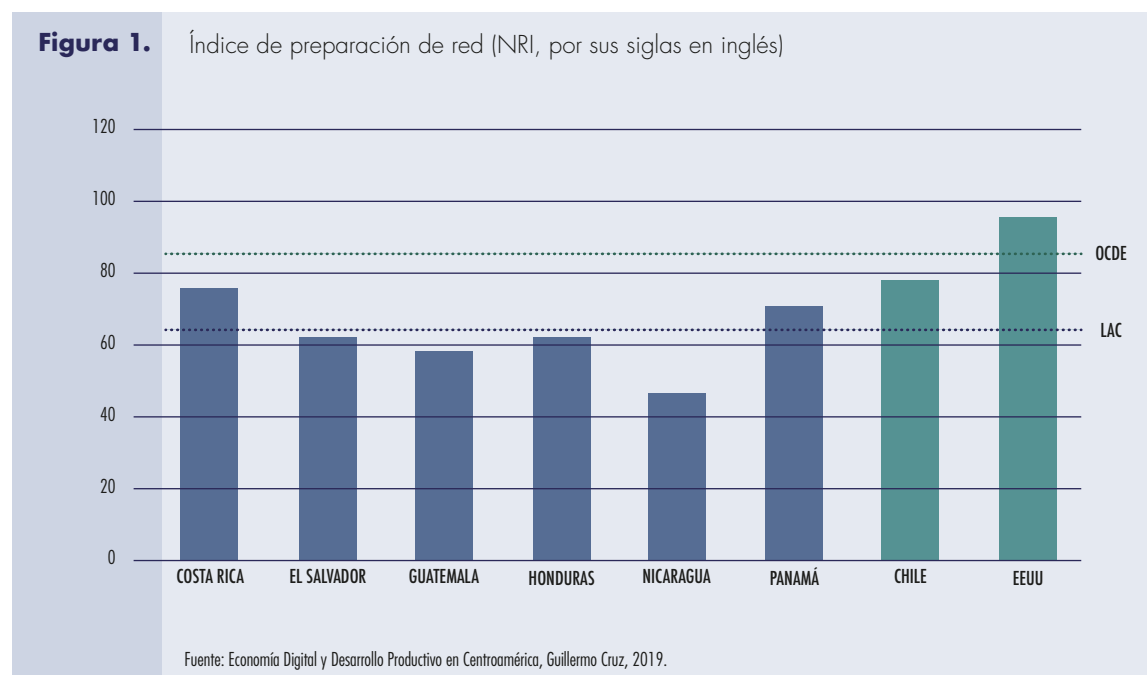
4. Schmidt, P. C. (2018). Google Data Collection. Nashville, Tennessee, Estados Unidos.

- Los costos y las demoras de obtención son razonables.

A partir de los datos procesados obtenidos se reconstruyen los hábitos de estadía y viaje de los usuarios de dispositivos móviles. Los eventos – es decir, una llamada, mensaje de texto, uso de la red de datos, etc.- permiten determinar con un cierto grado de precisión el posicionamiento del usuario, por ejemplo, cuando dos eventos ocurren en el mismo perímetro se puede considerar una estadía. En el caso particular de El Salvador, se determinó que una “estadía” estaría conformada por dos eventos separados por un máximo de 30 minutos.

Este tipo de aplicaciones surgen del big data, en otras palabras, de la información que se puede acceder gracias al uso de la tecnología. La big data puede ser aprovechada para analizar diferentes valores, aspectos y situaciones que conlleven una decisión para la mejora de los servicios. Sin embargo, la penetración de teléfonos móviles y la cobertura con banda ancha móvil implican todavía un reto para la obtención de datos en la región de América Latina y el Caribe (ALC).

Existen análisis sobre la situación de la región frente al acceso de estas tecnologías que permiten identificar la base que sustentan las investigaciones sobre los modelos de transporte. Estudios recientes muestran que la región, en promedio, se encuentra por debajo de los niveles de los países de la OCDE en cuanto a la penetración y uso de tecnologías de telefonía celular y de banda ancha móvil, como se puede observar en las siguientes figuras (Figuras 1 y 2).

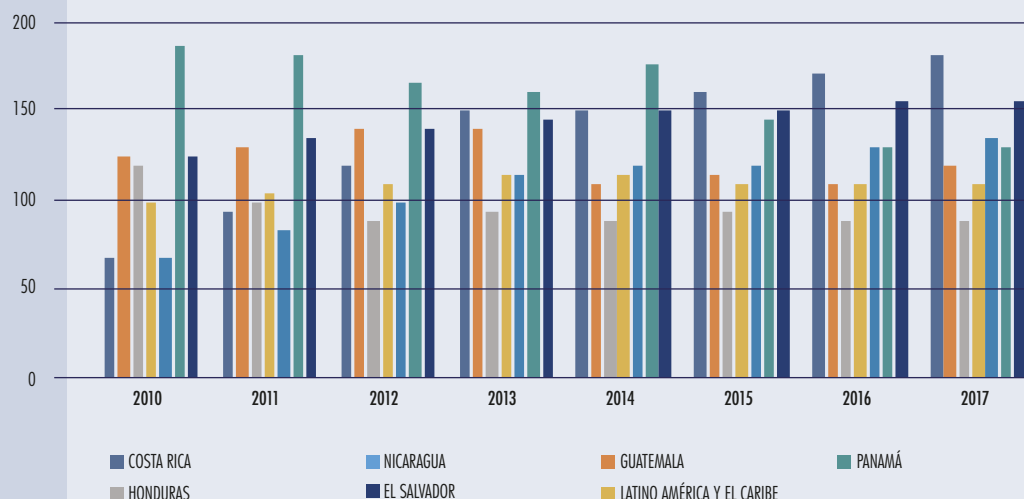


Además de las limitaciones existentes por la penetración y el uso de tecnologías de telefonía celular y de banda ancha móvil, uno de los desafíos más importantes para lograr integrar los datos provenientes de éstas en la modelación del transporte es lograr el acceso y determinar el nivel de información que se puede obtener.

Algunas de las iniciativas que han tomado relevancia a nivel global fueron desarrolladas por ciudades o países que cuentan con proveedores que poseen un particular interés en el área. En este sentido, se destaca, por ejemplo, el Programa de Ciudadanos Conectados de Waze (*Connected Citizens Program* o CCP, por sus siglas en inglés), que se ha desarrollado en los Estados Unidos y se está comenzando a extender en América Latina⁵.

5. Programa Nacional de Investigación de Carreteras Cooperativas, National Cooperative Highway Research Program (NHCPR), 2019.

Figura 2. Suscripciones a celular / 100 habitantes



Fuente: Economía Digital y Desarrollo Productivo en Centroamérica, Guillermo Cruz, 2019.

El documento “*Practices on Acquiring Proprietary Data for Transportation Applications*” (2019) de la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina⁶, permite tomar como referencias las experiencias realizadas en algunos estados de los Estados Unidos, como Ohio, Wisconsin, Arizona y Kentucky; y algunas iniciativas de América Latina implementadas en Neuquén (Argentina); el metro de Lima (Perú); el metro de Quito (Ecuador) y Sao Luis (Brasil), entre otros. En estos casos, se pueden identificar algunas prácticas exitosas que, en líneas generales, se podrían considerar oportunidades para aprovechar, a saber:

- Legislación que modifique o adapte las reglas sobre privacidad con el objetivo de liberar la mayor cantidad de datos sin que esto genere problemas de seguridad para las fuentes.
- Regulación, a través de procesos acordados, para la compra o compartición de los datos.
- Incorporación de presupuestos y equipos para el manejo de datos dentro de las organizaciones y agencias del Estado que trabajan con transporte.
- Incorporación de obligaciones de reporte y acceso a datos en aquellos procesos o compras de servicios por parte del Estado. Las oportunidades que ofrezcan podrían ser costeadas, cobradas y realizadas en el marco de los contratos correspondientes.
- Formación de los equipos internos de las entidades y agencias encargadas del sector transporte en esta área del conocimiento, así como una mayor inversión en los equipos y softwares necesarios.
- Construcción de alianzas para el acceso a los datos a través de acuerdos o convenios marco específicos entre entidades de gobierno y proveedores de datos, que reduzcan los costos de transacción, optimicen el tiempo de negociación y validen procesos de acceso y seguridad.
- Revisar y, en lo posible, conseguir acuerdos de largo plazo para la actualización de equipos, licencias y procesos de planificación, con el objetivo de poder generar procesos que puedan repetirse, estandarizarse y llegar incluso a aplicaciones dinámicas en tiempo real. Esto queda

6. Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina 2019. *Practices on Acquiring Proprietary Data for Transportation Applications*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25519>.

limitado por la poca flexibilidad del marco de contratación de las administraciones gubernamentales para este tipo de adquisiciones, requiriendo, por ende, la revisión de estos marcos.

Los últimos diez años han transformado la forma en que la población y las organizaciones se relacionan con los datos y la tecnología. Varios hechos han generado este cambio: la masificación de la tenencia y uso de dispositivos de uso personal (teléfonos celulares inteligentes, tabletas, relojes integrados a telefonía celular, dispositivos GPS personales, tarjetas para pago sin contacto), así como la ubicación de servicios de voz y datos principalmente en las áreas urbanas.

En paralelo a este desarrollo, la capacidad de computación distribuida⁷ ha aumentado de forma exponencial, permitiendo que buena parte de los procesos no dependan de la posesión de equipos sino de la suscripción a servicios. Como ejemplos se pueden mencionar servicios como *Software as a Service* (SaaS) y *Cloud Computing*. Para utilizar el servicio de SaaS, el usuario no tiene que obtener una copia física del software, sólo necesita comprar el acceso como si fuese una suscripción en línea. En forma similar, *cloud computing* ofrece al usuario la capacidad computacional que requiere para sus procesos sin tener que comprar equipo físico. La ventaja de ambos es que liberan al usuario de comprar componentes físicos posibilitándole mayor flexibilidad respecto de la cantidad de capacidad y tipo de servicio. El resultado de esta nueva condición, enmarcada en lo que algunas organizaciones y expertos llaman la Cuarta Revolución Industrial⁸, es el origen de los grandes cambios que se dan también en la modelación del transporte.

El siguiente cuadro describe algunos elementos analizados en materia de movilidad y la oportunidad actual de poder abordarlos mediante el uso de tecnología:

Elemento	Aproximación tradicional	Oportunidad
Red vial	Recorridos de campo, tratamiento de mapas, aerofotografías, imágenes satelitales	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento de mapas basados en datos abiertos, como Open Street Map. • Uso de servicios de imágenes de ciudades (<i>Google Street View</i>). • Recorridos con cámaras de alta definición, vinculadas con GPS y mapas abiertos de referencia. • Detalle de malla vial a través de videos con drones equipados con cámaras de alta definición y tratamiento de imágenes. • Sistemas colaborativos.
Rutas	Información oficial de autoridades, recorridos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas colaborativos. • Recorridos con cámaras de alta definición, vinculadas con GPS y mapas abiertos de referencia. • Generación de GTFS estáticos y dinámicos por autoridades, proveedores de servicios de telecomunicaciones para pago, planificación y uso de vehículos. • Encuestas ad hoc a usuarios de telefonía celular, aplicaciones digitales o redes sociales. • Tratamiento de transacciones de pago o validaciones geolocalizadas.
Tarifas	Información oficial de autoridades, recorridos	<ul style="list-style-type: none"> • Encuestas ad hoc a usuarios de telefonía celular, aplicaciones digitales o redes sociales. • Tratamiento de transacciones de pago o validaciones geolocalizadas para los distintos modos de transporte. • Registro de transacciones asociadas a subsidios o tarjetas de distinta tipología.
Características operacionales de la red	Muestreo de indicadores sobre la red	<ul style="list-style-type: none"> • Registro de velocidades de transporte privado a través de consultas a información de tráfico de Google, obtenida por medio de crowdsourcing. • Registro de centros de monitoreo a la operación de sistemas de transporte público. • Registro de movimiento de aplicaciones de navegación Waze o <i>Google Maps</i>.

7. La computación distribuida es un modelo para resolver problemas de computación masiva que utiliza una gran colección de computadoras separadas físicamente y conectadas entre sí por una red de comunicaciones.

8. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834>.

3. Desarrollo conceptual técnico

3.1 ¿Qué es un modelo de transporte?

El transporte es uno de los rubros sociales que siempre ha implicado el desarrollo de numerosos estudios para develar su estructura, funcionalidad y proyección. Justamente dichos estudios permiten crear un mejor panorama de la realidad de la movilización, del cual surge la terminología “modelo de transporte”.

Este término, también conocido como modelación de la demanda de transporte, permite estimar los flujos de pasajeros o vehículos que hay en una red de transporte en cada uno de los modos considerados para escenarios futuros. A grandes rasgos, existen dos grupos de modelos: (i) los modelos basados en viajes, en los cuales la unidad de análisis es un viaje entre un origen y un destino; y (ii) los modelos basados en actividades, en donde se estudia la cadena de viajes realizados en un día completo (según la serie de actividades efectuadas).

Ambos grupos de modelos forman parte fundamental de los insumos para la toma de decisiones en la materia, ya sea a través de la planificación de rutas viales como del ordenamiento del transporte público. También, las mejoras pueden incluir medidas de carácter general, políticas públicas, regulaciones legales o restricciones. Todas estas acciones pueden ser medibles en términos de comportamiento.

Una vez definidos los objetivos de estudio relacionados con transporte se debe decidir cómo definir políticas y cómo invertir los siempre limitados recursos para lograr el mayor impacto. Los modelos de transporte permiten obtener información cuantitativa sobre el desempeño futuro de los sistemas de transporte y evaluar diferentes alternativas. Dentro de las metodologías estándar más utilizadas se encuentra el clásico modelo de 4- etapas⁹ que se describe más adelante.

3.2 ¿Para qué sirven estos modelos?

Los modelos matemáticos de movilidad se han empleado durante más de sesenta años para simular los deseos de viaje y los flujos de vehículos de carga y personas que se generan en ciudades y regiones. Originalmente estas herramientas surgieron para soportar el desarrollo de infraestructura vial pero luego ampliaron su campo de acción para apoyar el estudio de proyectos de infraestructura de transporte público, y más recientemente, para acompañar el diseño de planes de movilidad, medidas de gestión de la demanda y otros ejercicios similares. Las exigencias sobre estas herramientas aumentan, y a diferencia de los primeros años en los que funcionaban como “cajas negras”, cada vez se pretende que sean más transparentes e interoperables.

Este tipo de modelos son fundamentales para, al menos, dos tareas frecuentemente necesarias en la movilidad: (a) análisis de la demanda de usuarios, que caracterizan el diseño y dimensionamiento de la infraestructura, el material rodante y los sistemas complementarios que se requieren para prestar servicios de transporte; y (b) estimar los beneficios que pueden traer las inversiones para construir infraestructura y ofrecer servicios de transporte.

Los estudios de este tipo permiten representar diversas situaciones, como el volumen de vehículos y pasajeros, la velocidad de vehículos livianos y buses, el tiempo de viaje, la distancia de viaje, el costo generalizado, la partición modal, la relación volumen/capacidad y los puntos críticos del área del modelo, entre otros aspectos.

Además, permiten evaluar el impacto de acciones como el desarrollo de nuevas vías/arterias, la mejora de algunas características de las existentes y la modificación de la oferta de transporte público (modificación de tarifas, modificación de infraestructura, etc.).

⁹ Ortuzar, Willumsen (2011). *Modelling Transport*.

4. Modelos de transporte por métodos tradicionales reforzados por las nuevas oportunidades con el uso de big data

La inclusión del big data en la modelación de transporte representa, al menos inicialmente, una oportunidad para levantar, procesar, analizar e integrar en las herramientas de modelación al número cada vez mayor de datos que literalmente se están produciendo cada segundo.

La inteligencia artificial, y otras prácticas denominadas en inglés “machine learning”, pueden incrementar aún más la profundidad de las transformaciones brindando nuevas oportunidades. En este momento, ya hay varias iniciativas para integrar estos desarrollos con vehículos autónomos y servicios personales que pueden sobrepasar lo que hoy ya se disfruta con la entrada de redes bajo la especificación 5G.

A continuación, se describen de forma sintética los datos base que se emplean en cada uno de los pasos de la metodología tradicional de 4-etapas. En paralelo, se describe la oportunidad que hoy se presenta a partir de los cambios en tecnologías y la incorporación de big data. Es importante anotar que la oportunidad no implica necesariamente el reemplazo completo de las herramientas tradicionales, sino que abre la puerta para la “fusión de datos”, optimización de procesos y análisis dinámicos con relación a la demanda de viajes.

También corresponde especificar que este documento se desarrolla sobre la base de los modelos tradicionales de 4-etapas, que estudian: (a) modelos de generación y atracción de viajes, (b) modelos de distribución espacial, (c) modelos de elección modal y (d) modelos de asignación de viajes; con sus interacciones y ciclos de retroalimentación.

Tipo de modelo	Propósito	Herramientas tradicionales	Oportunidades
1. Generación y atracción de viajes	<p>Estimar el número de viajes que salen y/o llegan a determinada unidad geográfica de análisis.</p> <p>Vectores fila y columna de la matriz Origen-Destino.</p>	<p>Encuestas de hogares domiciliarias, censos, información asociada a servicios públicos tradicionales (agua, energía, telefonía fija).</p> <p>Registro de vehículos o pago de impuestos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Penetración de cuentas celulares o suscripciones a servicios de internet domiciliario. • Profundización y transformación de encuestas remotas o entrevistas personales asistidas por computadoras (CAPI por su nombre en inglés: Computer-Assisted Personal Interviewing). • Información asociada a tarjetas de pago de transporte público sin contacto. • Información asociada a dispositivos embarcados para pago de peajes y/o estacionamientos. • Aforos con drones y tratamiento de imágenes vinculados. • Uso de redes sociales

Tipo de modelo	Propósito	Herramientas tradicionales	Oportunidades
2. Distribución de viajes	<p>Estimar el número de viajes entre cada par de unidades geográficas de análisis.</p> <p>Celdas de la matriz Origen-Destino</p>	Encuestas domiciliarias, aforos de pasajeros y vehículos, encuestas de interceptación.	<ul style="list-style-type: none"> Seguimiento geográfico y temporal de la señal y/o uso de teléfonos celulares. Datos generados por aplicaciones de telecomunicaciones empleadas para planear, pagar y realizar por el viaje. Tratamiento de datos de transacciones de dispositivos embarcados para el pago de peajes o estacionamientos. Tratamiento de datos de transacciones de tarjetas de pago de transporte público. Tratamiento de datos de transacciones de modos de sistemas de micro movilidad (bicicletas públicas, patinetas, etc). Tratamiento de datos e imágenes provenientes de cámaras asociadas a semáforos o sistemas de seguridad. Sistemas de seguimiento satelital de vehículos para control o seguridad. Encuestas ad hoc a usuarios de telefonía celular, aplicaciones digitales o redes sociales.
3. Elección modal	<p>Estimar la probabilidad y/o proporción de viajes realizados en distintos modos de transporte.</p> <p>Obtención de distintas matrices Origen-Destino</p>	Encuestas de preferencias declaradas o reveladas.	<ul style="list-style-type: none"> Encuestas ad hoc a usuarios de telefonía celular, aplicaciones digitales o redes sociales. Datos generados por aplicaciones de telecomunicaciones. empleadas para planear, pagar y realizar por el viaje. Encuestas <i>on-line</i>.
4. Asignación	Obtención de rutas, estimación de tiempos y costos de desplazamiento por etapa y por viaje.	Mediciones de aforos vehiculares y de pasajeros, medición de tiempos y velocidades.	<ul style="list-style-type: none"> Tratamiento de datos e imágenes provenientes de cámaras asociadas a semáforos o de seguridad Aforos con drones y tratamiento de imágenes vinculadas. Datos de velocidades y tiempos reportados por aplicaciones de planificación, pago y ejecución de viajes. Tratamiento de datos de dispositivos embarcados para pago de peajes. Tratamiento de datos de dispositivos para pago de transporte público. Tratamiento de datos de dispositivos que facilitan la micro movilidad. Encuestas ad hoc a usuarios de telefonía celular, aplicaciones digitales o redes sociales.

En el caso de El Salvador se utilizaron varios de estos métodos, además de la obtención de matrices a partir de datos CDR. Particularmente, se implementaron:

- Encuestas de preferencias declaradas *online* para la elaboración del modelo de elección discreta que determina el valor subjetivo de los diferentes segmentos de población.
- Datos de velocidades y tiempos reportados por aplicaciones de planificación y ejecución de viajes.

En otras ciudades de ALC, se ha incluido también:

- Aforos con drones y tratamiento de imágenes vinculadas.
- Tratamiento de datos e imágenes provenientes de cámaras asociadas a semáforos o sistemas de seguridad.

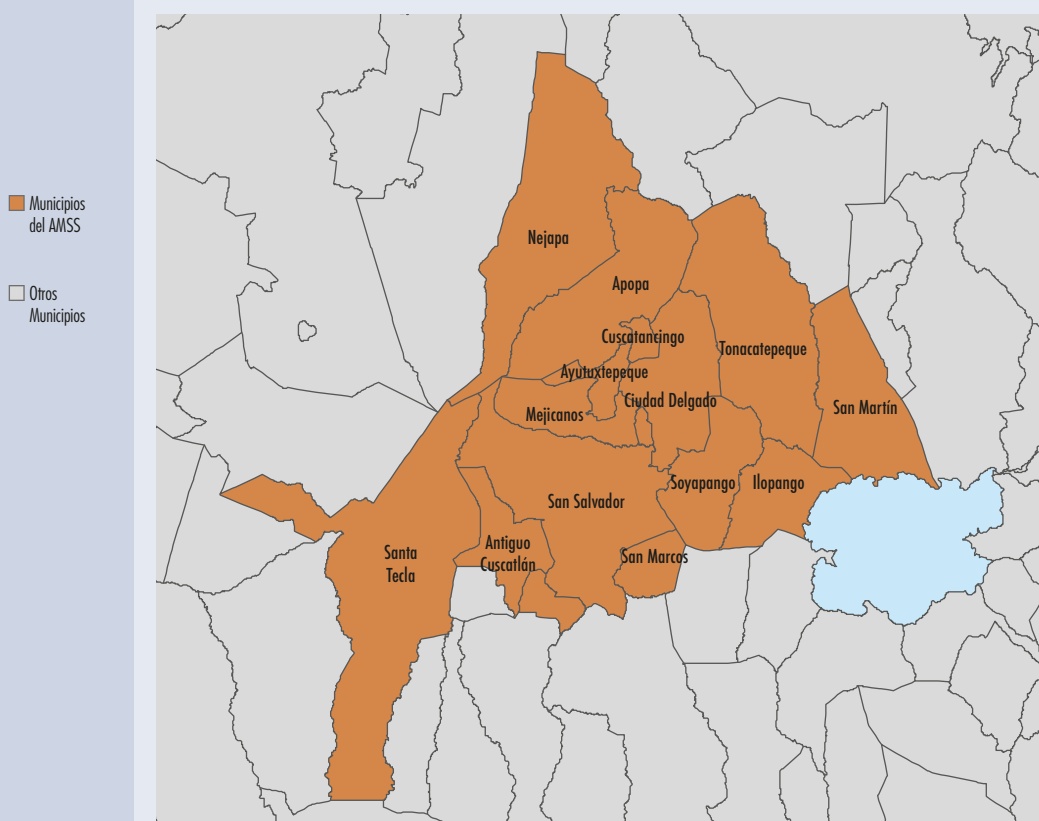
En las sociedades donde la urbanización sigue patrones irregulares o donde la nomenclatura de calles estandarizada tiene un bajo nivel de desarrollo, así como en zonas donde hay dificultades de acceso y seguridad para completar encuestas detalladas como las que han dominado los procesos de modelación en las últimas cinco décadas, los avances mencionados con el uso de big data se convierten en oportunidades muy valiosas.

Este es el caso de las áreas urbanas de las ciudades de ALC. A pesar de los indicadores que cubren los procesos de digitalización de las comunidades, las zonas urbanas de las ciudades ofrecen la posibilidad de trabajar con nuevas y diversas fuentes de información, cuyo manejo resulta clave para un mejor diagnóstico de problemáticas de movilidad y para la proyección de soluciones a mediano y largo plazo.

5. Caso de El Salvador: modelo de transporte del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)

El AMSS está compuesta por 14 municipios dentro de los que se encuentra la ciudad capital del país: San Salvador (ver Figura 3). Esta área reúne aproximadamente a 1.800.000 habitantes, que representan el 27% del total de la población del país. Allí se genera aproximadamente el 70% de la inversión pública y privada del país, y el 55% del PIB nacional.

Figura 3. Municipios del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)



Fuente: Elaboración propia.

A mediados de 2019, el parque vehicular de El Salvador era de aproximadamente 1.200.000 de vehículos y en los últimos cinco años ha crecido a un ritmo aproximado del 8% anual. Del total del parque vehicular, 960.000 se encuentran en San Salvador y generan un estimado de 2.500.000 de viajes motorizados diarios. En el AMSS transitan 162 rutas de transporte público, las cuales tienen aproximadamente 4.600 vehículos (buses y autobuses).

La dinámica de la ciudad y el crecimiento del parque vehicular han comenzado a generar problemas de congestión en diversos puntos de la ciudad, alcanzando en aproximadamente el 25% de la red vial, velocidades inferiores a los 20 km/h.

En El Salvador se han realizado diversos estudios de transporte. Uno de los primeros ejecutados bajo alternativas tradicionales fue el “Estudio de viabilidad y diseño preliminar del Eje Principal de Transporte Masivo del Sistema Integrado de San Salvador”, realizado en el año 2001 por el Consorcio IIPIT-Tahal. El mismo se utilizó para definir corredores potenciales de transporte masivo. En ese entonces se definieron un total de siete grandes corredores de buses, diez terminales de transferencia y una flota de aproximadamente 847 buses de gran capacidad (estimación para el año horizonte de 2015). Dicho estudio sirvió de base para crear un sistema de transporte basado en una red de corredores de alta capacidad, incluyendo el *Bus Rapid Transit* (BRT), por sus siglas en inglés), denominado Sistema de Transporte Metropolitano (SITRAMSS). Posteriormente, se realizaron estudios enfocados en cuencas específicas que permitieron plantear escenarios para su reestructuración.

Sin embargo, debido a la falta de información actualizada e integral para toda el AMSS, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) y el Viceministerio de Transporte (VMT), en su afán por contribuir a mejorar las condiciones de la movilidad para población, solicitaron al BID una Cooperación Técnica No Reembolsable que fue denominada “Actualización de las Matrices Origen-Destino y Modelo de Transporte del AMSS” (ATN/OC-16209-ES). A partir de ésta, se elaboró un Modelo de Transporte para el AMSS.

5.1 ¿Qué objetivo persiguió el Modelo de Transporte del AMSS?

El objetivo del modelo fue apoyar al Gobierno de El Salvador en los procesos de planificación urbana a través de la actualización de las matrices de viaje y del desarrollo de un modelo de transporte urbano para el AMSS, sobre la base de:

- La construcción de una línea base de la movilidad basada en información primaria y secundaria.
- El desarrollo de un modelo de asignación de transporte público y privado para el AMSS como herramienta de análisis.
- La creación de una herramienta de visualización de la dinámica de movilidad en el AMSS.

Adicionalmente, se capacitó al equipo del Viceministerio de Transporte (VMT) en el uso de la herramienta de modelación y se lo acompañó en la construcción de escenarios de simulación de la herramienta con el objetivo de ir generando capacidades al interior de la institución y que la herramienta pudiera ser aprovechada de mejor forma.

5.2 ¿Cómo se construyó el Modelo?

El Salvador es el primer país de la región centroamericana que cuenta con un modelo de este tipo, el cual fue construido empleando tecnología de big data y datos georreferenciados, entre otros.

Para construir las matrices de demanda base del modelo se utilizó la metodología de *Smart Steps* de LUCA-Telefónica, quienes a partir de información de CDR crearon las matrices origen – destino de la población. Posteriormente, la empresa Steer de Bogotá, desarrolló el modelo de transporte utilizando información de tráfico de Google obtenida por medio de *crowdsourcing* y conteos en campo para validar el modelo, entre otros.

El modelo resultante fue elaborado empleando el software EMME 4. Permite obtener un diagnóstico de la movilidad del área metropolitana en la actualidad (Modelo de Asignación) que tam-

bién podría evaluar su desempeño si se implementara algún proyecto de infraestructura o servicio de transporte público o privado.

La experiencia de El Salvador detalla cómo, a través del uso de la tecnología – en particular, de la metodología de información basada en los CDR y *crowdsourcing* - se pudo obtener información minuciosa sobre el sistema de movilización de la ciudadanía, convirtiéndose en un insumo importante para elaborar el Modelo de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).

5.3 ¿Cuál fue el proceso empleado para elaborar el Modelo?

En primer lugar, se partió de la revisión y recopilación de la información existente en el MOPT y en otras instituciones públicas, con la finalidad que ésta pudiera ser analizada e incorporada en las bases de datos del modelo. Parte de esta información fue:

- Red vial actualizada.
- Red vial de *Open Street Maps*.
- Inventario de rutas del transporte público.
- Información sobre estudios de tráfico para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de las rutas.

La misma, se complementó con información primaria recopilada, tal como:

- Aforos vehiculares.
- Muestreo de ocupación vehicular.
- Frecuencia y ocupación del transporte público y privado.
- Velocidades de circulación de tráfico mixto (vehículo privado y transporte público).

Adicionalmente, se utilizaron las matrices Origen-Destino obtenidas por Telefónica a partir de la metodología *Smart Steps*.¹⁰ La metodología empleada para la obtención de dichas matrices inició con la identificación de 133 zonas representativas - estadística y geográficamente- de la realidad urbana del AMSS (ver Figura 4) generando una base sólida de datos estadísticos que pudiera expandirse al universo poblacional. La misma está compuesta por el conjunto de teléfonos móviles de Telefónica que se encontraban en la región definida para el estudio, los cuales fueron debidamente anonimizados y agrupados según las zonas antes mencionadas.

El análisis de los flujos poblacionales se hizo sobre los datos del mes de marzo de 2018, el cual representa un mes típico durante el año, ya que regularmente en este mes no existen eventos atípicos que modifiquen los patrones de desplazamiento (fiestas, vacaciones, etc.).

Como parte de la elaboración de dichas matrices, Telefónica realizó encuestas por SMS con el objetivo de comprender los hábitos de las personas y mapear su resultado en relación al flujo poblacional observado. Así se facilitó la identificación de puntos a remarcar, al integrar todas las variables obtenidas.

Las encuestas fueron realizadas por medio de un enlace web que se envió por SMS. Allí se incluía un texto explicativo que solicitaba la adhesión al estudio en nombre de la asociación entre el BID y el Ministerio de Obras Públicas y Transporte de El Salvador, además de mencionar los objetivos que se procuraban lograr con el estudio.

10. *Smart Steps* es el primer servicio de Big Data de Telefónica que recopila, anonimiza y agrega datos móviles de la red de Telefónica para entender cómo se comportan los segmentos de la población en conjunto. Con un enfoque diferencial según el sector bajo estudio, se analizan las tendencias y los comportamientos de las multitudes, no individuos.

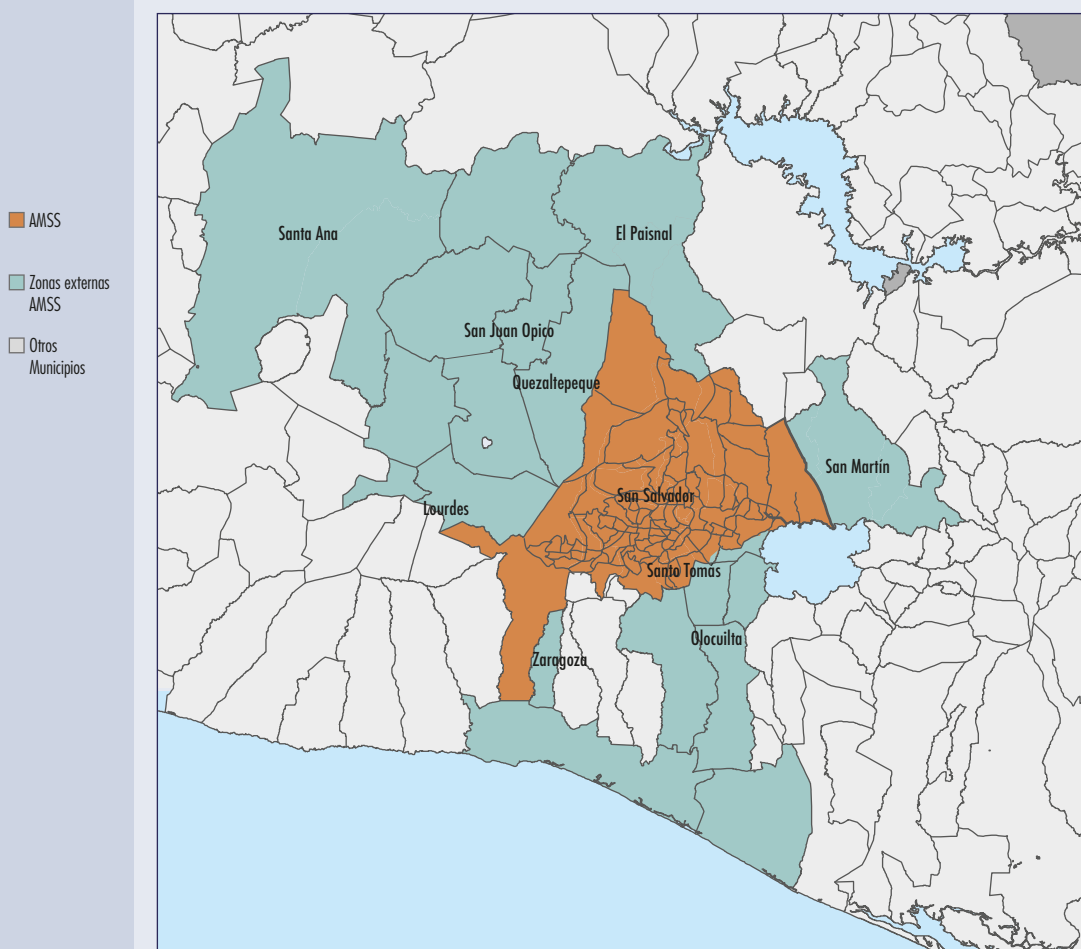
El contenido de la encuesta comprendió los siguientes conceptos:

- Motivo del primer desplazamiento realizado por los usuarios durante el día de la encuesta.
- Modo de transporte utilizado en dicho primer desplazamiento.
- Identificación de la edad de los encuestados.
- Identificación del género de los encuestados.

En el caso del Modelo de Transporte del AMSS, además de haber realizado las encuestas para determinar el modo y el motivo del primer viaje de los encuestados, fue necesario utilizar fuentes alternativas de información como la Encuesta de Hogares Propósitos Múltiples (EHPM) de 2017. Al comparar la distribución de la población según su modo de viaje (auto, moto, taxi, transporte público), contra los conteos en vía, el resultado de las EHPM y contrastarlo contra la opinión de expertos locales, se determinó que la encuesta SMS tenía un sesgo que favorecía el auto particular.

Hay que hacer notar, que debido a que estas metodologías son tan novedosas, el uso de información “tradicional” sigue siendo relevante para asegurarse de los resultados obtenidos, entre otros.

Figura 4. Zonificación para la elaboración de las matrices origen-destino del AMSS.



Fuente: Elaboración propia.

En relación con las velocidades de circulación del tráfico mixto se empleó una plataforma desarrollada por Steer. La misma permite consultar información en tiempo real de tramos específicos; a partir de los servicios de Google se puede obtener la velocidad para cada tramo de vía, día y período de tiempo definido. Esta plataforma utiliza la información geográfica de la red vial con el fin de identificar los tramos sobre los cuales se quiere acceder a información. Para cada red vial, se seleccionan los días y los periodos de tiempo en los que se quiere consultar información de tráfico. El sistema programa tareas de consulta y ofrece información independiente para cada arco de la red brindando un mayor nivel de detalle de las velocidades en cada uno de éstos. Cuando el proceso termina, se puede saber cuál fue el comportamiento de cada tramo en los diferentes periodos.

La información de tráfico de Google se obtiene por medio de *crowdsourcing*, una tendencia que en la actualidad lidera la obtención de grandes volúmenes de datos, a partir de los dispositivos móviles. Google obtiene la información de ubicación de cada dispositivo móvil con sistema operativo Android o con aplicaciones de Google Maps en funcionamiento.

Con esta información, Google puede determinar la velocidad a la que se están moviendo sus usuarios, así como el tramo vial que están usando. Luego de esto, Google calcula la velocidad promedio para cada tramo en cada instante de tiempo (la información se actualiza cada segundo). Es importante resaltar que antes de realizar el cálculo, Google realiza una limpieza de la información, con el fin de no considerar usuarios a pie o que transitan en vehículos con detenciones continuas (usuarios de bus).

Para obtener un dato de velocidad confiable para cada arco del modelo, la plataforma de Steer consulta la información provista por Google recurrentemente, durante el periodo deseado. Contar con información proveniente de muchos de usuarios permite mejorar la precisión de los resultados.

Los levantamientos de información en campo fueron necesarios para corroborar y completar la información obtenida a través de los CDR. A partir de los conteos de vehículos por modo, de la cantidad de personas de cada vehículo y de personas en cada vehículo de transporte público, se determina cual es el uso que le dan los habitantes del AMSS a los principales corredores viales, la tasa de ocupación del vehículo particular, el nivel de ocupación de las principales rutas, la congestión vial, las horas de máxima carga en horarios A.M y P.M, la variación horaria del tráfico, etc.

Esta información es indispensable para la calibración del modelo de transporte y para representar de la mejor manera la realidad de la movilidad del AMSS ya que por ahora es imposible determinarla a partir únicamente de los CDR.

Los parámetros de decisión del usuario se estimaron a partir de modelos de elección discreta basados en la aplicación de Encuestas de Preferencias Declaradas que consisten en registrar la elección que hace un individuo frente a escenarios hipotéticos y realistas. Los escenarios se definieron a partir de una caracterización previa de los viajes de los salvadoreños en el AMSS e incluyeron atributos de sus viajes como el modo de transporte, tiempo a bordo en el vehículo, tiempo de caminata, tiempo de espera, costo del viaje y transbordo. La consideración de estas variables permitió la construcción de la función de utilidad percibida por las personas encuestadas, asimismo fueron útiles para determinar elecciones de modo y para tener en cuenta en la modelación macro, el valor del tiempo de las personas.

Las encuestas se diseñaron y aplicaron en plataformas online mediante el uso de dispositivos móviles celulares, tabletas y computadores de personas que reportaran viajar en el AMSS. Esta opción permitió lograr una muestra adecuada para la estimación de los parámetros necesarios para el desarrollo del Modelo ya que posibilitó el registro de las preferencias de viaje de los salvadoreños que se desplazan dentro del área del AMSS considerando distintos perfiles socioeconómicos y los diversos modos de transporte disponibles en la ciudad. Adicionalmente, el software utilizado permitió hacer un seguimiento en tiempo real de las encuestas, facilitando así el control de la muestra y de la cali-

dad de los diseños y formularios y posibilitando la realización de ajustes inmediatos (en los casos que fueron requeridos) y sin generar interrupciones en la toma de información.

Luego, se analizó la información anteriormente mencionada con los objetivos de caracterizar la oferta vial, el valor del tiempo y los parámetros de decisión, y entender la demanda actual en el AMSS. Toda esta información fue incorporada al modelo, junto con los resultados de las matrices de Origen-Destino, provistas por Telefónica. Finalmente, la información de campo obtenida se utilizó para realizar una calibración del modelo.

5.4 ¿Cuáles son las características del Modelo?

El Modelo de Transporte del AMSS contiene las siguientes características:

Plataforma para la elaboración del modelo:

- EMME4 – EN45, de INRO

Elementos de la red:

- Arcos – conectores
- Nodos – Zonas
- Arcos – Red (+ de 5000 arcos en la red AMSS) (ver Figura 5)
 - Velocidad a flujo libre
 - Capacidad por carril
 - Número de carriles
 - Interferencias
 - Longitud
 - VDF, funciones de demora tiempo-intensidad
- Nodos – Red (+ de 3000 nodos en la red AMSS)
 - Giros permitidos y no permitidos
 - Demoras asociadas a cada giro
 - Semaforización

Modos precarga y livianos

- Modo camión pequeño
- Modo camión grande
- Modo auto – moto - taxi
- Modo caminata

Modos de transporte público modelo AMSS (ver Figura 6)

- Modo BRT
- Modo transporte público
 - Servicio exclusivo
 - Servicio ordinario
- Modo alimentador del BRT

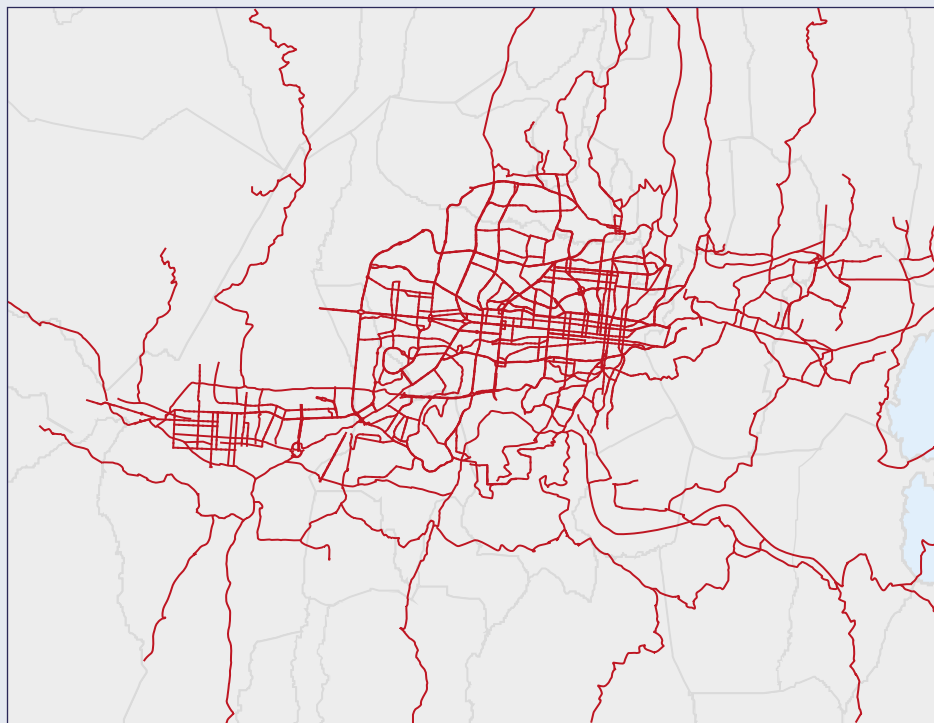
Atributos de rutas

- Intervalo
- Tarifa (según tipo de servicio)
 - Integrado para BRT
 - No integrado otros servicios
- Paradas

Tipos de vehículos

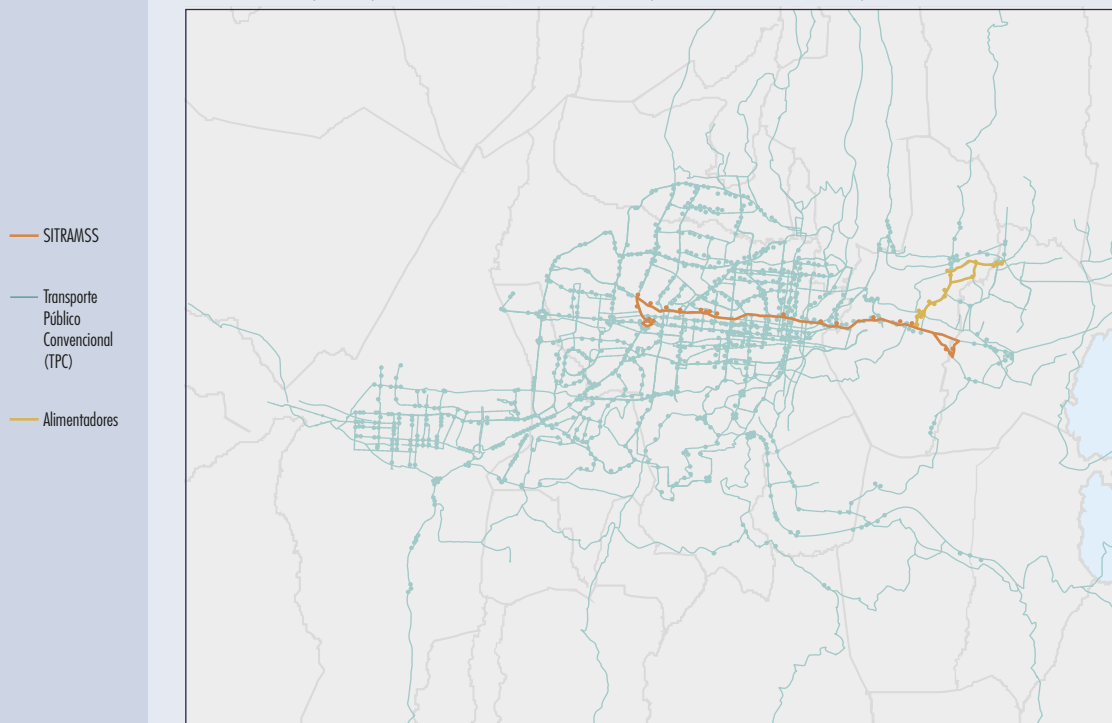
- Articulado
- Padrón
- Autobús
- Microbús

Figura 5. Elementos de la red del modelo de transporte del Área Metropolitana de San Salvador.



Fuente: Modelo de Transporte del AMSS, 2019.

Figura 6. Rutas del transporte público del modelo de transporte del Área Metropolitana de San Salvador.



Fuente: Modelo de Transporte del AMSS, 2019.

Actualmente, el modelo se encuentra en manos del MOPT y está disponible para evaluar el impacto de acciones, tales como el desarrollo de nuevas vías arteria, la mejora de las vías existentes y la modificación de oferta de transporte público (tarifas, infraestructura, etc.).

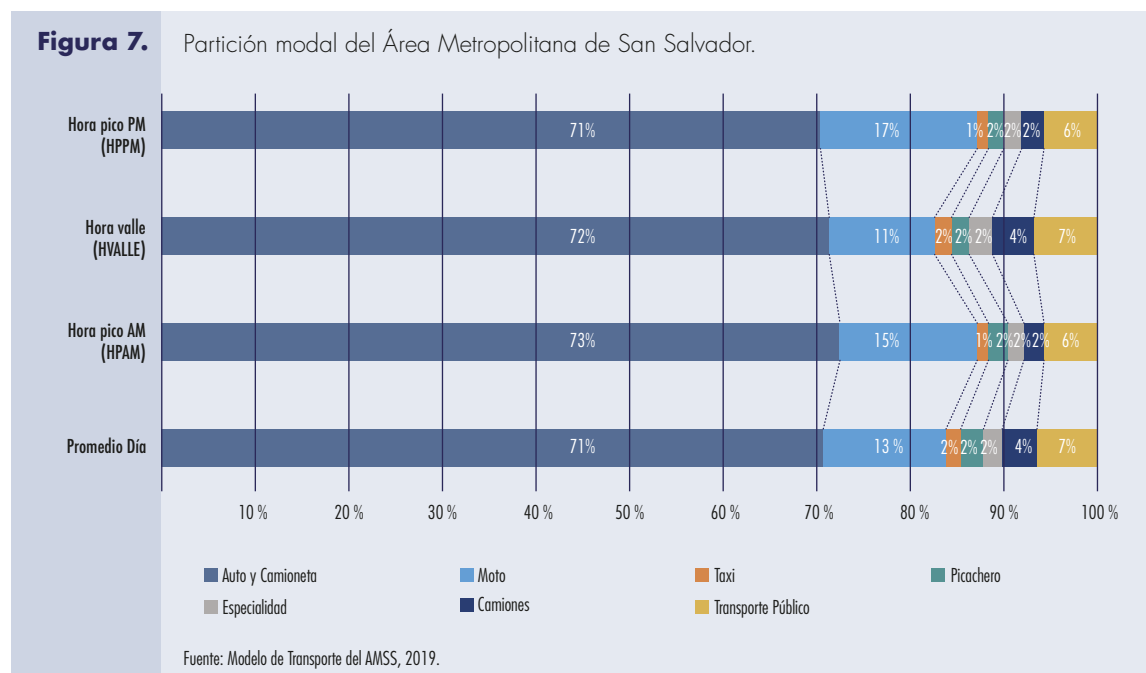
La introducción de este modelo conlleva también la necesidad de adquirir nuevas capacidades técnicas por parte del personal del MOPT y VMT. Respecto de esto último, se ha recomendado mantener y ampliar dichas capacidades para darle continuidad al uso del modelo e integrarlo en los análisis y en los casos concretos que aplica, día a día, el MOPT y VMT.

Los impactos se pueden medir a partir de indicadores, tales como:

- Volúmenes de vehículos y pasajeros.
- Velocidad de livianos y buses.
- Tiempos y distancias de viaje.
- Costo generalizado.
- Relación volumen/capacidad.
- Puntos críticos del área del modelo.
- Análisis de transferencias.

Otros datos que han sido retomados por el modelo son:

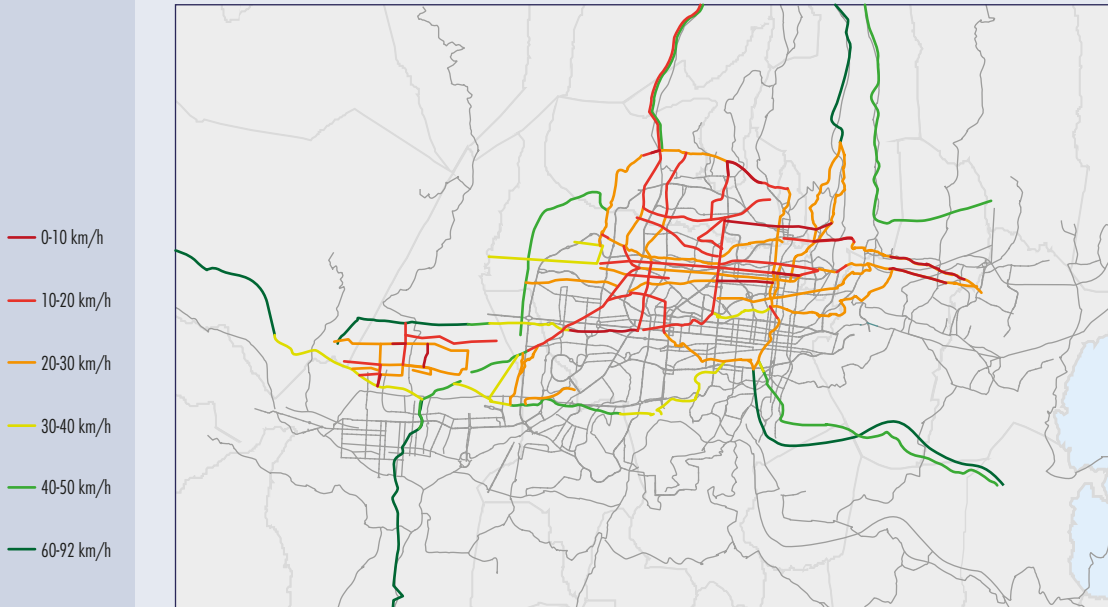
- Partición modal según el tipo de hora en la totalidad de la toma de campo (Figura 7).



- Volumen de pasajeros registrados en la totalidad de la toma de campo.
- Ocupación promedio de autos y camionetas.

- d. Cantidad de autos que se desplazan en las vías, sus horarios y las horas pico.
- e. Comportamiento de la velocidad por tipo de vía (Figura 8).

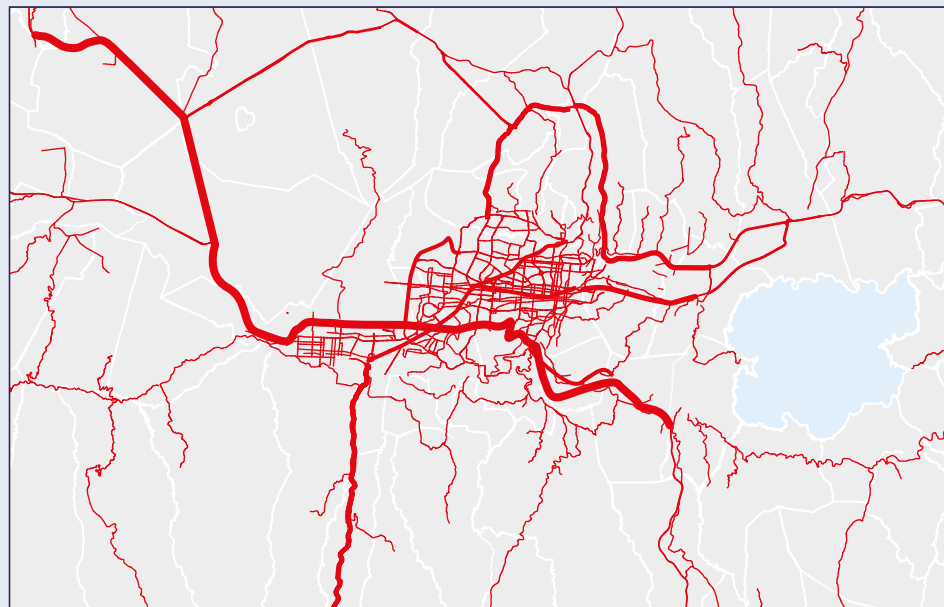
Figura 8. Comportamiento de la velocidad en el Área Metropolitana de San Salvador



Fuente: Modelo de Transporte del AMSS, 2019.

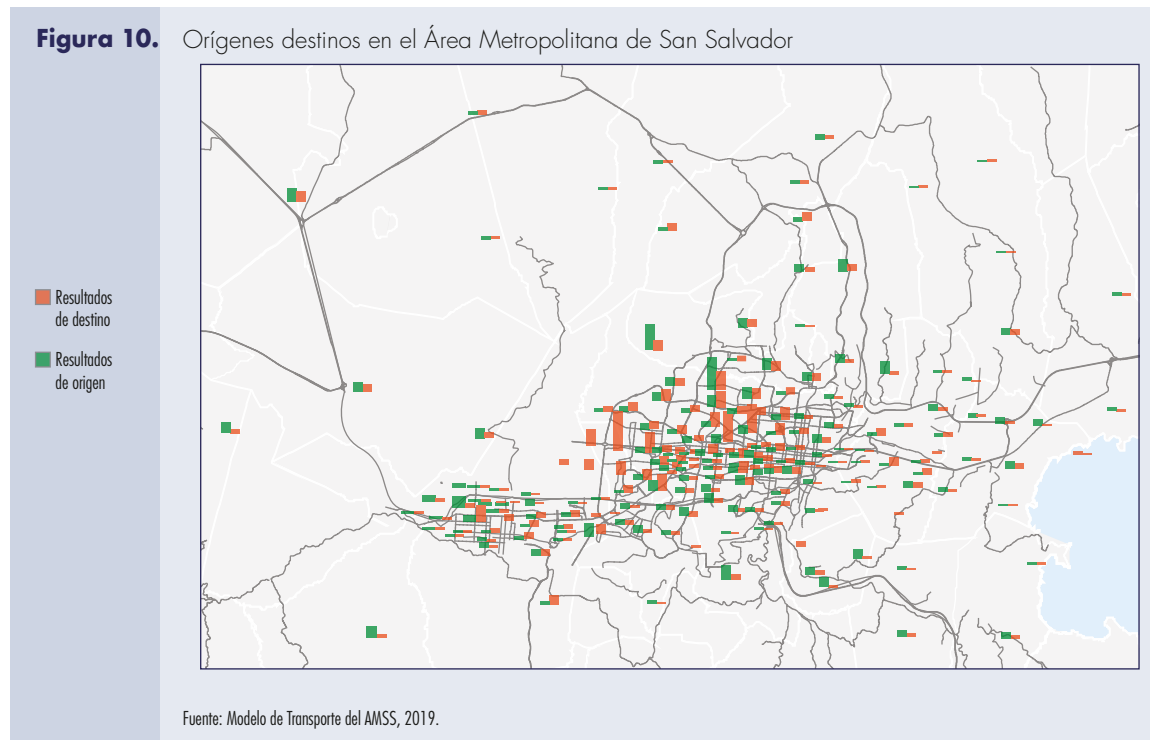
- f. Volumen de autos por corredor (Figura 9)

Figura 9. Volumen de autos por corredor en el Área Metropolitana de San Salvador.

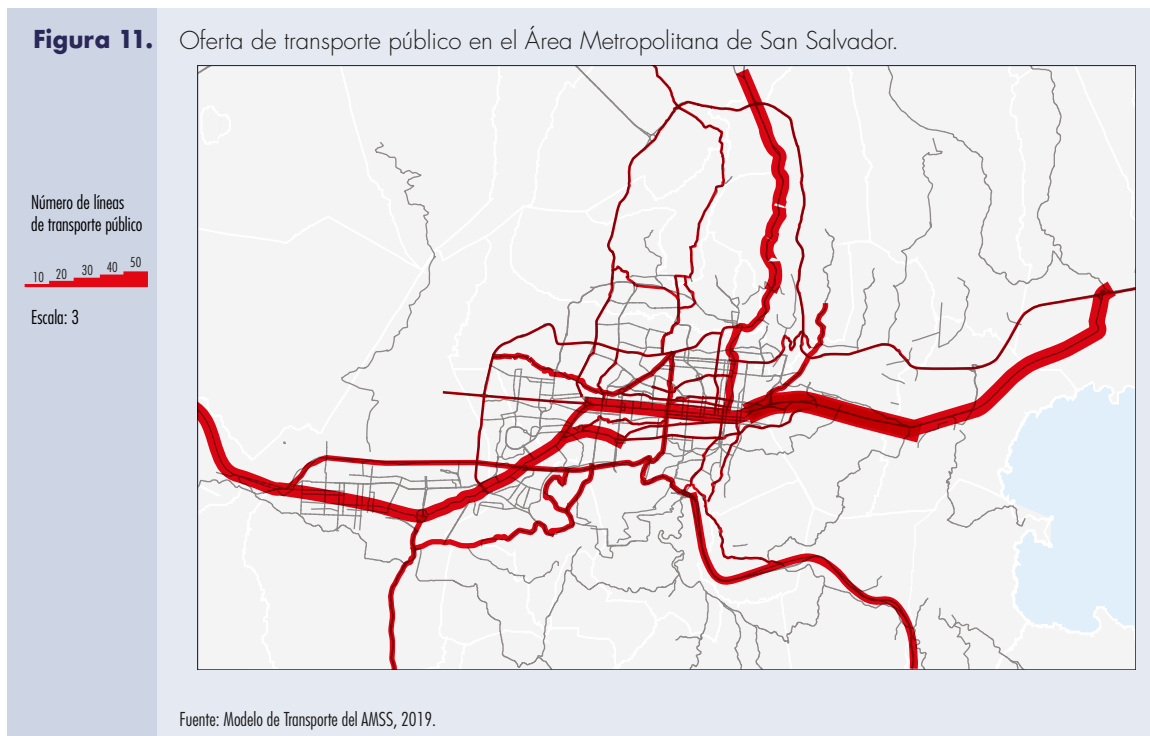


Fuente: Modelo de Transporte del AMSS, 2019.

g. Orígenes destinos en el Área Metropolitana de San Salvador (Figura 10).



h. Oferta del Transporte Público (ver Figura 11).



6. Conclusiones

El estudio de nueva generación de modelos de transporte a través del uso de big data es una experiencia que abrirá las puertas a nuevas oportunidades de proyectos y mejoras de los comportamientos de los ciudadanos. No obstante, para aprovechar todo su potencial es importante hacer una breve reflexión sobre algunos puntos que servirán de base para el desarrollo de las nuevas iniciativas.

El uso de big data permite manejar datos con mayor precisión; es una técnica que seguramente con el tiempo ayudará a identificar, mejorar y hacer mejor planeación de proyectos para el desarrollo social. A diferencia de antes, ahora se pueden tener datos más certeros, con mayor nivel de cobertura y representatividad de la muestra. Otra de las grandes ventajas de este método es la obtención de matrices de Origen-Destino que cubren una mayor cantidad de pares. Esta tecnología se convierte en un claro avance para las sociedades al brindar mayores facilidades para los tomadores de decisión, en casos específicos de índole social, como el transporte.

Sin embargo, de esta nueva metodología ofrece datos estadísticos - la localización, el modo, el motivo de los viajes obtenidos - y no los que surgen de una observación. Al no tener la certeza de las razones por las cuales el usuario se desplaza, se reemplaza este tipo de información por una probabilidad. Los motivos principales de desplazamiento, como la ida y vuelta al trabajo y al hogar se encuentran representados, pero los secundarios son difíciles de determinar. Los viajes de corta distancia en lugares con poca densidad de antenas también son subestimados ya que no hay cambio de antena del usuario durante sus desplazamientos. El tiempo de viaje es también una información difícil de extraer a través de esta metodología ya que el registro se hace a través de eventos celulares y depende de la granularidad temporal del análisis.

La fidelidad de la información y su confidencialidad, en tanto que no se puede acceder a contenidos personales de los usuarios, permite tener un mayor grado de confianza y precisión en el uso de datos. En realidad, la confidencialidad de la información es una de las mayores virtudes de este tipo de estudios; la información superficial resulta suficiente para el análisis de movilidad y se vuelve un factor fundamental para la obtención de datos. Esto podría ser una limitante para la desagregación del tamaño de las zonas y por lo tanto es un elemento que habría que tener en cuenta en la elaboración de modelos de transporte.

En este caso específico, el uso de encuestas vía SMS no generó el resultado esperado ya que se debió ampliar la zonificación para obtener una muestra con un índice de confianza muestral suficiente. Este método amerita ser revisado con detalle para obtener resultados que sean de mayor utilidad para los modeladores.

Iniciar proyectos de este tipo, basados en big data, se vuelve una base fundamental para abrir puertas hacia nuevos estudios. Cabe resaltar que al ser una tecnología nueva pueden darse algunas imprecisiones en la recolección de la información, pero estos márgenes se pueden llegar a reducir con el uso de técnicas complementarias. Por ello, siempre es recomendable utilizar herramientas de apoyo ya que la obtención de mayor cantidad de datos ayuda a minimizar el margen de error.

En este sentido, se pueden emplear diversas técnicas digitales complementarias para reforzar el estudio, por ejemplo, información georreferenciada como la que ofrecen Google o Waze pueden otorgar una mayor amplitud y mejor calidad a la información. Contar con un sistema que pueda ser complementado ayuda a generar mayor credibilidad en la recopilación de la información y a

ser más certeros en la toma de decisiones. Mientras más información digital apoye el recurso, se tendrán mejores resultados para estudios y análisis de estos.

Los recursos y su optimización también son un factor fundamental. El uso de sistemas informáticos permite ahorrar recursos en la recopilación de información, eliminando técnicas de papel o salidas de campo que vuelven el proceso más lento. Además, estas técnicas requieren mayor cantidad de herramientas y, sobre todo, un mayor énfasis en la supervisión del proceso. Big data es ahora una técnica más accesible, donde la misma gente, con el uso de sus dispositivos, envía información que permite ser analizada desde diferentes posturas, con el fin de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Son los mismos comportamientos ciudadanos los que arrojan la información debida.

Contar con modelos de nueva generación creados a través de *big data* tiene beneficios para la población/ciudad/país, por ejemplo, permite crear escenarios de forma inmediata, en un corto tiempo y con información precisa. Además, es fácil medir cualquier impacto en la toma de decisiones o evaluar comportamientos según diversos planes o proyectos.

El Modelo de Transporte del AMSS es una herramienta importante para la planificación de acciones por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Sin embargo, tiene importantes desafíos ya que es necesario que se realicen actualizaciones constantes y que la información que sirve de base para formular los diferentes escenarios se vaya alimentando de tal forma que los resultados obtenidos, tengan mayor certidumbre.

