

OPTIMIZACIÓN DE DATOS GEOLOCALIZADOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN ESTUDIOS DE DEMANDA DE VIAJEROS

Carlos Bejarano Aparicio

Ineco, España

Ángeles Heredia Santana

Ineco, España

Beatriz de Frutos Pérez

Ineco, España

RESUMEN

Con la entrada de la telefonía móvil en el análisis de la movilidad se ha cambiado la forma tradicional de obtención de las matrices origen-destino de viajes. Las ventajas de utilizar estos datos georreferenciados se traducen especialmente en los grandes tamaños de muestra, lo que conlleva la detección de viajes en gran parte de los pares O-D, la reducción de plazos y costes y la posibilidad de analizar periodos de tiempo pasados. Sin embargo, la caracterización del viaje (modo, motivo) y del viajero (nivel socioeconómico, motivo de elección) quedan en cierta medida algo desdibujados en este nuevo escenario.

La experiencia acumulada en el desarrollo de estudios con este tipo de soluciones ha permitido detectar la importancia de llevar a cabo un proceso de enriquecimiento y alimentación de las matrices de telefonía móvil para aunar las ventajas del método tradicional y de las nuevas tecnologías e incrementar la calidad de los resultados a obtener. Para ello se describen las fuentes de datos disponibles y los trabajos de campo complementarios que se pueden llevar a cabo en función del tipo de resultados que se deseen obtener.

Las matrices enriquecidas con este proceso deben ser convenientemente validadas, para lo cual es necesario analizar posibles inconsistencias en los resultados y, en ocasiones, realizar una tarea de ajuste final con ayuda del modelo de transportes.

1. INTRODUCCIÓN

La irrupción de la información espacio-temporal de los teléfonos móviles en los análisis de movilidad cuenta ya con varios años de utilización para este tipo de estudios. Para el Censo de población de 2021 el INE ha confiado en esta solución para la obtención de la información sobre movilidad, sustituyendo al cuestionario tradicional.

En Ineco se comenzó a trabajar con esta fuente de datos en el año 2017 y se ha utilizado hasta el momento en una veintena de proyectos de diversas características, aunque todos ellos con un denominador común: la necesidad de obtener matrices de viajes con más detalle que la matriz de movilidad general.

Dentro del contexto de la Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030 y su predecesora nuestros proyectos se orientan a nuevas infraestructuras, servicios o eficiencia del transporte público. Por ello, resulta de especial importancia la segmentación de las matrices de demanda por modo y motivo de viaje, pudiendo caracterizar los usuarios susceptibles de ser captados por las actuaciones analizadas.

Con base en nuestra experiencia y en las lecciones aprendidas, se ha elaborado una relación de fuentes de datos y trabajos complementarios como herramientas para mejorar la precisión de las matrices obtenidas de la telefonía móvil (matrices primarias) en las matrices modales más idóneas para cada tipo de estudio (matrices segregadas).

2. MATRICES PRIMARIAS, FORTALEZAS Y ÁREAS DE MEJORA

A continuación, se exponen fortalezas y áreas de mejora detectadas en el trabajo realizado con matrices primarias obtenidas a partir de registros de telefonía móvil.

2.1 Fortalezas de las matrices primarias

Actualmente la telefonía móvil es empleada frecuentemente para la detección de desplazamientos en forma de matrices primarias, dadas las numerosas ventajas que presenta esta solución. Entre las principales fortalezas se encuentran:

Datos de movilidad de usuarios recogidos de forma pasiva: los usuarios, objeto de investigación, no forman parte activa del proceso de recolección de datos, al no tener que realizar ninguna tarea específica para que estos datos queden registrados.

Monitorización o seguimiento continuo de datos: en caso de ser necesario, los datos de movilidad pueden recogerse de forma continua durante un periodo de tiempo determinado, que puede prolongarse en el tiempo. Esto facilita el análisis de la evolución continua de la movilidad en algunos ámbitos.

Análisis de eventos históricos: pueden recogerse y analizarse datos históricos de eventos para examinar patrones o situaciones que, de otra forma, no podrían analizarse, de no planificarse antes de suceder.

Muestras de gran tamaño: en general, esto depende de la cuota del operador de telefonía móvil en el ámbito de estudio, aunque habitualmente es factible contar con un alto porcentaje de muestra entre la población investigada, ante la generalización que existe

actualmente en el uso del teléfono móvil. Esta alta cantidad de muestra puede además estar repartida en diferentes momentos temporales a lo largo de un periodo, permitiendo aumentar la representatividad de esta.

Grado de penetración: el uso de datos de telefonía móvil permite investigar generalmente la movilidad en todo tipo de zonas y a todo tipo de usuarios, aunque ello depende también de la composición de usuarios que forma la cuota del operador. Además, al ser un proceso de registro pasivo, pueden evitarse sesgos asociados con la selección de individuos que realiza el investigador o entrevistador, en el caso de encuestas.

Plazo y coste de ejecución: el proceso de registro y tratamiento de estos datos de telefonía para la obtención de matrices de viajes suele llevar un menor tiempo de ejecución de tareas y con ello, además, un menor coste en la producción de estos resultados.

2.2 Áreas de mejora de las matrices primarias

Sin embargo, en la obtención de matrices de viajes a partir de datos de telefonía móvil existen también áreas de mejora, entre las que se encuentran:

Caracterización del viaje y del usuario: la información disponible para caracterizar en detalle a los viajeros y sus desplazamientos mediante telefonía móvil es reducida, en comparación con la metodología de encuestas. Actualmente, las variables de análisis que pueden determinarse mediante la telefonía móvil no son muy numerosas, quedando con escaso detalle características como el motivo o la frecuencia del desplazamiento.

Identificación de viajes en determinados modos de transporte: frecuentemente se presentan dificultades en el momento de segmentar los viajes de la matriz según modos de transporte, especialmente en el caso de desplazamientos entre distintos medios asociados a la carretera (autobús, vehículo particular, camiones, furgonetas, etc.) o en el caso de distintos modos terrestres (ferrocarril y carretera), si estos discurren por una infraestructura paralela, con escasa separación y velocidades medias similares.

Desplazamientos asociados al transporte de mercancías: como se menciona en el punto anterior, la dificultad para segmentar a los distintos tipos de usuarios de la carretera entre tipos de vehículos hace que no puedan detectarse con claridad todos los desplazamientos asociados al transporte de mercancías, que son realizados por conductores profesionales utilizando camiones o furgonetas.

Esto resulta un inconveniente en el caso de estudios de movilidad donde únicamente se desee identificar viajeros potenciales de modos de transporte públicos y se acentúa especialmente si este análisis desea efectuarse sobre el ámbito de un polígono industrial con gran volumen de transporte de mercancías.

Muestras insuficientes en ámbitos espaciales muy pequeños: cuando el análisis de la movilidad desea efectuarse sobre espacios reducidos como, por ejemplo, un polígono industrial o zona residencial pequeña y poco urbanizada, la muestra de usuarios a investigar puede ser muy limitada, en función de la cuota y penetración del operador de telefonía móvil.

Investigación de movilidad internacional: habitualmente la posibilidad de obtener registros de telefonía móvil en territorio extranjero es limitada y depende de los convenios existentes con las distintas operadoras de telefonía móvil en cada país.

3. ELEMENTOS PARA EL ENRIQUECIMIENTO DE LA MATRIZ PRIMARIA

Las matrices primarias pueden enriquecerse integrando datos procedentes de otras fuentes o de trabajos de campo específicos para realizar segmentaciones más precisas.

3.1 Fuentes de datos complementarias

Las fuentes de datos complementarias aportan información adicional en el proceso de obtención de las matrices de viajes por modo, ayudando a paliar determinados aspectos del proceso sobre los que hay una mayor incertidumbre. Estas fuentes de datos externas pueden englobarse en:

Datos de usuarios de modos de transporte público: esta información, generalmente aportada por operadores o administradores de transporte, puede contener detalles sobre los viajeros que utilizan el servicio indicando sus paradas de subida y bajada, o bien, sobre el conjunto de viajeros que se suben y se bajan en las distintas paradas, sin indicar la relación entre las paradas de subida y bajada.

Estos datos suelen tener su origen en el registro del uso o compra de los billetes o títulos de transporte de los usuarios del modo de transporte público o, en algunos casos, en aforos realizados específicamente por los operadores dentro de su labor de gestión, control y regulación de la explotación del servicio.

Estos datos facilitan la identificación, en la matriz global de viajes, de usuarios que utilizan modos de transporte público. Por otro lado, cuando la infraestructura de estos discurre de forma paralela y con escasa separación a lo largo de un corredor, también puede ayudar a desagregar la demanda entre modos de transporte terrestre.

Entre las limitaciones que presentan este tipo de datos se encuentra, frecuentemente, la ausencia del registro del resto de etapas del viaje entre origen y destino, la relación entre parada de subida y bajada si existe transbordo o si solo se cuenta con datos agregados de subidos o bajados por parada, sin relación entre paradas.

Aforos de vehículos en carretera: los mapas de tráfico que se generan habitualmente a nivel regional o estatal proporcionan la intensidad de vehículos ligeros y pesados en numerosos puntos de la red de carreteras del Estado.

Estos datos facilitan la detección de vehículos pesados, que en su mayor parte están asociados al transporte de mercancías, aportando además información sobre los vehículos ligeros, en su mayoría vehículos particulares. Esta información resulta de interés cuando no es posible segmentar los viajes realizados en carretera, entre el autobús y el vehículo privado.

No obstante, estos datos de intensidades ofrecen información puntual de vehículos, sin detallar relación entre origen y destino y sin identificar el número de ocupantes de dichos vehículos, de forma que pudieran transformarse los datos de vehículos en viajes.

Adicionalmente, este tipo de datos no presentan una identificación desagregada en detalle entre vehículos asociados al transporte de mercancías y vehículos asociados al transporte de viajeros o vehículos particulares. Este hecho sucede dado que, generalmente, dentro de la categoría de vehículos ligeros se incluyen, no solo turismos y motocicletas o ciclomotores, sino también furgonetas o furgones dedicados al reparto y distribución de mercancías.

Igualmente, dentro de la categoría de vehículos pesados, en ocasiones se encuentran agrupados camiones o vehículos dedicados al transporte de mercancías y autobuses o vehículos dedicados al transporte de viajeros, dificultando así la identificación directa de vehículos asociados al transporte de mercancías y de viajeros.

Estadísticas públicas de movilidad general: son varias las estadísticas generales públicas disponibles que pueden encontrarse y utilizarse para enriquecer las matrices de viajes, aunque una parte de ellas no ofrecen detalles de viajes completos, sino de etapas. Entre estas estadísticas se encuentran las de distintos organismos públicos en España, como:

- El Instituto Nacional de Estadística (INE): proporciona información mensual sobre el número de viajeros transportados en su Estadística de transporte de viajeros. Esta información se encuentra además segmentada según medio de transporte, distancia o ámbito. El INE publica también la Estadística de movimientos turísticos en frontera, que proporciona estimaciones mensuales y anuales del número de visitantes no residentes en España que llegan al país.
- El Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE): proporciona datos, gráficos, mapas e indicadores generales de movilidad agregada y en los distintos modos de transporte (carretera, ferrocarril, aéreo y marítimo).

- AENA: en la página web de Aena pueden consultarse datos de pasajeros en los aeropuertos españoles, indicando la relación entre aeropuerto de salida y aeropuerto de llegada de los pasajeros.
- El Observatorio del Ferrocarril en España (OFE): facilita anualmente un registro de estadísticas de viajeros en ferrocarril, indicando los viajeros en las principales estaciones ferroviarias y una segmentación de estos según los distintos tipos de servicios ferroviarios, entre otros indicadores generales de movilidad.
- La Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC): registra anualmente el tráfico de mercancías por carretera en España, indicando además del tipo de vehículo, el origen y destino de los vehículos entre las distintas Comunidades Autónomas, entre otras variables.
- Memorias anuales de operadores de transporte: las empresas públicas operadoras de transporte de viajeros publican habitualmente de forma anual las estadísticas y cifras generales de viajeros transportados en su ámbito de operación, encontrándose desagregada esta información en ocasiones, según líneas o paradas, entre otras características.
- Anuario estadístico del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA): proporciona información estadística anual sobre los viajeros transportados en ferrocarril, avión, barco y autobús urbano o internacional, además de estadísticas de tráfico por carretera.
- Anuario estadístico de Puertos del Estado: en este anuario se encuentra información sobre los pasajeros que utilizan los servicios de transporte marítimo en las distintas Autoridades Portuarias de España.

Estas son solo algunas de las estadísticas públicas que pueden ayudar a enriquecer la obtención de las matrices de viajes de un estudio de movilidad, aportando información por modos de transporte, datos sobre viajeros internacionales no residentes en España, viajes encaminados a determinados nodos de transporte como puertos y aeropuertos o detectando movilidad asociada a transportistas de mercancías.

Al igual que otras fuentes de datos, las principales limitaciones que presentan estas estadísticas están asociadas a la ausencia de la relación entre origen y destino o, en caso de que esta información exista, no se encontrará recogida la información de todas las etapas del viaje, entre otros aspectos.

Otros estudios específicos: además de las fuentes de datos anteriormente mencionadas, es recomendable la recopilación y consulta de antecedentes de estudios en el ámbito de análisis que puedan contener datos de movilidad. Entre estas fuentes de datos, pueden existir Encuestas Domiciliarias de Movilidad (EDM) recientes o Planes de Movilidad Urbana o Regional en las zonas de estudio.

Como ejemplo, entre las EDM que han sido publicadas recientemente se encuentra la de la Comunidad de Madrid (2018), donde se ofrecen los resultados de viajes en un día laborable en la Comunidad, según origen y destino, modos de transporte, títulos de viaje, etc. La zonificación recogida en esta EDM cuenta con una extensa división de más de mil zonas.

Como puede observarse, existen diferentes fuentes de datos que pueden utilizarse como herramientas que ayuden a enriquecer la obtención de matrices de viajes en un estudio de movilidad. Sin embargo, al realizar este proceso es necesario tener presente las limitaciones o carencias de cada una de estas fuentes de datos complementarias.

3.2 Trabajos de campo *ad hoc*

Los trabajos de campo pueden planificarse específicamente para aportar un mayor grado de detalle al proceso de segmentación por modos de las matrices de viajes, tras conocer en detalle el ámbito de estudio, la zonificación empleada y los medios de transporte que serán analizados entre otros aspectos.

De esta forma, la realización de encuestas de preferencias reveladas (PR) y/o de aforos pueden enriquecer el proceso de obtención de resultados aportando de la siguiente forma:

Mayor detalle de las características del viaje y del viajero: La encuesta de preferencias reveladas permite obtener un mayor detalle acerca del motivo y frecuencia del viaje, la utilización de modos de acceso y dispersión, la situación laboral del usuario o su ocupación profesional, etc.

Desagregación de los viajes realizados en carretera: La realización de encuestas PR a usuarios de autobús ayuda a conocer un subconjunto de los viajes que se realizan por carretera y que son difícilmente detectables mediante telefonía móvil. Puede plantearse también la realización de estas encuestas a los usuarios del vehículo privado, sin embargo, es posible que exista un mayor sesgo en la selección de usuarios, además de las dificultades para interceptar a estos durante la realización de su viaje. En función de la disponibilidad de datos de viajeros, puede ser necesario contar también con la realización de un aforo de viajeros de este medio público.

Desagregación de viajes terrestres (ferrocarril y carretera): En el caso de que la situación geográfica dificulte la segregación de demanda entre ferrocarril y carretera, puede plantearse la realización de encuestas de preferencias reveladas a usuarios del ferrocarril para caracterizar los desplazamientos de este subconjunto de viajes y permitir diferenciar entre ambos modos terrestres. La necesidad de realizar conjuntamente aforos de viajeros en ferrocarril, para la expansión de esta muestra de viajes, será variable en función de la disponibilidad de otros datos, por ejemplo, registros de demanda proporcionados por el operador.

Identificación de viajes realizados por transporte de mercancías: En determinados ámbitos de estudio, el volumen de este tipo de desplazamientos puede adquirir un peso significativo en la movilidad global, lo que puede requerir un conocimiento detallado de estos viajes para poder caracterizarlos adecuadamente. La realización de aforos para identificar este tipo de vehículos puede ser de gran ayuda para cuantificar estos flujos en las principales relaciones de análisis.

Cabe recordar que este tipo de tareas específicas también conllevan determinadas limitaciones, dado que pueden ser trabajos que involucren un mayor coste o introducir algunos sesgos.

Como ejemplo de aplicación simultánea de tareas de investigación de campo y utilización de datos de telefonía móvil, cabe destacar la realización de la última encuesta de movilidad de la Comunidad de Madrid (EdM2018), donde se utilizaron, en este caso, la encuesta domiciliaria para investigar la movilidad de los residentes en la Comunidad, empleando los datos de telefonía móvil para estudiar la movilidad de los no residentes.

4. AJUSTES FINALES Y VALIDACIÓN

Tras obtener las matrices de viajes segregadas es relevante validar los resultados obtenidos mediante la generación de estadísticas e indicadores de movilidad vinculados a la demografía y al territorio o comparando nuevamente con fuentes de datos complementarias.

Algunos de los indicadores que pueden extraerse a partir de los datos de desplazamientos de la matriz son:

Generación de viajes por habitante (viajes/habitante): Esta relación puede obtenerse para la matriz global de viajes, según relaciones origen-destino, y analizar la dispersión de estos valores conjuntamente con las características del territorio, o comparar las tendencias observadas con otros estudios.

Índice de etapas (etapas/viaje): Este índice revela la composición de etapas de los distintos viajes, permitiendo analizar en determinadas relaciones origen-destino y modos de transporte, la coherencia de los viajes y sus cadenas de etapas.

Atracción de viajes laborales (viajes/empleado): Si se disponen de datos estadísticos sobre el número de empleados en las zonas de concentración empresarial, analizando esta ratio puede observarse el comportamiento de los viajes en estas zonas, en función de las características de dichas empresas. Esta relación dependerá del tipo de empresa y del número de visitantes asociados a la misma.

Comparativa con datos de usuarios de operadores de transporte: Estos datos, además de tenerse en consideración en el proceso de obtención de la matriz de viajes como fuente externa, puede utilizarse igualmente como fuente de datos de validación del proceso seguido. En este caso es posible, por ejemplo, comparar las etapas entre zonas, ya que los datos de viajeros de operadores de transporte contienen habitualmente etapas en el modo entre paradas, en vez de viajes completos entre origen y destino.

Analizando los valores de estas ratios a nivel global y en las distintas relaciones origen-destino, pueden observarse tendencias sobre valores medios y su dispersión, que pueden conducir a detectar anomalías en la caracterización de viajes de la matriz.

Adicionalmente, en la mayoría de los estudios de demanda se construye un modelo de transportes como herramienta para la simulación de escenarios y estimación de previsiones a futuro. El modelo está formado por tres componentes principales: zonificación, modelo de oferta y modelo de demanda.

Este modelo ha de estar debidamente calibrado y validado en el año base con la información de referencia previamente recopilada, a fin de que sea capaz de reproducir adecuadamente la realidad observada, respondiendo además de forma adecuada frente a cambios tanto a nivel socioeconómico como de la oferta de transporte.

Es habitual que, durante el proceso iterativo de calibración del modelo en el año base, este sirva además como herramienta de apoyo en el análisis de los datos geolocalizados de telefonía móvil y la validación de las matrices origen destino segregadas, las cuales constituyen uno de los pilares de la modelización.

En este análisis que se lleva a cabo con el objetivo de validar los resultados, se detectan en ocasiones inconsistencias en los datos, que pueden ser resueltas mediante ajustes concretos con ayuda del modelo de transportes. A continuación, se describen algunos ejemplos de ajustes realizados mediante la utilización del modelo de transportes construido de forma específica para el estudio de demanda en cada caso.

Hay que tener presente que la fiabilidad en las matrices de movilidad obtenidas mediante estos métodos alternativos de ajuste es siempre inferior a la que se puede alcanzar si directamente la información es obtenida con el detalle necesario desde un primer momento.

Zonificación: En general, resulta más indicado que las zonas origen destino que se definan como referencia espacial en la obtención de los datos para elaborar la matriz de viajes sean consistentes con la zonificación empleada en el modelo de transportes, con una desagregación igual o de mayor detalle. No obstante, en el caso de que el nivel de desagregación en que se obtengan las matrices origen destino no sea suficiente, es posible

utilizar submodelos de generación y distribución para estimar los viajes con el grado de detalle requerido de forma sintética. Para ello, se procede según los pasos que se indican a continuación.

En primer lugar, es preciso definir el submodelo de generación de viajes, el cual permite reproducir la mecánica de producción y atracción de viajes en cada una de las zonas del modelo. Así, para cada uno de los segmentos de demanda y motivos de viaje se estiman ratios de producción de viajes, que representan el número de viajes de un motivo realizados a nivel individual. Para el cálculo de las atracciones zonales se emplea la información relativa a los usos del suelo y a variables relacionadas con la actividad económica.

Una vez se tienen las ratios de producción por grupo de demanda y motivo de viaje, estas se aplican sobre las variables socioeconómicas con el nivel de desagregación inferior, obteniendo así los vectores de generación (producciones y atracciones) relativos a la zonificación del modelo de transporte.

A continuación, se define el submodelo de distribución espacial de viajes cuyo objetivo es estimar el número de viajes que se realizan entre dos zonas origen destino a partir del total de viajes producidos por la zona origen y el total de viajes atraídos por la zona destino. Si se trata de un modelo de tipo gravitatorio, la distribución se hace depender también de la impedancia al transporte existente entre ambas zonas.

Para la calibración del submodelo de distribución espacial de viajes por cada segmento de demanda y motivo de viaje, se ajustan los parámetros de la función de impedancia de manera que se minimicen las diferencias entre la matriz origen destino de partida para la segregación y la ajustada por el modelo. Para poder realizar la comparación entre ambas matrices, éstas deben tener la misma zonificación, para lo cual es necesario agregar los viajes estimados por el modelo hasta que su referencia espacial coincida con la de la matriz de partida.

Finalmente, una vez concluido el proceso de calibración del submodelo de distribución, la nueva matriz origen destino segregada será la estimada por aquél.

Detección de inconsistencias: En ocasiones, en el proceso de cálculo de los modelos de generación se observan ratios de producción inferiores o superiores a lo esperado según experiencias previas en estudios similares. Este hecho puede hacer detectar inconsistencias en el registro de datos.

Entre las distintas experiencias analizadas en los últimos años, cabe destacar la detección de ratios de generación más elevadas en determinadas zonas fronterizas de España.

Además, en la calibración del submodelo de reparto modal, se detectó que las cuotas de vehículo privado eran muy superiores al resto de los modos.

Tras analizar este caso concreto, fue necesario optar por ajustar las matrices de partida, tomando como referencia ratios de generación (para la matriz de movilidad general) y cuotas de reparto modal (para la segregación por modos) procedentes del propio estudio en otras zonas no afectadas.

5. NUESTRA EXPERIENCIA

Desde el año 2017 se han desarrollado en Ineco los siguientes proyectos con base en matrices de telefonía móvil.

- Estudios de demanda para la implantación de cinco nuevos apeaderos en polígonos industriales sobre la red de Cercanías existente de Madrid.
- Estudios de demanda para la implantación de cinco nuevas estaciones sobre la red de Cercanías existente. Varios núcleos.
- Estudio de demanda de cinco núcleos de Cercanías.
- Estudio de demanda de viajeros para la rehabilitación de la línea ferroviaria transfronteriza Zaragoza-Pau.
- Estudio de demanda de viajeros en el Corredor Sur de la isla de Gran Canaria para la implantación de un ferrocarril.
- Estudio de demanda de viajeros del Corredor Mediterráneo.
- Modelo Nacional de transporte de viajeros.

REFERENCIAS

CONSORCIO REGIONAL DE TRANSPORTES DE MADRID (febrero 2020). Encuesta domiciliaria de movilidad en día laborable de 2018 en la Comunidad de Madrid. Metodología y diseño de la encuesta.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (diciembre 2020). Estudio EM-1 de movilidad a partir de la telefonía móvil. Proyecto técnico.

PUEBLA, JAVIER GUTIÉRREZ, et al. (2019). Cómo aplicar Big Data en la planificación del transporte urbano: el uso de datos de telefonía móvil en el análisis de la movilidad. Nota Técnica n ° IDB-TN-1773. Banco Interamericano de Desarrollo.