

Modelación de los principios de sustentabilidad en TRANUS. Estudio de la porción oriental de León, Guanajuato

PATRICIA LÓPEZ

INTRODUCCIÓN

En capítulos anteriores se han planteado los tres principios del desarrollo urbano sustentable: (1) mayor densidad (Ciudad Compacta); (2) mayor mezcla de usos de suelo (Ciudad Diversa) y (3) estructura urbana con varios centros de fuerte actividad económica (Ciudad Policéntrica). En el presente capítulo se formulan tres hipótesis asociadas a estos tres principios que justifican la condición de sustentabilidad y se investiga si es posible utilizar una herramienta tecnológica para anticipar las consecuencias de aplicar una política pública territorial específica. Las hipótesis son:

1. En las ciudades densas y compactas, se reduce el número de vehículos kilómetros recorridos al reducirse las distancias de viaje, lo que las convierte en más sustentables.
2. En las ciudades densas y compactas, la población prefiere medios sustentables para movilizarse, como el transporte público, lo que las convierte en ciudades menos congestionadas y, en consecuencia, más sustentables.
3. Una tercera hipótesis está relacionada con el tipo de sistema de transporte que favorece una cierta localización de la población y de las actividades económicas, de manera que “naturalmente” se genere una ciudad densa, compacta y policéntrica. Por lo tanto, la implantación de sistemas de transporte masivo sustentables, favorecería la generación de ciudades densas y compactas.

Para investigar la veracidad de esas tres hipótesis, se intenta responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué impacto tienen estos tres principios sobre los servicios de la ciudad, en particular, sobre el servicio de transporte-movilidad urbana?
- ¿Qué tan fácil es llevar estos principios a la práctica? ¿basta con implantar sistemas de transporte sustentables en la ciudad?

- Por último, ¿existen riesgos de que en la aplicación de estos principios emerjan externalidades que pongan en peligro la generación de ciudades sustentables? ¿Cuál es el impacto de la densidad y usos mixtos sobre los precios inmobiliarios y en consecuencia, sobre externalidades como el aburguesamiento de polígonos urbanos enteros?

Para responder a ello, hemos introducido las hipótesis en la composición de un modelo (representación matemática de una realidad) para dar respuesta a las preguntas formuladas. Los resultados serán indicadores de desempeño que documentarán los posibles impactos de estos tres principios. En otras palabras, los conceptos de sustentabilidad en desarrollo urbano serán llevados a la práctica en un ambiente de simulación matemática aplicados a un contexto regional mexicano.

Selección de la herramienta tecnológica

Para la simulación de usos de suelo, desarrollo urbano y transporte, y su interrelación, existen a nivel mundial dos tipos de modelos: los modelos “agregados” y los modelos “desagregados”.

Entre los modelos “agregados” (en otras palabras, que simplifican las características socioeconómicas localizadas en áreas a localizarlas en un solo punto llamado centroide, desde el cual se derivan viajes), están:

- TRANUS (de la Barra, 1982)
- ITLUP (Putman, 1983)
- MEPLAN (Echenique, 1985)
- MUSSA (Martínez, 1992)

Todos los modelos anteriores han tenido aplicaciones académicas y de investigación exitosas. En específico, con TRANUS se pueden mencionar aplicaciones prácticas fuera de la academia. Entre las aplicaciones recientes, destacan (1) el modelo de usos de suelo y transporte de la Ciudad de São Paulo, Brasil, en el marco del Plan Integral de Transporte Urbano (PITU) 2025, y (2) la Actualización del Plan Director de Infraestructura del Ministerio de Obras Públicas de Chile 2010-2025. En ambos proyectos se utilizó todo el potencial de TRANUS, aplicando ambos modelos de usos de suelo, actividades y transporte. En el modelo de São Paulo se demostró que con políticas adecuadas de desarrollo urbano y con poca inversión en infraestructura de transporte, se pueden lograr significativos beneficios en movilidad. Los resultados de este proyecto estuvieron enmarcados en los requisitos de la Ley de Ciudades (Lei Federal 10257, 2001) que aplica el Ministerio de Ciudades de Brasil, en donde se establece la necesidad de una planeación conjunta de desarrollo urbano y movilidad.

TRANUS es un modelo de simulación de localización de actividades, usos de suelo y transporte desarrollado por la empresa Modelística (www.modelistica.com.mx).

En este modelo, se representan de forma integrada los principales componentes de un sistema urbano o regional, como es la localización e interacción de actividades, el mercado inmobiliario y el sistema de transporte. Estos componentes se relacionan entre sí de manera explícita y existe una teoría que lo explica. Se parte de la base en donde el movimiento de personas y mercancías se desarrolla por las interrelaciones económicas y la localización de las actividades que los generan. Adicionalmente, se toma en cuenta en el modelo donde la accesibilidad que provee el sistema de transporte o movilidad afecta la forma en que se desarrollan las actividades y donde se localizan, interactuando con el mercado inmobiliario.

Por otra parte, existen los modelos de usos de suelo y transporte desagregados, también conocidos como modelos microscópicos, entre los cuales destacan los siguientes:

- ILUTE (Miller *et al*, 2004)
- UrbanSim (Waddell, 2002)
- Delta (Simmonds, 1999)

Se conocen por “desagregados” ya que basan sus análisis en el individuo (personas, hogares, empresas, etc.) y su comportamiento en movilidad basados en actividades. Las bases teóricas de este tipo de modelos son las mismas de otros modelos de usos de suelo y transporte, con la diferencia de la desagregación para el análisis. Debido al detalle (granularidad) de este tipo de simulaciones, su ejecución requiere de gran poder computacional. En la actualidad, estos modelos están siendo usados en academia y en investigaciones, logrando simular exitosamente zonas parciales de la ciudad, pero no regiones enteras debido a las restricciones actuales en sistemas de computación.

Existen muchos modelos de transporte, solo que no integran la movilidad al desarrollo urbano y a los usos de suelo, siendo la mayoría modelos comerciales de cuatro etapas. Muchos de ellos ya están integrados a plataformas de sistemas de información geográfica, lo que les permite atractivos gráficos y grandes bases de datos georreferenciados, pero no cuentan con la capacidad de realizar análisis de cambios en localización de actividades por cambios en los costos de accesibilidad y viceversa. Entre estos modelos destacan:

- VISSUM de PTV
- TRANSCAD de CALIPER
- EMME
- TMODEL2
- CUBE (con su reciente adquisición de MUSSA para usos de suelo)

Dado que los modelos anteriores tienen altos costos y restricciones en lo que respecta a su capacidad de análisis a nivel de desarrollo urbano integrado al transporte,

se selecciona TRANUS para investigar los impactos recíprocos entre el sistema de transporte sobre y el desarrollo urbano. Como se señaló previamente, la interacción entre el sistema de transporte, la ubicación de las actividades, y el mercado inmobiliario, son los principios teóricos del instrumento.

En este orden de ideas, se construye un modelo integrado de uso del suelo y de transporte de la ciudad de León, Guanajuato, en México, con el objetivo de predecir la ubicación de un tipo de suelo, el futuro consumo de suelo a ser utilizado por diferentes actividades, y la simulación de los flujos de personas y mercancías, asociados. El modelo se utiliza para explorar tres escenarios contrastados para el crecimiento de la zona sureste de León, desde el año 2016 al 2036. El modelo de León está apoyado por una base de datos de información sobre la población, empleo, edificación, usos del suelo, servicios de transporte público y la red de transporte.

El modelo hace predicciones para cada una de las 91 zonas en las cuales el área de estudio fue dividida, en lo que respecta a movilidad de personas, localización de población y actividades, usos del suelo e impactos sobre el mercado inmobiliario.

El modelo parte del nivel existente (escenario base año 2016) y simula el mercado inmobiliario, tiene en cuenta la oferta del suelo disponibles y su relativa accesibilidad a través del sistema de transporte y predice dónde se ubicarán las nuevas actividades.

MODELO INTEGRAL DE USOS DE SUELO Y TRANSPORTE: TRANUS

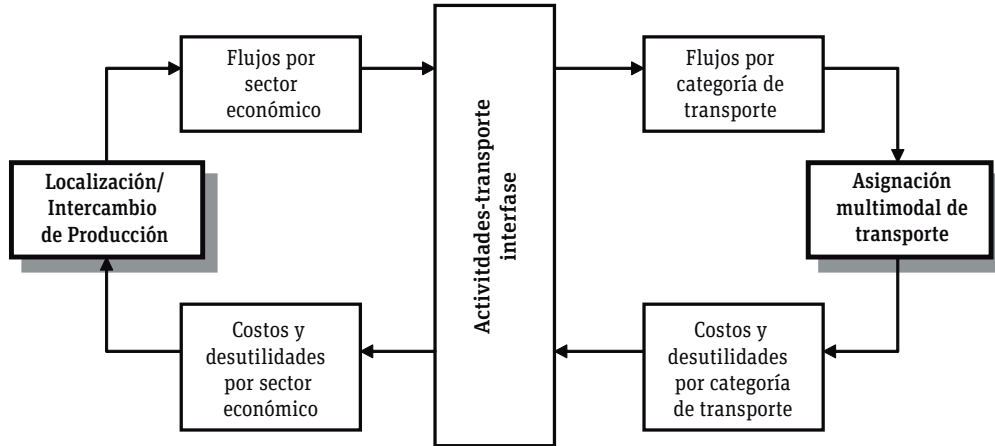
Conceptos básicos

TRANUS es un modelo integrado de localización/intercambio de actividades y de transporte. La estructura general del modelo se presenta en la Figura 1 con sus dos módulos principales: actividades y transporte. El módulo de actividades (producción) estima la localización de las actividades por sector en cada zona en que se ha dividido el área de estudio, resultando en un conjunto de matrices origen/destino de flujos por zona. Entre los módulos de actividades y transporte existe una interfaz, la cual realiza determinadas transformaciones a las matrices de flujos para adecuarlas al modelo de transporte.

Demanda y distribución de la producción

El modelo establece como punto de partida la teoría clásica de insumo-producto de Leontief (1941), con sus categorías de demanda final, demanda intermedia e insumos primarios. La versión espacial del modelo de insumo-producto corresponde a de la Barra (1979, 1989). Se parte del principio en que todo sector solicita insumos de otros sectores. La producción de un sector se destina al consumo de otros sectores, que a su vez producen y demandan insumos para y de otros sectores. Los sectores socioeconómicos se ubican en el espacio, de allí que la producción y

Figura 1: Componentes del modelo integral producción-transporte



Fuente: Adaptado de Modelística (2011, p.17).

la demanda estén localizadas. Para los sectores con demanda, el modelo determina la producción inducida de sectores a través de “funciones de demanda”, y la localiza espacialmente mediante funciones de selección discreta que incluyen el precio del sector demandado y el costo generalizado¹ de transporte. Se genera así una cadena de producción y de localización de actividades. Un ejemplo simplificado: en la dinámica urbana, en cada zona de análisis hay sectores con empleos (en manufactura, servicios, etc.) que demandan insumos en la forma de personas para que allí trabajen. En este simple ejemplo, los sectores de producción son los sectores de población, localizados donde las personas viven. La producción inducida de trabajadores de estos sectores de población la determinan “funciones de demanda”, y la distribución-localización de esta producción en los sectores que demandan insumos se realiza mediante probabilidades de selección discreta (*logit*) con base en el costo generalizado de transporte y al costo de producción.

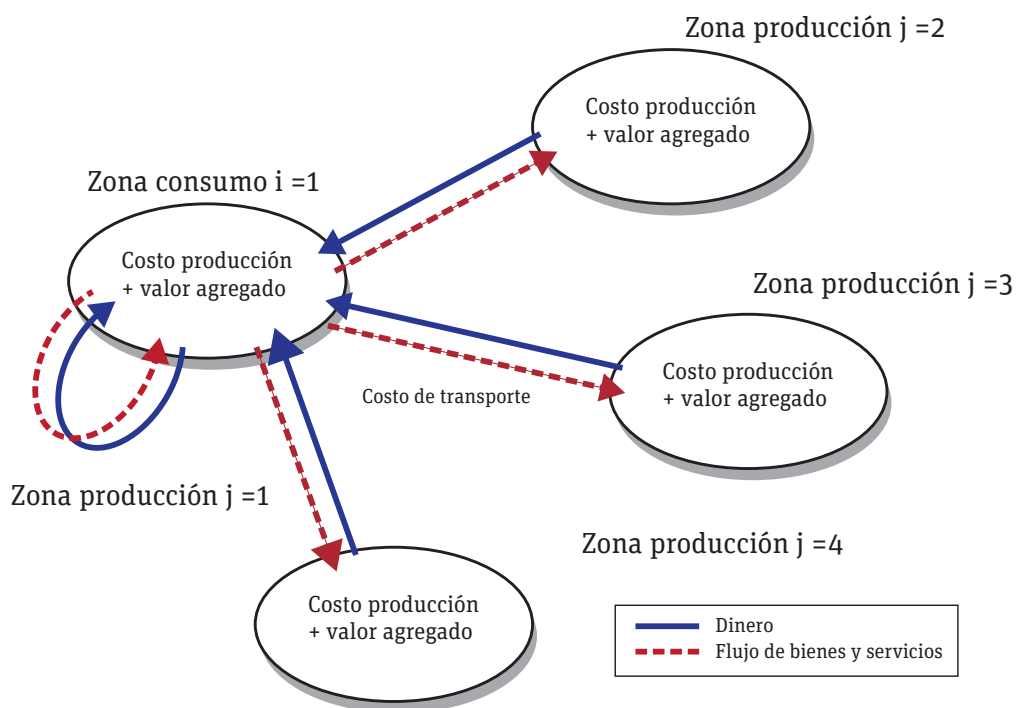
De estas relaciones se derivan intercambios económicos espaciales, flujos de personas y de bienes o servicios de los cuales se deriva la demanda de transporte. En algunas transacciones intervienen bienes “no transportables”, como el consumo de suelo o de edificaciones, que no tienen costos de transporte, pero si costos de producción (como precios inmobiliarios, por ejemplo).

1 El costo generalizado de transporte incluye costos monetarios (como la tarifa que paga el usuario, ya sea en transporte público, en cuotas o consumo de combustible), costos de tiempo (percepciones de tiempo de espera y de viaje) y costos no monetarios como preferencias del usuario (comodidad, aspecto del modo, etc.).

En la Figura 2 se muestra un ejemplo con una zona de consumo (zona donde se localizan los sectores con empleos, en el ejemplo simplificado anterior) y varias zonas de producción (zonas donde se localiza la población). El modelo distribuye las compras (de donde vienen los trabajadores) con un modelo *logit* entre las zonas que producen el sector demandado (trabajadores). En el diagrama, las flechas azules indican el sentido en el que se mueve la producción, pero el dinero fluye en sentido contrario (flechas rojas).

Cabe destacar que, con esta estructura, el modelo puede representar regiones, como sería el caso del modelo de León, Guanajuato que se reseña aquí, como áreas urbanas con mercados inmobiliarios complejos.

Figura 2: Relaciones espaciales de producción y consumo



Fuente: Adaptado de Modelistica (2011, p.15).

El modelo de transporte

El modelo de transporte transforma los flujos de producción en viajes para un determinado período de tiempo (en este caso para la hora de máxima demanda) y los asigna a la red multimodal.

El modelo de transporte comienza con la búsqueda de los pasos o caminos multimodales que conectan cada par origen-destino por cada “modo de transporte”. Los modos están agrupados en conjuntos, tales como carga o pasajeros. A su vez, la carga pesada puede estar compuesta de los operadores de camiones mientras el modo pasajero puede estar formado de automóviles y autobuses.

El modelo construye los pasos a partir de la “red de transporte”, definida por un grafo direccional en el cual, cada enlace tiene asignado un conjunto de características: tipo de vía, distancia, capacidad, posibles rutas de transporte público, etc. A su vez, cada tipo de vía tiene un “administrador” que se encarga de su mantenimiento y puede cobrar peaje, y una serie de atributos comunes para cada modo que puede utilizarlo: velocidad, cargos (peajes, estacionamientos) costo de operación y vehículos equivalentes.

A lo largo de un paso puede haber transbordos entre operadores, lo cual agrega al costo el tiempo de espera y tarifas adicionales, o posibles tarifas integradas. Es importante destacar que en TRANUS se codifica una sola red multimodal, en la cual interactúan todos los vehículos que comparten un enlace, afectándose mutuamente.

La demanda se asigna a la red multimodal de transporte con un modelo *logit*, lo cual equivale a un procedimiento simultáneo de reparto modal y asignación. El modelo calcula la probabilidad de elección de cada paso disponible entre cada par O-D en función de las desutilidades² respectivas diversificadas por categoría de usuario, lo cual es muy importante no sólo para la elección de modo, sino también para la elección de ruta, especialmente ante la presencia de peajes. Cabe destacar que el modelo de asignación multimodal probabilístico *logit* puede aplicarse por igual a redes regionales o urbanas, con diversos niveles de congestión.

Los viajes asignados se transforman a vehículos para la restricción de capacidad, en el cual se ajustan las velocidades y tiempos de espera en función de la congestión.

CALIBRACIÓN DEL MODELO

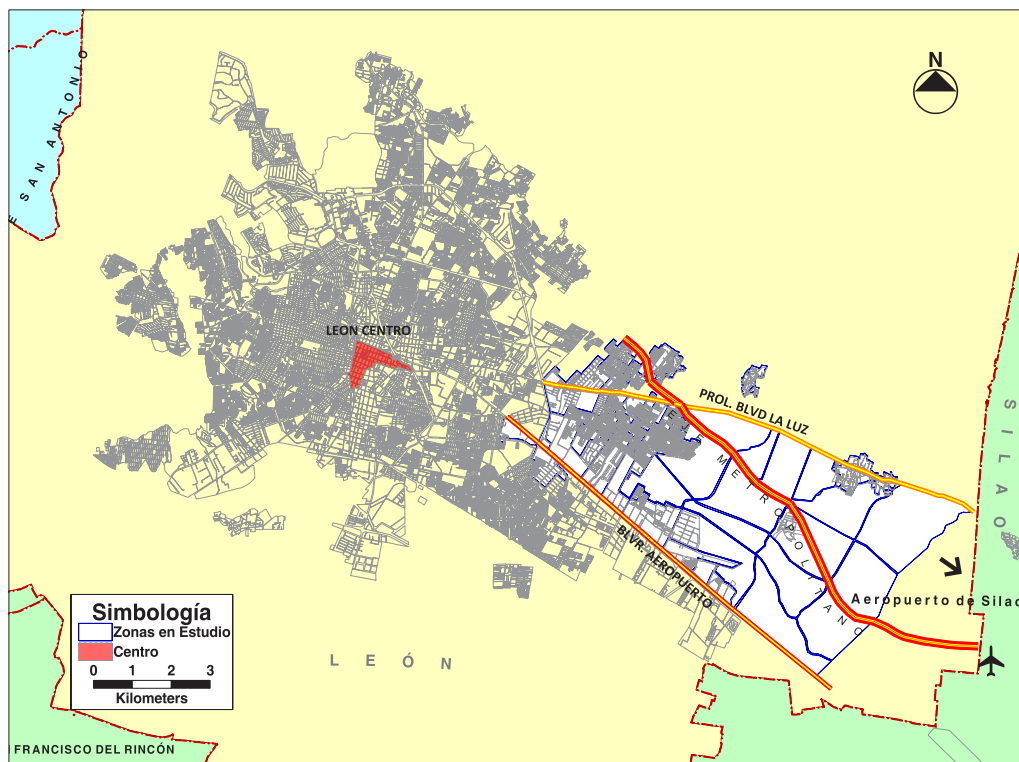
Definición de la aplicación

El ejercicio se sitúa en la ciudad de León, Guanajuato, ciudad mexicana cabecera del municipio homónimo y ubicada en el estado de Guanajuato. Tiene una población de 1,436,733 habitantes (Censo 2010, INEGI) lo que la convierte en la ciudad más poblada del estado. Se encuentra a 384 km de la Ciudad de México. La economía de la ciudad se

² Desutilidades se refiere al costo generalizado de transporte.

basa principalmente en la industria del calzado y sus derivados, además de los servicios y la industria automotriz. El área del territorio municipal corresponde a 118,320 hectáreas, equivalentes al 3.87% de la superficie total del estado de Guanajuato.

Figura 3: Ubicación espacial del área de estudio



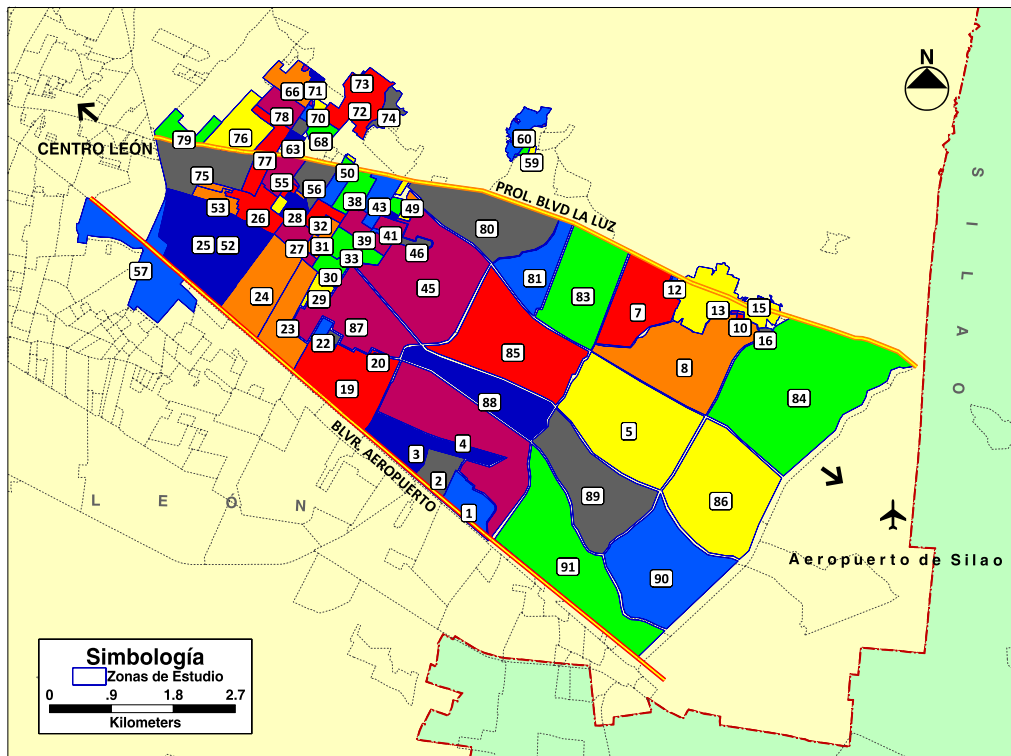
Fuente: Elaboración propia en TRANUS.

Zonificación

Para el ejercicio se seleccionó un área de la ciudad de León que comprende a 7,000 hectáreas del área urbana al sur oriente de la ciudad, comprendida entre las vialidades Boulevard Aeropuerto, Boulevard de La Luz, Boulevard María Morelos y Comanjilla. El área de estudio se divide en zonas, tomando como base a las AGEB (Area Geoestadística Básica) de las zonas urbanas del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). En la Figura 4 que sigue se puede ver gráficamente la zonificación mencionada.

Se agregaron zonas nuevas para representar las áreas que no están catalogadas como AGEB urbanos, cuyos contornos los hemos delimitado de acuerdo a la red vial que propone el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) de León para la estructura vial de la zona. En total, el área de estudio está definida por 90 zonas internas, 79 de AGEBs de INEGI, 11 zonas nuevas y 5 zonas externas que se refieren a las zonas que están fuera del área de estudio, pero que es necesario considerarlas por ser extremos de viajes que pasan o tienen extremos en la zona de estudio. Las zonas externas son: Aeropuerto, Centro de León, Silao, León Norte, Autopista Noreste.

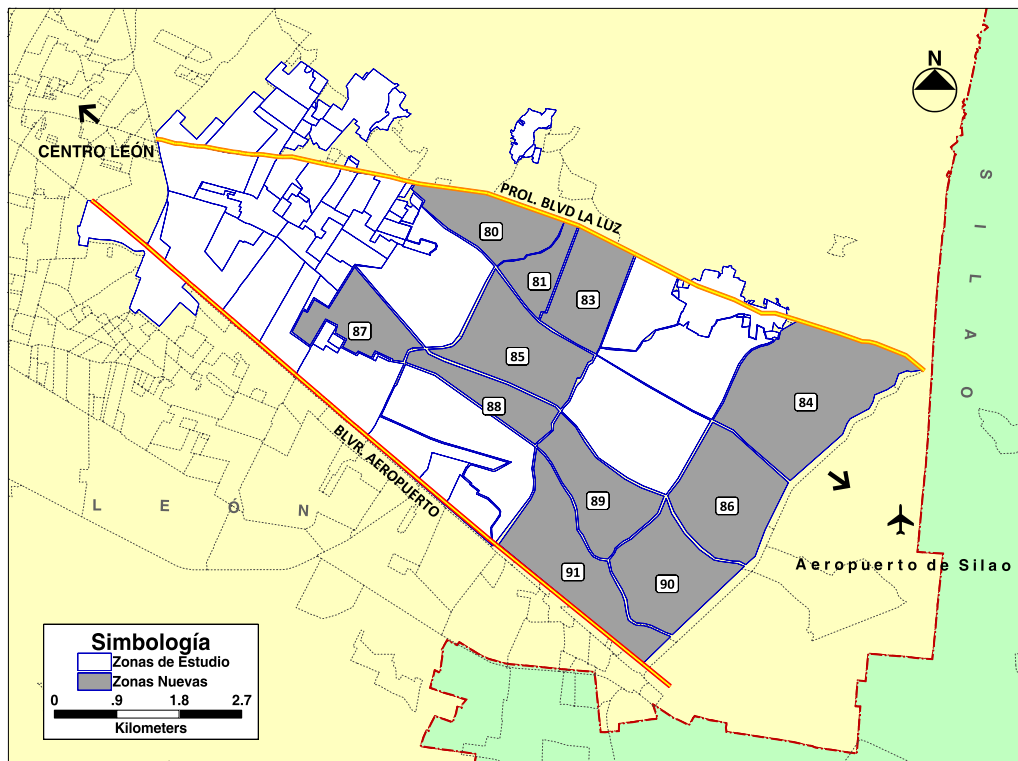
Figura 4: Zonificación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia en TRANUS.

Para efectos de análisis, actualmente las zonas más urbanizadas y de mayor actividad socioeconómica de la zona de estudio son aquellas ubicadas al poniente, y se identifican por ser polígonos mucho más pequeños.

Figura 5: Zonas Nuevas del área de estudio



Fuente: Elaboración propia en TRANUS.

A efectos del análisis, se han catalogado 11 zonas nuevas, que por no contar con población urbana aún no están catalogadas como AGEBS urbanos para INEGI, pero en el estudio cumplirán un papel importante y es preciso identificarlas en la Figura 5.

Categorías y modos

Se definen cinco grandes categorías de viajes:

- Pasajeros de estratos altos al trabajo
- Pasajeros de estratos medios al trabajo
- Pasajeros de estratos bajos al trabajo
- Viajes a Servicios
- Viajes de Carga

Cada una de estas categorías es asignada por separado tomando en cuenta las respectivas funciones de utilidad (valores del tiempo, preferencias, etc.).

Los modos de viajes disponibles son públicos, privados y de carga. Los viajes del modo privado son en vehículos privados; los del modo público son peatones, viajes en autobuses, y autobuses articulados para carriles preferenciales; y finalmente los viajes del modo carga son en camiones de carga.

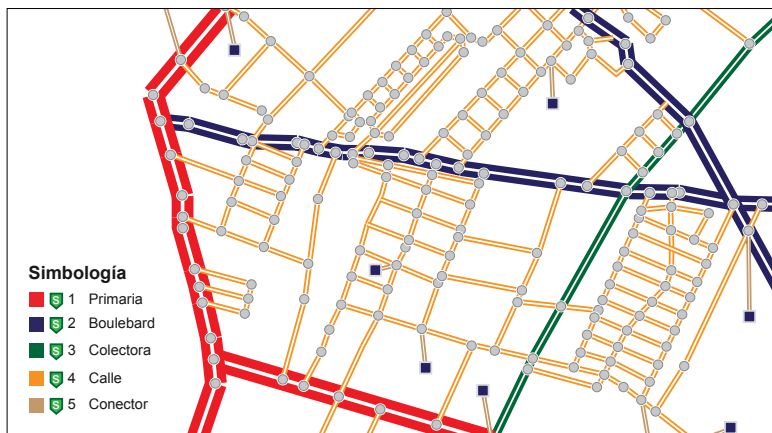
Red de transporte multimodal

Por tratarse de una red multimodal compleja, se adoptan varios tipos de vía, que determinan características tales como velocidades por modo, costos de operación, vehículos equivalentes, funciones de flujo-demora, etc. Cada tipo de vía pertenece a un “administrador”, el ente que se encarga de su mantenimiento y percibe los ingresos de los posibles peajes. La lista de tipos de vía se presenta a continuación. Para este estudio el único administrador definido fue el gobierno. En total se definen unos 2,103 enlaces multimodales.

Tipos de vías

- Primaria
- Calle secundaria
- Colectora
- Boulevard
- Autopista
- Carriles preferenciales de transporte masivo

Figura 6: Ejemplo de red codificada en TRANUS (Zona hacia el Centro de León)



Fuente: Elaboración propia en TRANUS.

El tipo de vía está codificado de acuerdo a la red vial del INEGI. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de la red vial correspondiente a las zonas ubicadas al norte del área de estudio. Se visualiza en la gráfica, el Boulevard de la Luz, Delta, Olímpica y la Morelos Pte, entre otras.

EL MODELO DE PRODUCCIÓN

Una vez codificado el modelo de transporte, se inicia la codificación del modelo de producción. Como se mencionó al principio, el modelo TRANUS se basa en la interacción entre la producción y el consumo, por lo que para ello primero deben definirse las actividades económicas. Para este estudio se definen 13 sectores básicos de la economía que se listan a continuación.

Tabla 1: Sectores socio-económicos

Sector	Nombre	Descripción
1	Econ/Serv	Empleo en el Sector de Comercios y Servicios
2	EIndust	Empleo en Industrias
3	EPubl	Empleo en el Sector Público
4	EstrBajos	Población de Estrato Socioeconómico Bajo
5	EstrMedios	Población de Estrato Socioeconómico Medio
6	EstrAltos	Población de Estrato Socioeconómico Alto
7	DenAlta	Suelo Residencial para Densidad Alta
8	DenMedia	Suelo Residencial para Densidad Media
9	DenBaja	Suelo Residencial para Densidad Baja
10	Com/Serv	Suelo para Comercio y Servicio
11	Indust	Suelo para Industrias
12	Public	Suelo para el Sector Público
13	Mixto	Suelo de Uso Mixto (Residencial + Comercio)

Fuente: Elaboración propia en TRANUS.

Se estimó la población, el empleo, los usos de suelo y su valor inmobiliario para cada uno de estos sectores en cada una de las zonas, utilizando para ello diversas fuentes oficiales (Censo de Población del INEGI, Censo Económico del INEGI, Usos de Suelo del IMPLAN de León) y datos propios (base de datos de precios inmobiliarios). Con base en ellos, se calcularon los coeficientes intersectoriales de insumo-producto y los coeficientes producción-empleos y empleos-población, que son relaciones

entre las variables socioeconómicas simuladas (población de diferentes estratos con respecto al empleo, empleo con respecto a población). En otras palabras, en términos de relaciones insumo producto, estos coeficientes intersectoriales definen cuanta población es “consumida” por unidad de empleo y cuanta población existe por unidad de empleo. Para calcular estos coeficientes, la población se dividió en tres estratos socioeconómicos (alto, medio, bajo), mientras que el empleo se dividió en tres categorías: servicios, industrias, empleos en el sector público. Para codificar la población y el empleo en cada zona, se utilizaron los resultados del Consejo Nacional de Población (CONAPO) publicados para el periodo 2010-2050.

Los principales componentes son: el empleo por tipo, la población por estrato socioeconómico, y los suelos en sus diversas características. En la concepción de este ejemplo se supuso que el Empleo en el Sector Público y el Empleo Industrial son enteramente exógenos y generan los demás sectores de la economía. El empleo de servicio y la población de cada estrato socioeconómico son sectores inducidos. Todos los sectores consumen suelo, el cual es tratado como un sector no-transportable que posee un precio o renta mensual por hectárea.

El modelo de producción se inicia por la presencia de empleos exógenos en las diferentes zonas, los cuales requieren de población (de todos los estratos) y suelos aptos para sus actividades (en área y precio). En el escenario base, la población se localiza de acuerdo al censo INEGI y se convierte en insumo para las actividades exógenas, creando flujos. A su vez, esa misma población requiere de servicios y comercios, mientras todas las actividades (población, empleos en cualquier ramo) requieren suelo. Finalmente, los empleos generados vuelven a solicitar población, las actividades se relocalizan y se cierra el círculo.

Del esquema de producción y consumo se desprenden los flujos para el sistema de transporte. Cada intercambio económico genera flujo de personas. Las relaciones entre empleo y población generan viajes al trabajo y finalmente, el consumo de la población genera viajes de personas con propósito de satisfacer sus necesidades en servicios y comercio.

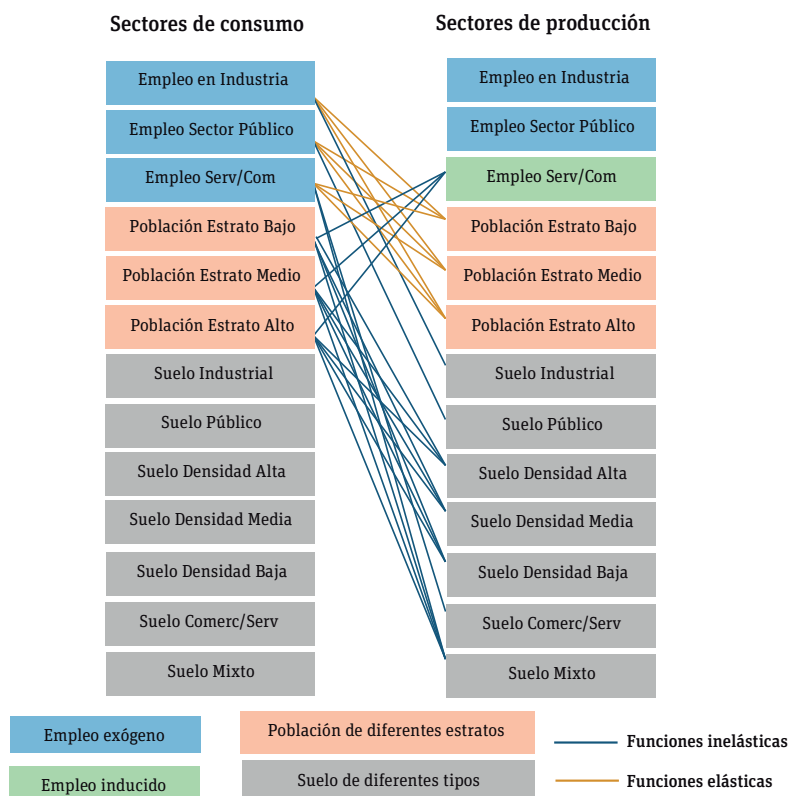
Los flujos del transporte de carga se codificaron de manera exógena con matrices de Origen y Destino de viajes exógenos, no entrando de esa forma a actuar en el modelo de actividades.

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración consistió en un esfuerzo de prueba y error para que el resultado de la simulación reportara la información del año base. Esta actividad se realizó en ambos modelos: a) el modelo de transporte y b) el modelo de actividades y usos de suelo.

Los resultados del modelo de actividades muestran un coeficiente de correlación satisfactorio, superior a 94% de correlación cuadrada (R^2) cuando se comparan con los datos existentes. De igual manera, la comparación de datos de transporte entre los aforos en cinco estaciones de conteos en vialidades de la zona de estudio y los

Figura 7: Relación entre la producción y el consumo



Fuente: Elaboración propia.

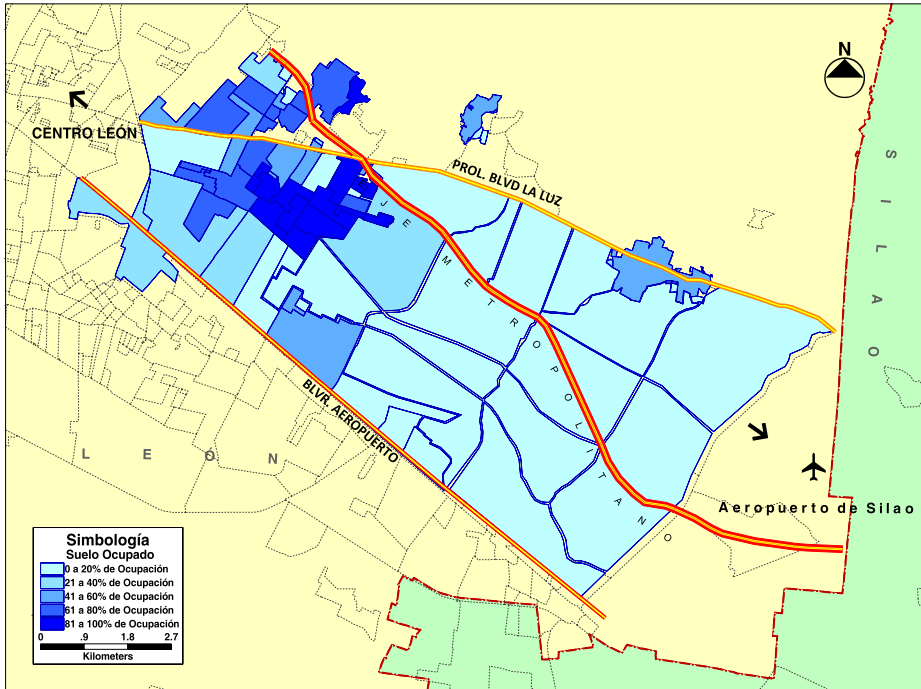
resultados de demanda vehicular arrojados por el modelo, son superiores a 92% de correlación cuadrada. Por lo anterior, es posible concluir que la similitud entre la información base y el modelo simulado es satisfactoriamente cercana.

MODELACIÓN DE ESCENARIOS

Definición de escenarios / hipótesis de investigación

El área de estudio se caracteriza por suelos no urbanizados. De las 7,000 hectáreas totales, 2,174 hectáreas, es decir, 31% del área, se encuentra ocupada con la distribución de usos que se clasifica en la figura y tabla que siguen a continuación. Las restantes 4,826 hectáreas, que representan el 69% del área total, no estaban urbanizadas en el año 2016.

Figura 8: Suelo ocupado en el año 2016



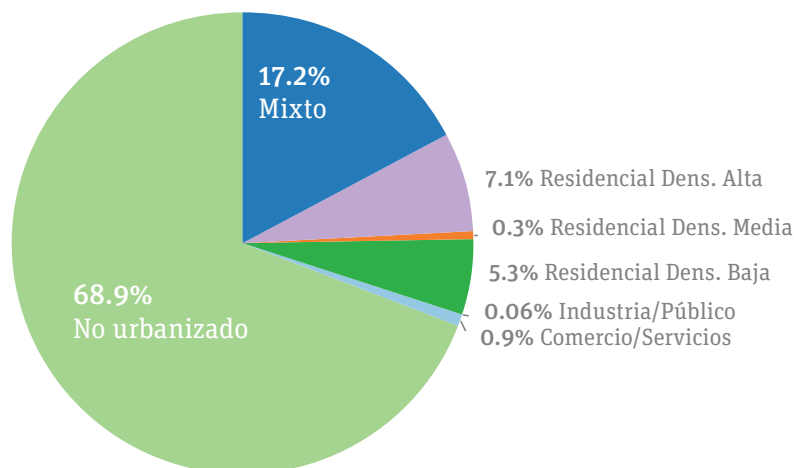
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Clasificación de los suelos del área de estudio

Tipos de suelo	Hectáreas	Participación
Mixto	1,209	17.27%
Residencial Densidad Alta	500	7.14%
Residencial Densidad Media	26	0.37%
Residencial Densidad Baja	370	5.28%
Industrial	2	0.03%
Público	2	0.03%
Comercio Servicio	65	0.93%
No urbanizado	4,826	68.94%
Total	7,000	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9: Distribución de los usos de suelo del área de estudio del 2016



Fuente: Elaboración propia.

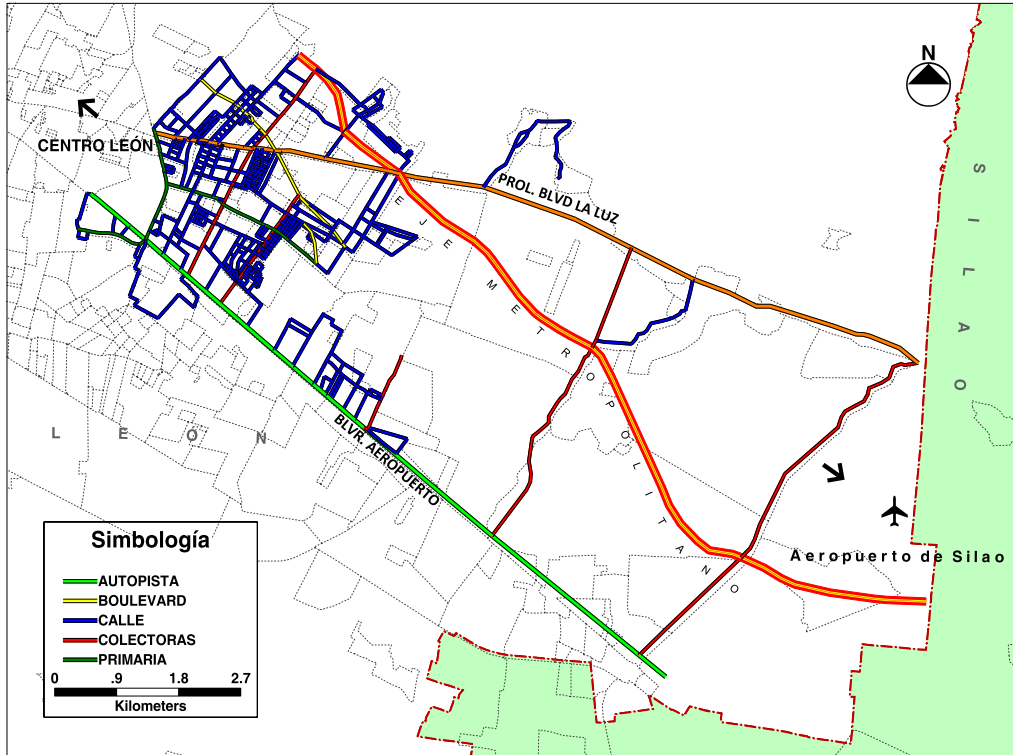
En el área de estudio predominan actualmente viajes regionales. El Boulevard Aeropuerto, que es el límite del área de estudio al sur, es la continuación de la Carretera 45 para acceder a la ciudad de León, la cual en horas de máxima demanda (7:00 am a 8:00 am) presenta gran congestión.

En los planes de desarrollo de infraestructura vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para el año 2021 para la ciudad de León, se establece la construcción de un Eje Vial que pueda auxiliar a la descongestión del Boulevard Aeropuerto por el norte. La vialidad se denominará Eje Metropolitano y conectará a Silao con el Centro de la Ciudad de León. En la Figura 10 se puede observar su trazo.

El Eje Metropolitano se encuentra conceptualizado originalmente en la Planeación Estratégica del Desarrollo Integral (2015) como una propuesta de vialidad primaria, y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes la propone como una vía de acceso controlado de alta capacidad vehicular (autopista). La zona del estudio se encuentra próxima al centro de León y la infraestructura vial propuesta dará accesibilidad a la zona, convirtiéndola en una área atractiva para el desarrollo urbano. Este documento tiene como objetivo investigar como un sistema de transporte y sus características pueden influir en el desarrollo urbano y como una política de desarrollo urbano puede influir sobre la movilidad. De esa manera, con base en los resultados de los escenarios que se describen a continuación, se intenta dar respuesta a las hipótesis enunciadas al principio de este documento.

El año base es 2016, para el cual se reproducen en el modelo los patrones actuales de movilidad y desarrollo urbano. En el año 2021 se inicia la clasificación

Figura 10: Trazo del Eje Metropolitano



Fuente: Elaboración propia.

de escenarios o alternativas. Para todas las alternativas, en el año 2021 se crea un centro de fuerte actividad económica (una nueva centralidad urbana, lo que constituiría en conjunto un modelo tendente a una ciudad policéntrica) en el corazón del área del estudio. Se puede decir que es una segunda región urbana en donde el gobierno promueve la descentralización aprovechando la construcción del Eje Metropolitano y se crea un conjunto de oficinas y actividades de apoyo. En términos del modelo significará un crecimiento de 21% en el empleo exógeno (sectores públicos e industria). El crecimiento de los demás sectores de la economía tiene una relación intersectorial, la cual se presentará en el apartado “Proyecciones de la Demanda”.

A medida que se estructuran los años subsecuentes al escenario base, en todas las alternativas se agregan vialidades primarias y secundarias adicionales al Eje Metropolitano para crear accesibilidad a la zona de estudio. Las nuevas vías son las mismas en todos los escenarios.

A continuación, se presenta una descripción resumida de los escenarios:

Escenario N: Implantación de autopista con una política de desarrollo de centros de empleo (nueva centralidad) y una política de vivienda urbana tendencial: se construye una vía de acceso controlado de alta capacidad vehicular (Eje Metropolitano) como eje principal para proveer acceso y movilidad a la zona en crecimiento. En lo que respecta al desarrollo urbano, en este escenario no se aplica ningún tipo de política que favorezca el desarrollo urbano mixto de la zona (diversidad); sin embargo, se localizan actividades de empleo exógeno mientras que el desarrollo residencial que se da, se basa en un estricto seguimiento de leyes de oferta y demanda.

Escenario P: Implantación de sistema de transporte masivo (BRT *Bus Transit Rapid* o Autobuses de Tránsito Rápido) con una política de desarrollo de centros de empleo y una política de vivienda urbana tendencial: en este escenario, la vía de acceso controlado del escenario anterior se sustituye por un sistema de transporte masivo (BRT) que sirve de eje para la accesibilidad de la zona en crecimiento. En lo referente a desarrollo urbano, se continúa con la política de *laissez faire* para desarrollo de viviendas del escenario anterior. La comparación de este escenario con el anterior permitirá analizar si se cumple una de las hipótesis de este documento, en donde se afirma que un sistema de transporte masivo/sustentable promueve por sí solo la localización de actividades que generan la ciudad densa y compacta.

Escenario U: Implantación de sistema de transporte masivo (BRT) con una política de desarrollo urbano controlado con mezcla de usos: se implanta un sistema de transporte masivo (BRT) con una línea principal que sirve de eje para la accesibilidad de la zona en crecimiento. Para incentivar el desarrollo urbano sustentable (más denso y mixto), se aplican varias políticas que lo favorezcan, además de los empleos exógenos que se localizan en ambos escenarios anteriores. En este escenario se da un fuerte crecimiento de la vivienda para todos los estratos, resultando en un desarrollo mixto. Cabe destacar que en TRANUS no se especifican las políticas que favorezcan el desarrollo urbano sustentable, sólo es posible usar parámetros matemáticos que hacen la zona atractiva para la localización de población y actividades económicas.

PROYECCIONES DE LA DEMANDA

Proyecciones de la Población

Como se anticipó en la definición de los Escenarios, existe una relación intersectorial entre los sectores económicos del modelo TRANUS, que permite el crecimiento de los sectores inducidos en función del sector básico. Para los años de crecimiento y de acuerdo a los escenarios, estos parámetros permiten el incremento de la población y el empleo que siguen.

Escenario N y P

En lo que respecta a población en estos dos escenarios, el modelo parte de la estimación general del crecimiento de CONAPO, el cual contempla que para el área urbana de León el crecimiento será de 1% anual a lo largo de los 20 años del horizonte del estudio. Es decir, el crecimiento de la población se considera tendencial y no existe una política de densificación. En la tabla que sigue se muestran los valores de crecimiento para cada año y estrato social.

Tabla 3: Crecimiento demográfico Escenarios N y P

Población (todos los estratos) Escenario N y P				
2016	2021	2026	2031	2036
	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
141,552	148,771	156,360	164,336	172,718

Fuente: Elaboración propia.

Escenario U

Este es un escenario donde el crecimiento demográfico no sigue una tendencia como los escenarios anteriores. Aquí se propone un crecimiento de la población mayor que en los escenarios anteriores para el área de estudio. Por lo tanto, a partir del año 2026, el crecimiento anual de la población será de 5%, con el objetivo de analizar lo que ocurre en el modelo cuando se densifica el área de estudio de manera planeada (i.e. densificación).

Tabla 4: Crecimiento demográfico Escenario U

Población (todos los estratos) Escenario U				
2016	2021	2026	2031	2036
	1.0%	5.0%	5.0%	5.0%
141,552	148,771	230,572	309,282	394,732

Fuente: Elaboración propia.

PROYECCIONES DEL EMPLEO

El empleo tiene un crecimiento igual en todos los escenarios de estudio. En la tabla que sigue se indican los porcentajes de crecimiento anual en los periodos analizados.

Tabla 5: Crecimiento del Empleo en el Sector Público

Empleo Público				
2016	2021	2026	2031	2036
	21.0%	1.6%	1.6%	1.6%
175	453	490	530	573

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Crecimiento del Empleo en el Sector Industrial

Empleo Industrial				
2016	2021	2026	2031	2036
	21.5%	1.8%	1.8%	1.8%
252	667	727	792	863

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Crecimiento del Empleo en el Sector Comercial y Servicios

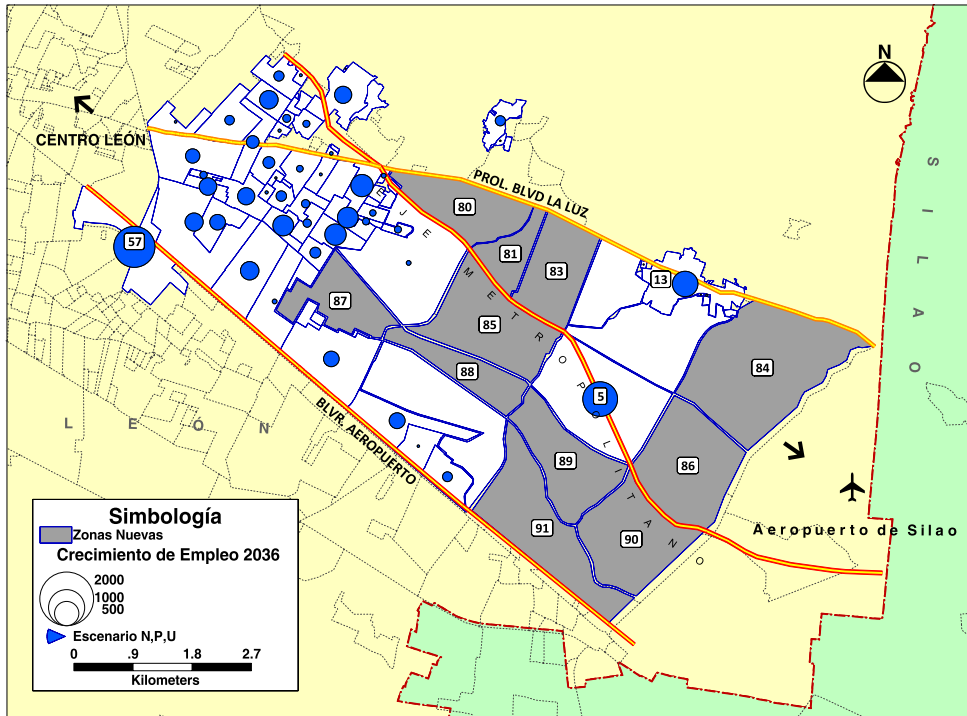
Empleo. Comercio, y Servicios				
2016	2021	2026	2031	2036
	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
7,689	9,813	12,524	15,984	20,400

Fuente: Elaboración propia.

La figura que sigue muestra la localización total de empleos en el año 2036, de acuerdo a una política de localización de empleos en las nuevas zonas, que resulta con concentraciones de empleo similares en todos los escenarios. Se forma una nueva centralidad de empleos importante en la zona 5, que compite con la zona poniente

del área de estudio, representando la hipótesis de analizar la estructura urbana con más de un centro de fuerte actividad económica (Ciudad Policéntrica).

Figura 11. Crecimiento del empleo Escenarios N, P y U año 2036

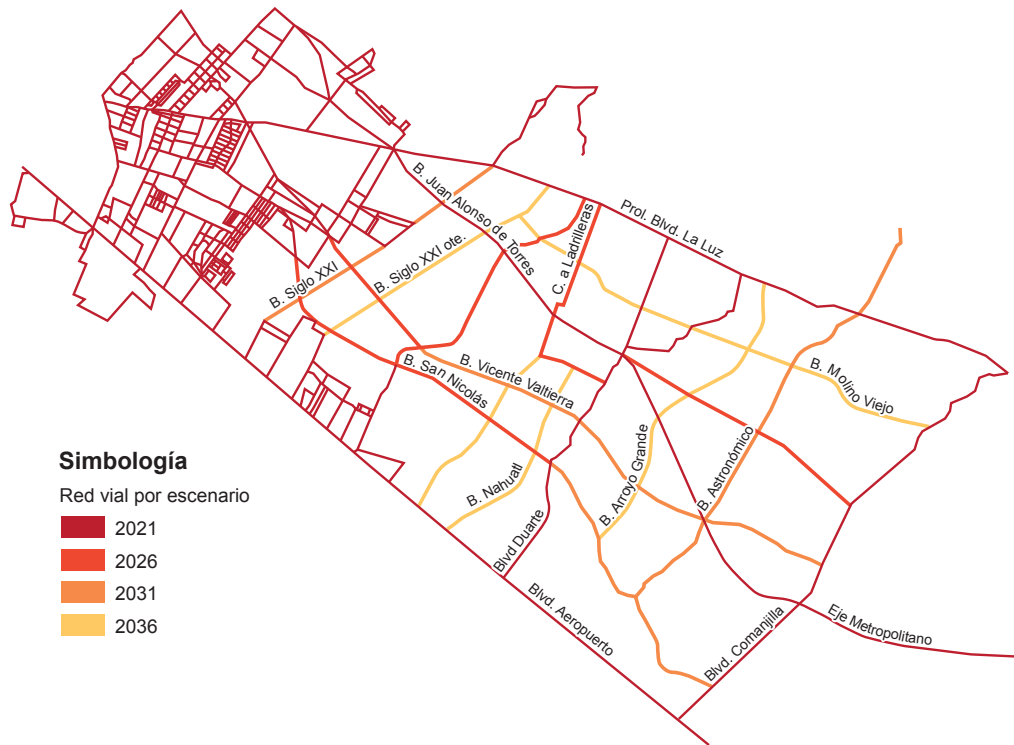


Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a infraestructura para la movilidad, la única diferencia significativa entre los escenarios es la sustitución de la vía de acceso controlado del Eje Metropolitano por un corredor de transporte masivo, tipo BRT, en los escenarios N y P, con un sistema de rutas integradas que lo apoyan. En todos los escenarios se aplican políticas que favorecen la localización de empleos. Sólo en el escenario U se implantan políticas que favorezcan la localización de vivienda en la zona de crecimiento.

En los tres escenarios se simula el mismo crecimiento de la red viaria, modificando únicamente la operación de esta, de escenario en escenario. De esa forma, en la figura que sigue se presenta la red viaria para los horizontes 2021, 2026, 2031 y 2036.

Figura 12: Escenarios de modelación



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

En resumen, se tienen tres escenarios, todos con la misma política de localización de empleo en la zona de desarrollo, pero diferencias en políticas de transporte y densificación de la población.

- En el primer escenario (Escenario N) no existe una política de transporte sustentable y, aun cuando las nuevas zonas son servidas por rutas de transporte público, la inversión de gobierno va a la implantación de una autopista (Eje Metropolitano). Tampoco existe una política para la localización de población cercana a los centros de empleo.
- En el segundo escenario (Escenario P) se sustituye a la Autopista Eje Metropolitano por un sistema BRT que se integra a las rutas existentes. Sin embargo, en lo que respecta a localización de la población cerca de centros de empleo no hay acción de parte del gobierno.

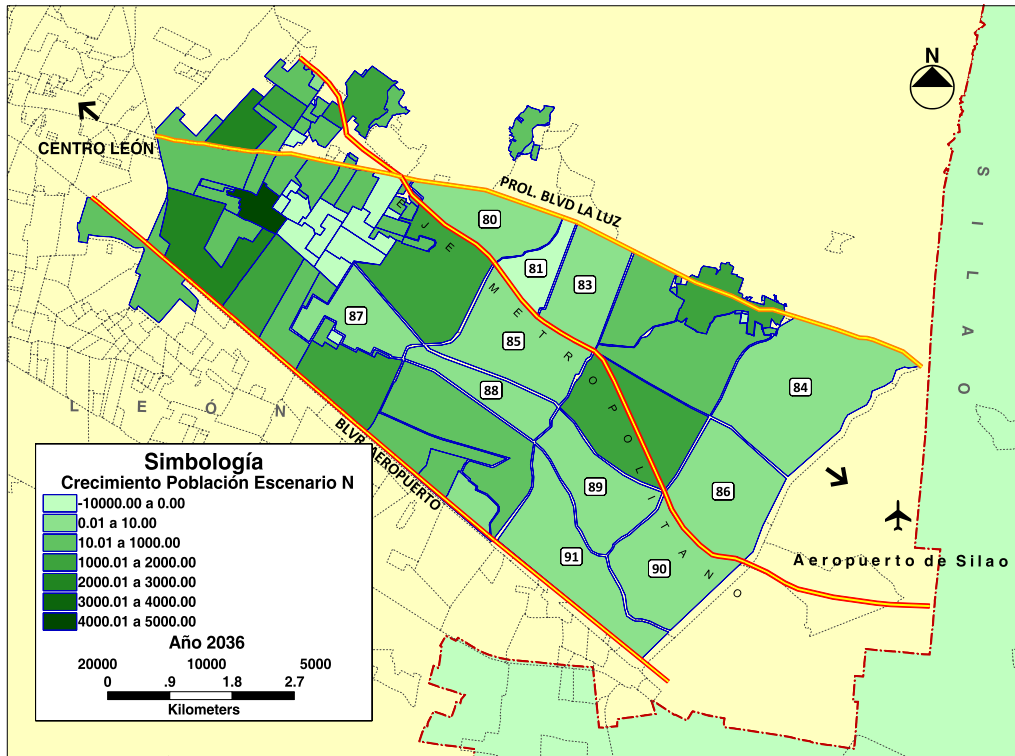
- En el tercer escenario (Escenario U), además del sistema integrado de transporte público con BRT, se implanta una política que favorece la localización de vivienda de todos los estratos en la zona en desarrollo.

El modelo TRANUS puede dar respuesta a la implantación que las políticas anteriores tienen sobre (1) la localización de la población, (2) la movilidad, (3) la densidad de usos de suelo y (4) los precios inmobiliarios. Estos impactos se discuten en los siguientes acápite.

Impacto en crecimiento de la población

Las figuras a continuación muestran el crecimiento demográfico que resulta en cada escenario. En la gráfica se puede apreciar que el mayor crecimiento de la población

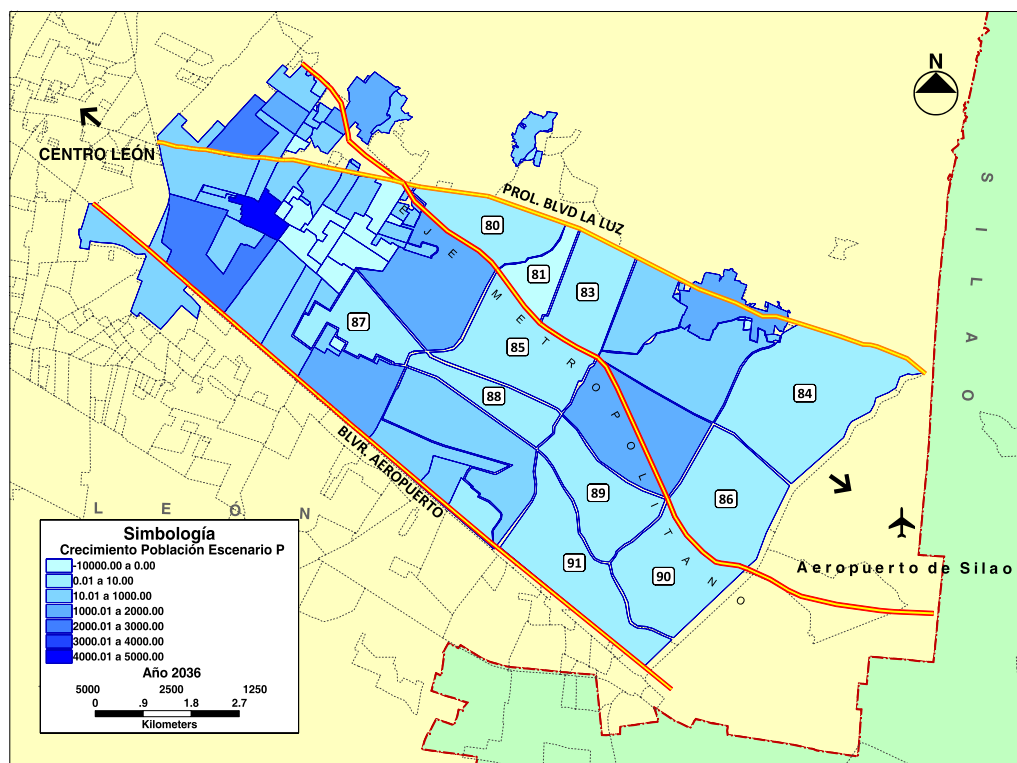
Figura 13. Crecimiento demográfico en el Escenario N, año 2036



Fuente: Elaboración propia.

se da en la zona que ya se encontraba poblada en el escenario base (zonas cercanas a la zona poniente del área de estudio), lo que nos demuestra que el modelo sigue una tendencia en la localización demográfica cuando no se tiene una política urbana exógena que modifique esa condición. Sin embargo, también se puede visualizar un crecimiento incipiente de la población en las zonas aledañas a la nueva infraestructura vial (Eje Metropolitano). Esto se considera lógico por la presencia del empleo en las zonas por donde pasa el Eje Metropolitano.

Figura 14. Crecimiento demográfico en el Escenario P, año 2036



Fuente: Elaboración propia.

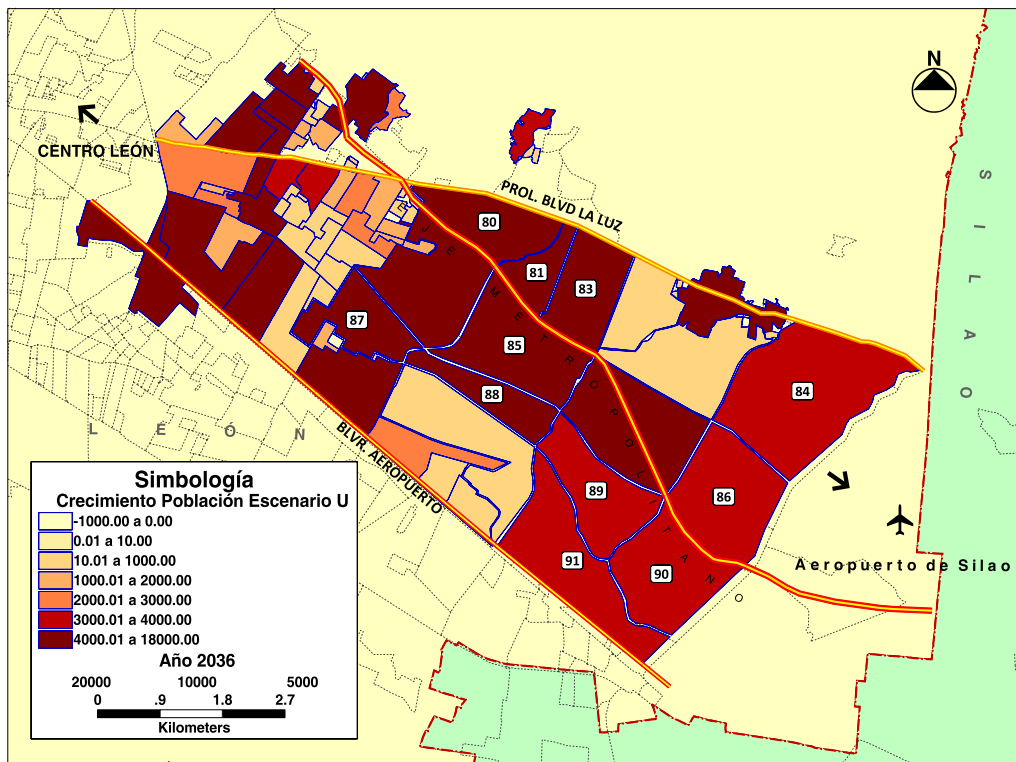
Se puede apreciar un comportamiento similar en el crecimiento de la población en el escenario P. Ambos escenarios (N con construcción de autopista y P con sistema integrado de transporte) tienen un patrón de localización de residencias similar, con pocos casos de localización levemente mayor de estratos altos en algunas zonas

alejadas al Eje vial para el escenario N y de estratos bajos en el escenario P, con densidad ligeramente mayor en el escenario P. Sin embargo, las diferencias no son significativas como para afirmar que es una tendencia definitiva.

En este apartado, la característica importante y que se debe resaltar, es que el modelo reacciona ante la presencia del Eje Metropolitano y localiza población en las zonas cercanas al mismo, aun cuando la tendencia es localizar a la nueva población en las zonas ya urbanizadas del escenario base.

En el escenario U, como muestra la Figura 15, el crecimiento demográfico es completamente diferente a las alternativas anteriores. Aquí se aplica una política para apoyar la urbanización de las nuevas zonas. Un ejemplo de esta política podría ser “otorgar créditos preferenciales a la población de estratos medios y bajos para la adquisición de viviendas”, o bien “la construcción de vivienda social”, etc.

Figura 15. Crecimiento demográfico en el Escenario U, año 2036



Fuente: Elaboración propia.

En este escenario U, en donde no solo se implanta un sistema integrado de transporte, sino que también se aplican políticas que favorecen la localización de población en la zona de desarrollo, el crecimiento de la población es significativamente más alto que en los escenarios anteriores. En orden de crecimiento, las nuevas zonas ocupan el segundo lugar en importancia de acuerdo con la Figura 16, por lo que el Modelo está respondiendo favorablemente a la asignación de la localización con las políticas de desarrollo.

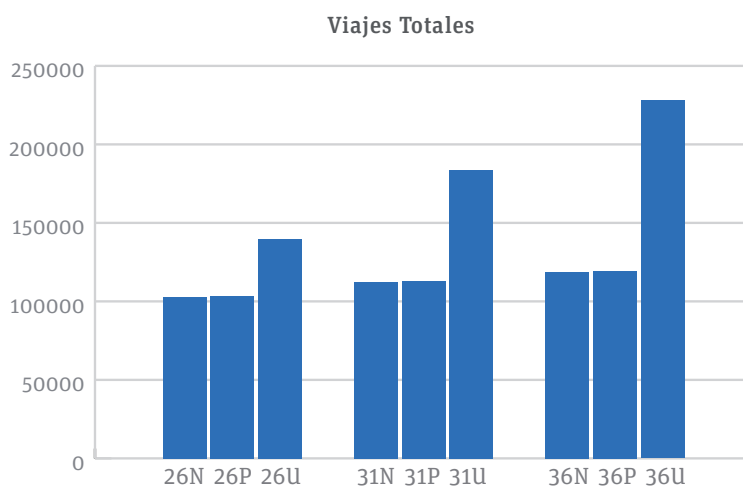
Impacto en la movilidad

Los impactos de las políticas de desarrollo urbano sobre la movilidad se visualizan a través de cinco indicadores clave:

- Número total de viajes generados
- Distribución modal de los viajes
- Distancia promedio de los viajes
- Tiempo promedio de los viajes
- Costo generalizado de los viajes

La gráfica que sigue muestra la cantidad total de viajes generados en cada escenario. Los viajes generados en el escenario U son significativamente mayores que los otros dos escenarios en cada uno de los horizontes. Los viajes generados en el escenario P son levemente mayores que los del escenario N en todos los horizontes.

Figura 16, Viajes totales generados en hora de mayor demanda

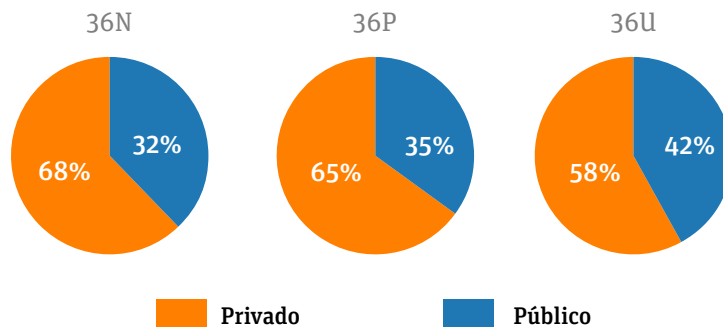


Fuente: Elaboración propia.

La gran cantidad de viajes generada en el escenario U ejerce una importante presión sobre el sistema de transporte.

Las gráficas que siguen muestran la distribución modal en cada uno de los escenarios.

Figura 17. Distribución modal de los viajes en cada escenario



Fuente: Elaboración propia.

En todos los escenarios hay una predominancia del uso del coche privado. La proporción de viajes en transporte público aumenta del escenario N al escenario P, con la implantación del sistema BRT integrado. Sin embargo, la migración de vehículo privado al transporte público se da sólo en los estratos bajos de la población, mientras que para los estratos medios y altos de la población, la distribución modal permanece casi la misma en ambos escenarios. Ver figuras que siguen.

En el escenario U, con una mayor densidad y usos de suelo mezclados, la proporción de viajes en vehículo privado llega a un máximo y se observan migraciones al transporte público inclusive en los estratos altos (23% público y 77% privado).

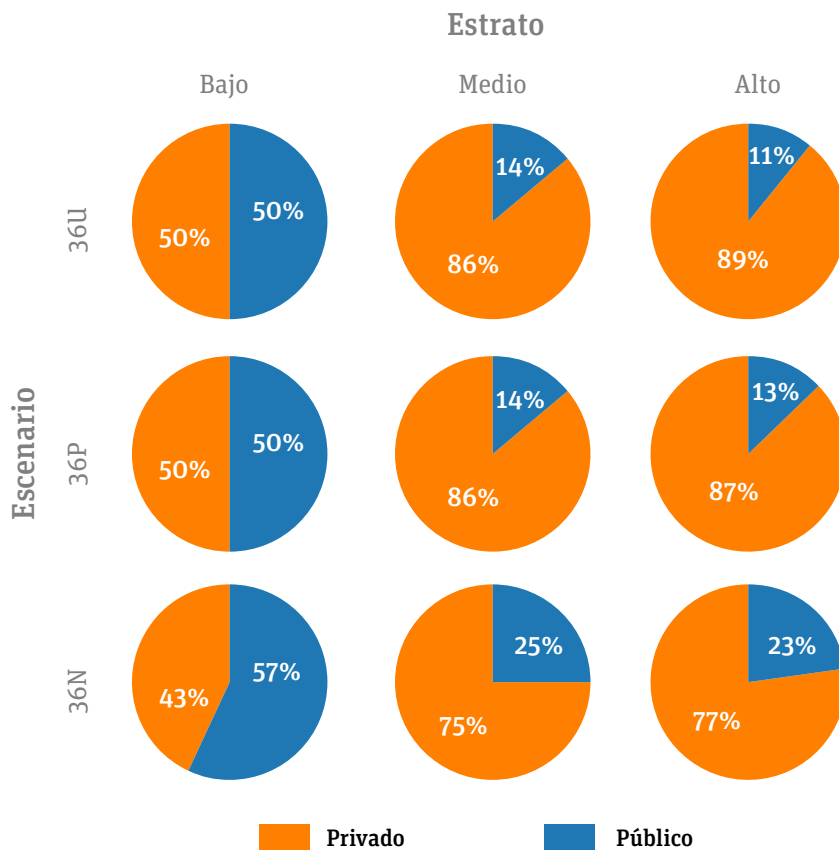
Las gráficas que siguen muestran las distancias promedio, el tiempo promedio y el costo generalizado de los viajes para cada escenario y horizonte.

En lo que se refiere a distancias de viaje, se muestra cómo un desarrollo denso y mezclado puede reducir las distancias y costos generalizados de viaje en promedio. Sin embargo, al producirse mayor congestión, los tiempos de viaje son mayores.

Al mismo tiempo, en el desarrollo mixto y denso (escenario U), al haber mayor demanda (que crea congestión), la cantidad de vehículos - kilómetros recorridos es muy superior.

Es interesante destacar que en los escenarios N y P, las distancias de viaje de los estratos altos son 54% y 59% más altas que el promedio respectivamente, mientras

Figura 18. Distribución modal por estrato socio-económico

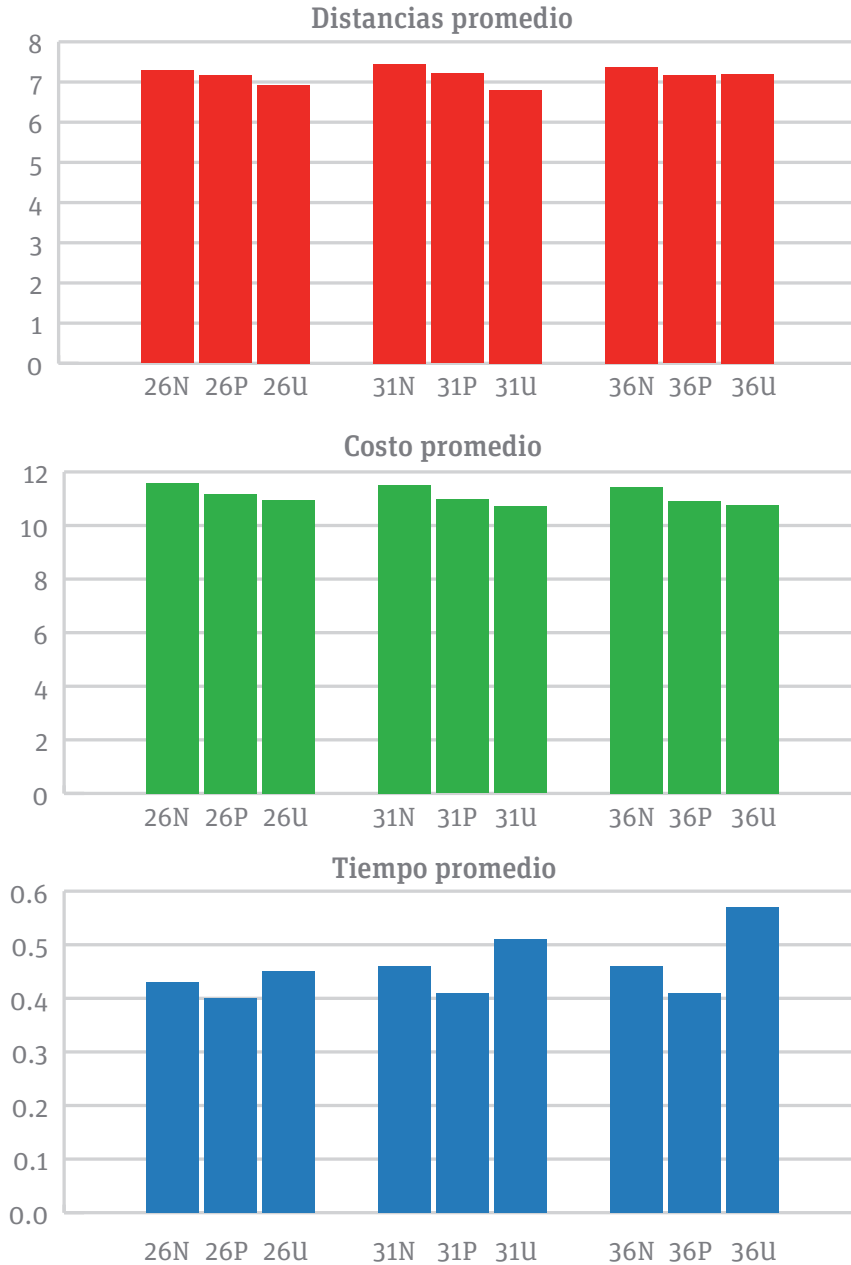


Fuente: Elaboración propia.

que los tiempos de viaje son 35% y 27% más bajos que el promedio respectivamente. Esta situación cambia significativamente en el escenario U, donde los viajes de los estratos altos son solo 30% más largos que el promedio y en lo que respecta a tiempos, solo 20% más bajos.

Por último, se presenta una comparación de los escenarios 36P y 36U en lo que respecta a abordajes al operador peatón y las distancias recorridas a pie. Como era de esperarse, hay más abordajes al operador peatón en el escenario con un sistema integrado de transporte. Sin embargo, las distancias a pie son mayores en el escenario que prioriza al transporte privado. Esto se explica por la mayor congestión en ese escenario: son varios los tramos de la red vial con velocidades menores a los 5 kilómetros por hora, por lo que el usuario prefiere caminar en esos tramos.

Figura 19. Distancias, tiempos y costos generalizados promedio por escenario



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Vehículos-kilómetros recorridos por escenario

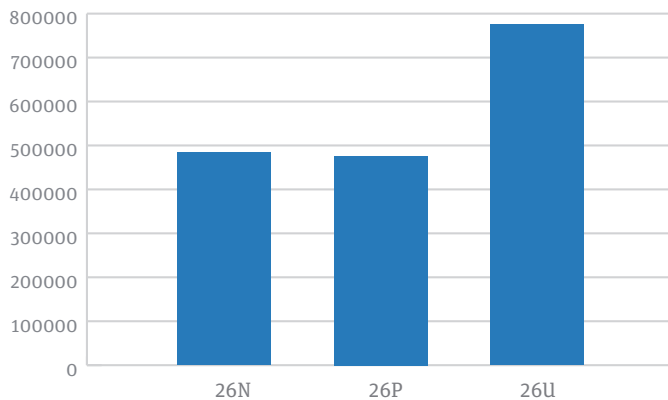
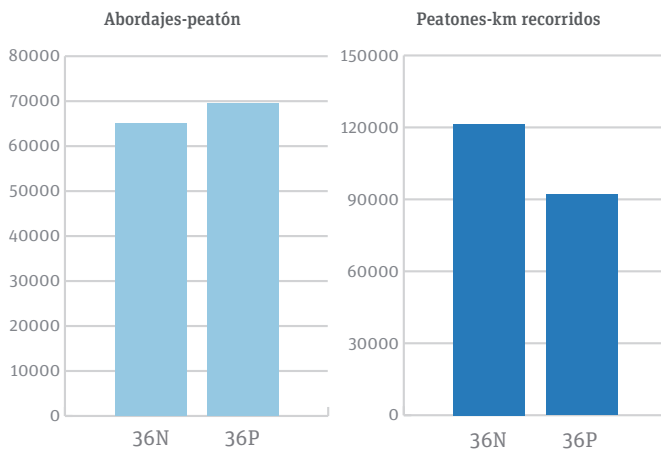


Figura 21. Abordajes y distancias recorridas por el operador peatón



Fuente: Elaboración propia.

Impacto en la densidad de usos de suelo y precios inmobiliarios

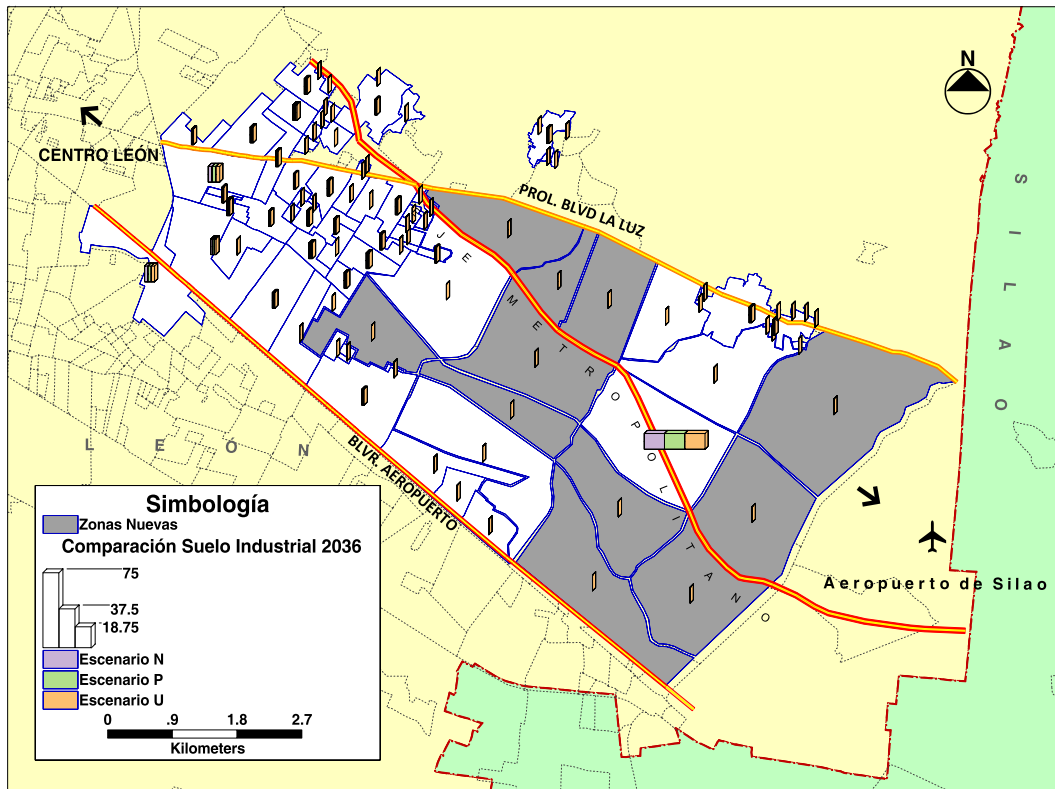
Las figuras que siguen muestran el crecimiento del consumo de suelo entre 2016 y 2036 para cada escenario y tipo de suelo. En general, los escenarios N y P son muy similares, con una leve pero mayor densidad total en el escenario P, debido a la

implantación de la línea de transporte masivo. Por otro lado, en el escenario U se da una muy fuerte densificación, debido a la política agresiva de localizar viviendas de todos los estratos en la zona en desarrollo.

Para visualizar los resultados por tipo de suelo, es oportuno recordar los tipos de suelo que fueron codificados en el modelo: suelo para densidad de población alta, suelo para densidad de población media, suelo para densidad de población baja, suelos de usos mixtos (residencias y comercios), suelos de exclusividad para el comercio y los servicios, suelos para la industria y suelo para los servicios públicos.

El primer resultado aquí representado corresponde al uso de suelo industrial. En la figura más abajo se presentan los resultados del modelo para los 3 escenarios de estudio. Efectivamente, el modelo está respondiendo de manera correcta al reportar que donde más se consumirá suelo para la industria es donde se codificaron los empleos para esa actividad.

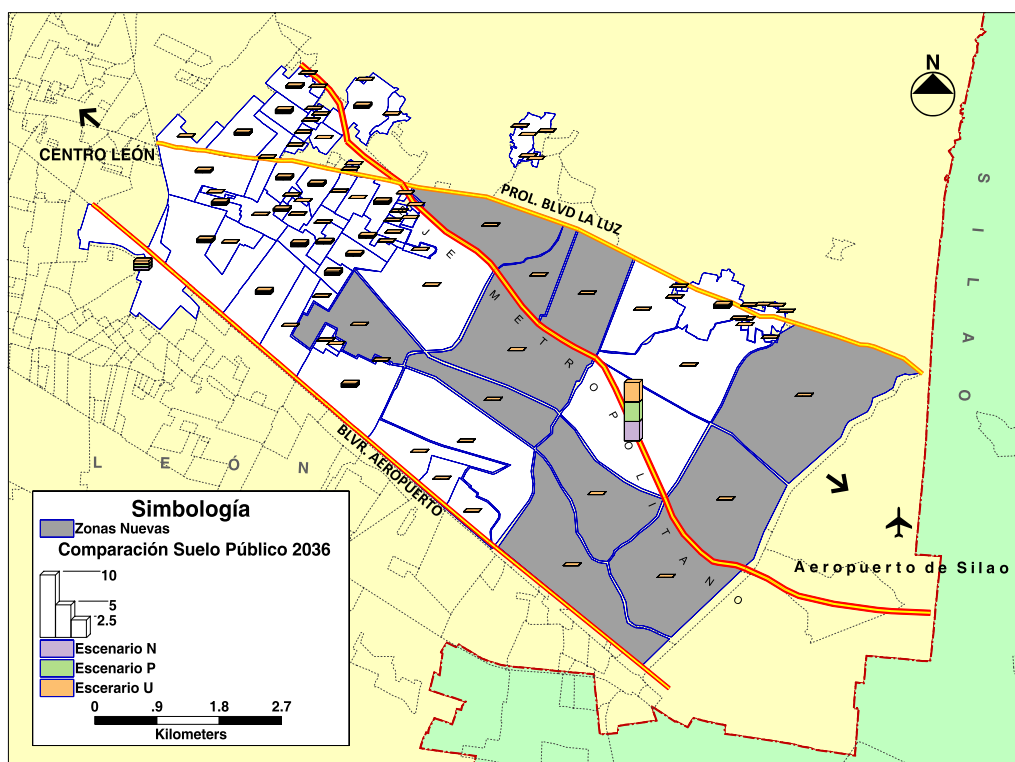
Figura 22: Comparación entre escenarios para el uso de suelo Industrial



Fuente: Elaboración propia.

Similar situación de resultados encontramos para el consumo del suelo público, donde el modelo responde a la localización geográfica del empleo que se codificó para las zonas centrales del área de estudio. En la Figura 23 se ve gráficamente la comparación en el consumo del suelo público.

Figura 23: Comparación de escenarios para el uso de suelo público

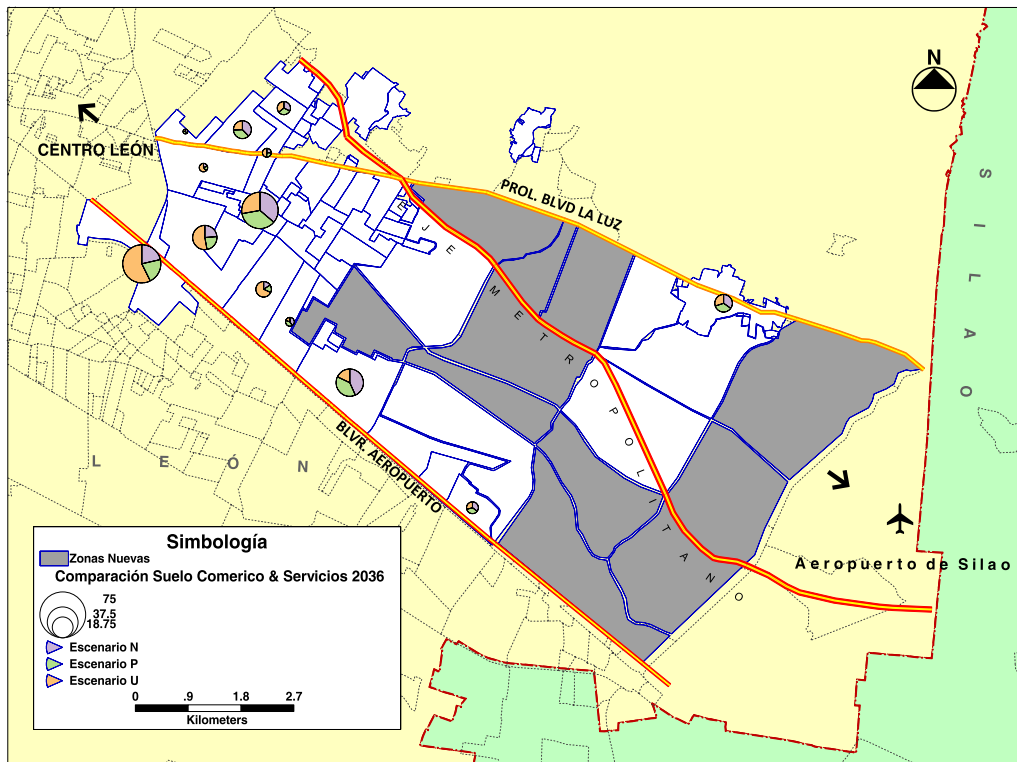


Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al consumo del suelo para el comercio y los servicios, el modelo predice que los mayores consumos se dan en las áreas que ya se encuentran urbanizadas para ese uso desde el año 2016. Esta situación se debe principalmente a que el comercio y el servicio están vinculados a la proximidad con la zona poniente del área de estudio, ya con alta densidad de comercio. El modelo sigue por tanto las tendencias, ya que no se ha inferido con una política que haga atractiva la modi-

ficación de esa condición. Hay que destacar que en la figura que sigue, solamente se representa el suelo que es de exclusividad para el comercio y los servicios. Los resultados cuando el uso es mixto (residencial con comercio) se presentan en el apartado de suelos habitacionales.

Figura 24: Comparación de escenarios para uso de suelo comercial y servicios

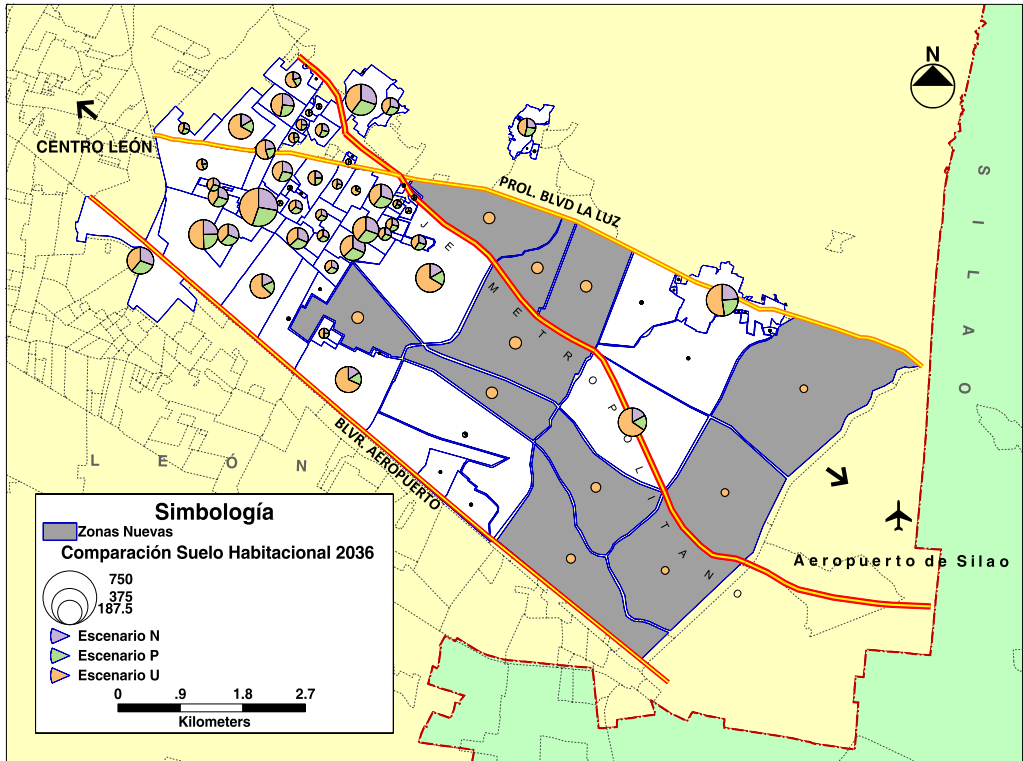


Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la densificación en uso de suelo mixto y habitacional: densidad baja, media y alta, la Figura 25 muestra la comparación entre los 3 escenarios (año 2036). Con una política que apoye a la población en el acceso al suelo (escenario U), se logra una densificación más homogénea en las nuevas áreas de desarrollo.

La cantidad de suelo habitacional y mixto que se codificó para el año 2016 es 25% del total del área de estudio. Con la proyección de los escenarios subsecuen-

Figura 25: Comparación de escenarios para el uso de suelo habitacional y mixto



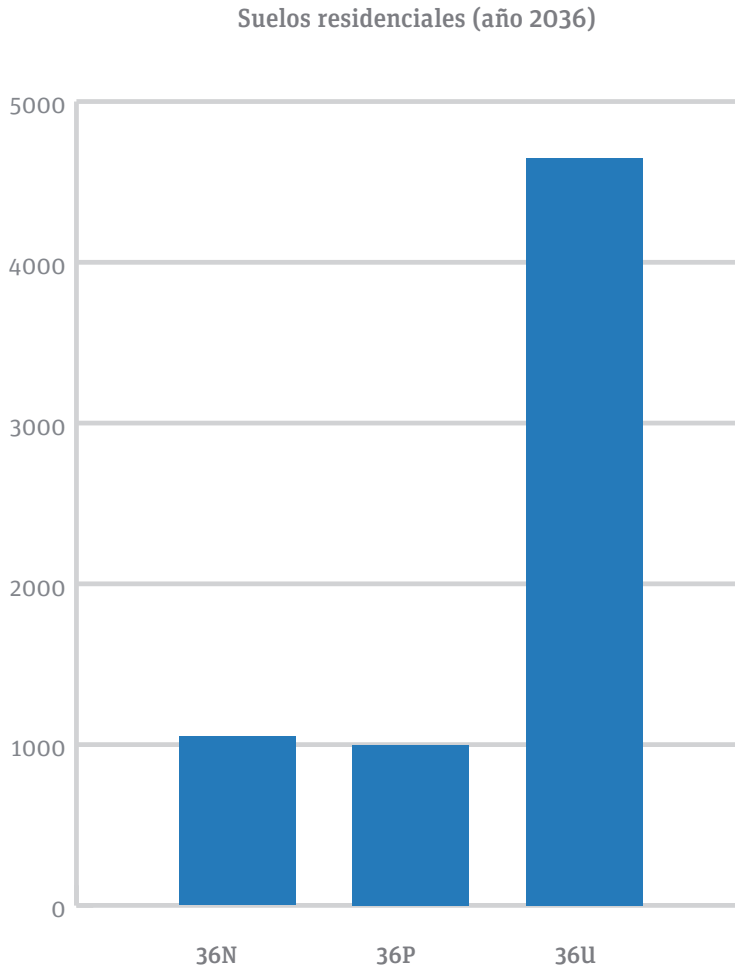
Fuente: Elaboración propia.

tes se predice, gracias al modelo, que en el año 2036 la participación en ese uso de suelo subirá al 32% del total del área de estudio en los escenarios N y P que no tienen una política de densificación.

La política que permite el acceso de la población al uso habitacional y mixto en las nuevas zonas se muestra en el escenario U. En ese escenario para el año 2036 el mismo modelo nos propone que el porcentaje de participación de los suelos residenciales y mixtos será un poco más del doble con respecto a los escenarios N y P, alcanzando el 70% del área total del estudio. Lo anterior tiene un fuerte impacto no solo en la concentración de la demanda, distancias y tiempos de viajes, como se vio anteriormente, sino también en los precios inmobiliarios.

Las Figuras 27 a la 31 muestran la comparación en precios inmobiliarios de cada escenario en el año 2036. Se observa como los precios inmobiliarios del escenario de desarrollo urbano denso y mixto es muy superior al precio de los otros dos escenarios.

Figura 26: Consumo del suelo residencial (ha) para los escenarios N, P y U

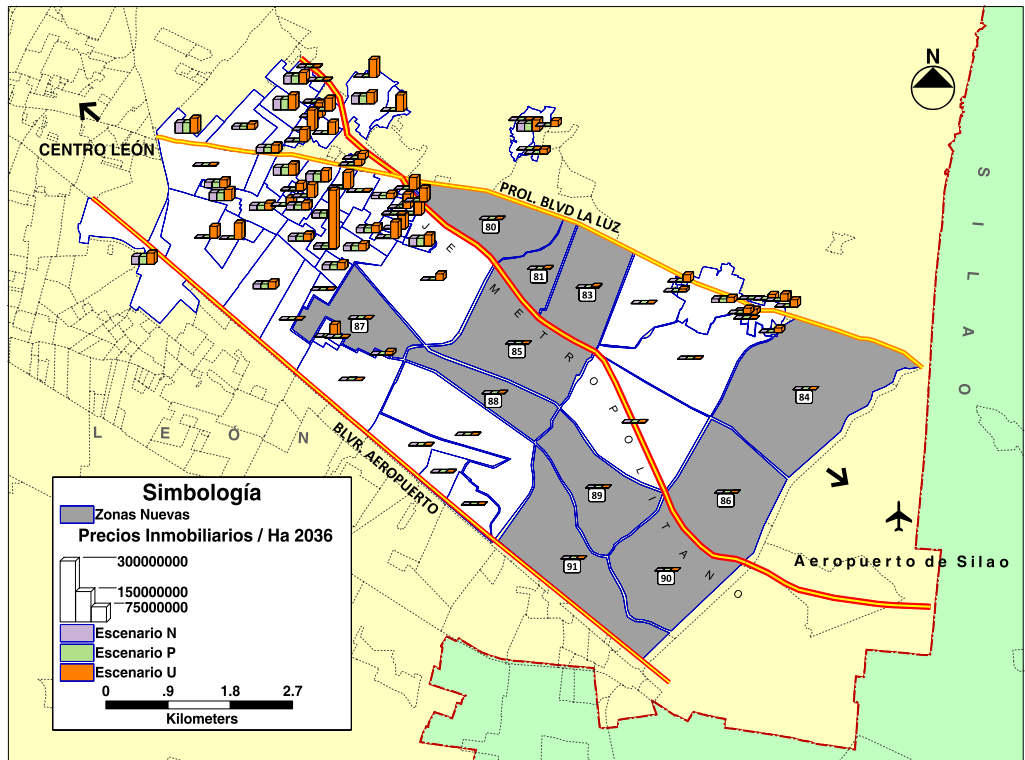


Fuente: Elaboración propia.

Se observa también como los precios inmobiliarios del escenario N son levemente más altos que los del escenario P en algunas zonas.

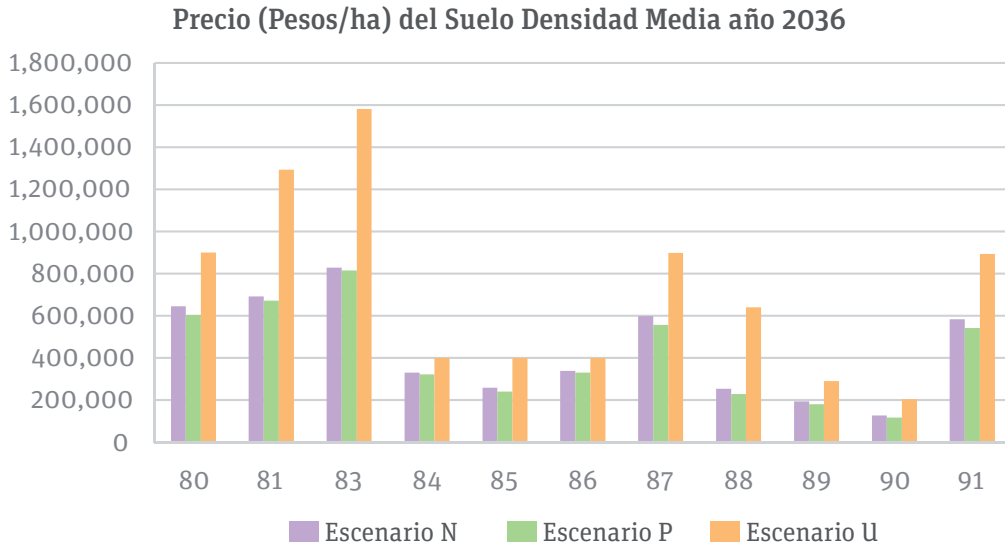
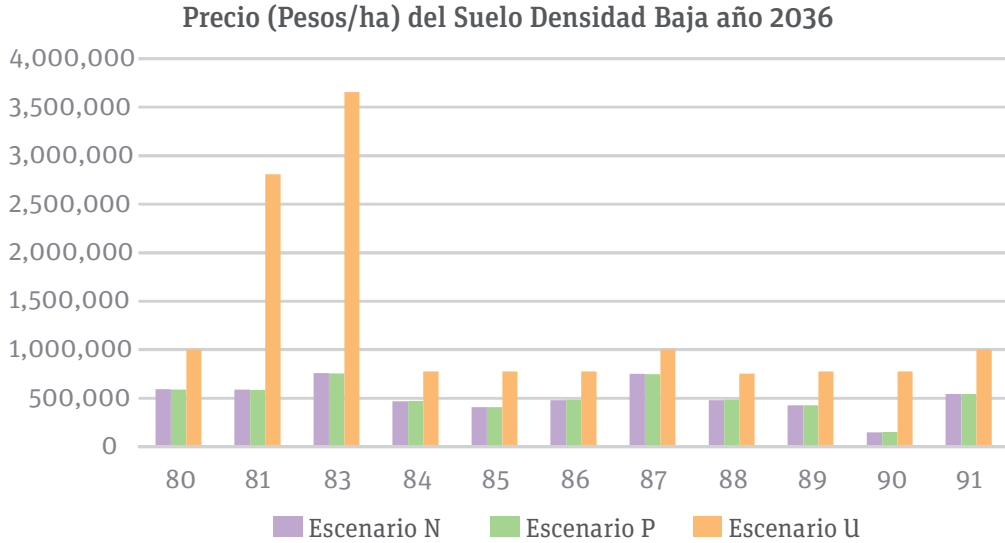
Con respecto al comportamiento de los precios de los suelos habitacionales, se visualizan a continuación los valores para las nuevas zonas de desarrollo en los 3 escenarios posibles.

Figura 27: Comparación de escenarios en precios inmobiliarios



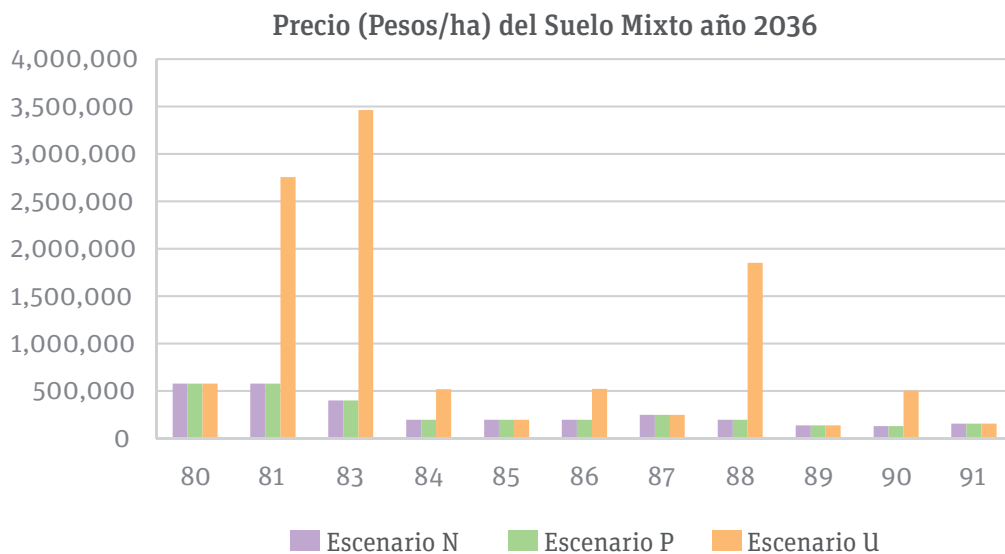
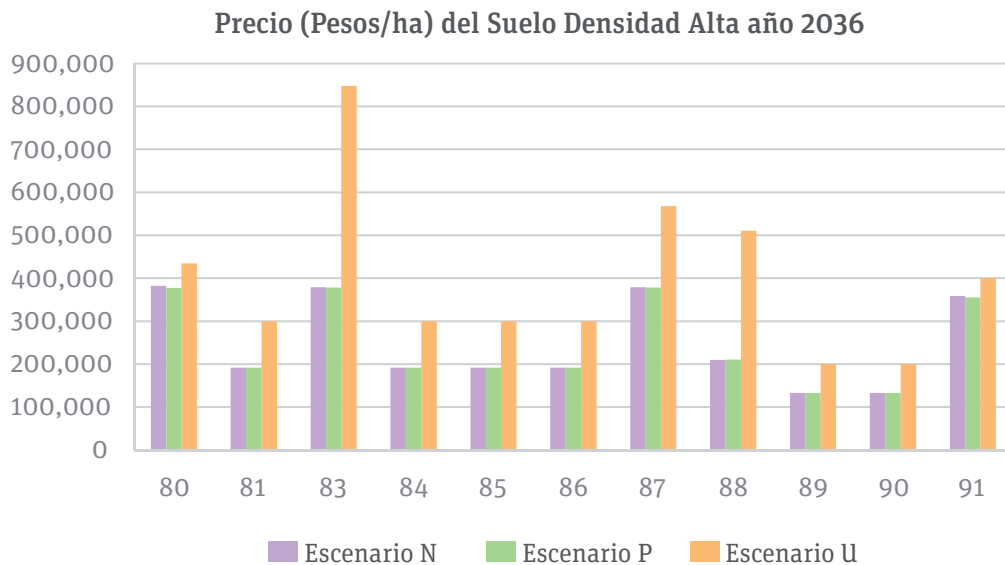
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28 y 29. Precios inmobiliarios para suelo habitacional densidad baja y media, año 2036



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30 y 31. Precios inmobiliarios para suelo habitacional densidad alta y mixto, año 2036



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En este ejercicio se demostró la utilidad de un instrumento de simulación como es el modelo integral de usos de suelo y transporte TRANUS para ayudar a la toma de decisiones en materia de urbanismo y transporte.

Se destaca el potencial de visualizar las consecuencias de adoptar una política para el desarrollo urbano de un área en pleno desarrollo. Comparar y evaluar las posibilidades de construir una autopista o en su defecto una vialidad que permita la circulación de un sistema de transporte masivo y de qué manera estas decisiones se contabilizan en indicadores de movilidad, localización de población, actividades y precios inmobiliarios.

Con el modelo TRANUS se demostró que un desarrollo denso y mixto impacta toda la dinámica urbana. Se observa como en el escenario que favorece la localización de población y produce densidades más altas (Escenario U), se obtiene como resultado que las distancias promedio de viaje disminuyen, pero las demandas de viaje se concentran y aumentan, con consecuencias en la congestión del sistema de transporte.

Por lo tanto, las distancias promedio de los viajes disminuyen con el desarrollo denso y mixto, pero los tiempos de viaje aumentan, así como los vehículos-kilómetro recorridos, debido al aumento de demanda concentrada en las mismas vías que produce el desarrollo denso.

La primera hipótesis, en donde se afirma que el desarrollo denso y mixto reduce las distancias de viaje y la distancia recorrida por los vehículos, es cierta sólo parcialmente: las distancias promedio de viajes son efectivamente menores, pero la concentración de la demanda produce más viajes motorizados, mayores distancias recorridas por los vehículos y por supuesto, más congestión.

La propuesta de un corredor BRT integrado a otras rutas convencionales probó ser insuficiente para las densidades y mezclas de usos simulada. Al tener solo una línea del sistema de transporte público que evita la congestión (la línea BRT en carriles exclusivos que separan a los buses de la congestión), mientras el resto del transporte público opera en tránsito mixto y congestionado, la opción de seleccionar el transporte público se hace ventajosa sólo para aquellos viajes en donde el uso del sistema resulte en ahorros de tiempo. En una red vial congestionada donde no se priorice al transporte público, el transporte privado continúa siendo el más rápido. Por lo tanto, en respuesta a la segunda hipótesis, el desarrollo denso y mixto por sí solo no promueve al uso del transporte público, a menos que este tipo de transporte ofrezca ventajas a la población en términos de ahorros de tiempo y costos generalizados. En conclusión, un desarrollo denso y de usos mixtos por sí sólo no es necesariamente sustentable, a menos que existan inversiones y políticas que prioricen al transporte público y restrinjan al transporte privado de forma significativa.

Por último, la tercera hipótesis, en donde se afirma que un sistema de transporte masivo favorece la localización de actividades que generan una ciudad densa y compacta, queda sin respuesta definitiva. La diferencia de la localización de activi-

dades del escenario N (implementación de autopista) y P (implementación de BRT integrado) es muy pequeña para ser concluyente. Es posible que en un escenario en donde el sistema de transporte público con prioridad sea más extenso, la hipótesis se cumpla, pero en este esfuerzo ese escenario no fue simulado.

Por otro lado, están los precios inmobiliarios: a mayor densidad de ocupación y usos, mayor es el precio del suelo. En el escenario virtual simulado de alta densidad y mezcla de usos, se construye vivienda para todos los estratos en suelo de alto costo. Como consecuencia, las distancias de viaje disminuyen considerablemente. Sin embargo, en un escenario real sin la intervención de gobierno para la localización de la vivienda y en donde las leyes de mercado rijan totalmente el desarrollo inmobiliario, los estratos bajos y medios no podrían adquirir viviendas en las zonas densas y mixtas, siendo expulsados donde el suelo sea más económico, generalmente alejados de los centros de empleo. Esto tendría un impacto muy diferente sobre la movilidad, aumentando las distancias y costos de viajes, desconcentrando las demandas de transporte en las vías periféricas, pero congestionando al sistema de transporte en las cercanías de los centros de empleo.

Se concluye por lo tanto que para que el desarrollo denso y mixto ocurra y sea sustentable, dos acciones deben ocurrir:

- Acciones exógenas (fuera del mercado, emprendidas por el gobierno) para favorecer la localización de vivienda de todos los estratos sociales en suelo de alto costo.
- Una priorización total de modos sustentables, transporte público y otros.

En este ejercicio se muestra como principios de desarrollo urbano considerados sustentables lo son solo bajo particulares condiciones. También demuestra la necesidad de analizar en detalle las políticas de desarrollo y movilidad previas a su aplicación. El modelo TRANUS, que integra la simulación de usos de suelo, mercado inmobiliario y movilidad, prueba ser una herramienta adecuada para evaluar políticas urbanas.

Por lo tanto, es fundamental que las políticas de desarrollo urbano y movilidad estén totalmente integradas. Además, es de suma importancia que los impactos y consecuencias de políticas de desarrollo urbano y transporte sean anticipados previamente a la implantación. De allí la importancia de usar herramientas que permitan la simulación integrada de movilidad, usos de suelo, actividades y precios inmobiliarios para prever consecuencias de las políticas aplicadas.

La herramienta TRANUS también permite evaluar los proyectos desde el punto de vista ambiental, al calcular el consumo de combustible y relacionarlo con emisiones de contaminantes. Para lo anterior, es necesario estimar las curvas de consumo de energía (combustible) de cada uno de los operadores en la simulación y obtener tasas de emisiones contaminantes con base a consumo de combustible. Este esfuerzo puede ser parte de investigaciones futuras, utilizando esta herramienta.

BIBLIOGRAFÍA

- Brasil. Senado Federal y Subsecretaría técnica de ediciones. (2001). *Estatuto da Cidade (Lei Federal 10257)*, Brasilia. Recuperado de <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf?sequence=6>
- CONAPO (2010) Proyecciones de la población. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico>
- De la Barra, T. (1979) *Towards a Framework for Integrated Land Use and Transport Modelling*. PhD Dissertation, University of Cambridge, UK.
- De la Barra, T. (1989) *Integrated Land Use and Transport Modelling: decision chains and hierarchies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Echenique, M.H. (1985) The use of integrated land use transportation planning models: the cases of Sao Paulo, Brazil and Bilbao, Spain. M. Florian, (Ed.) *The Practice of Transportation Planning*. La Haya: Elsevier.
- Gobierno del Estado de Guanajuato. Instituto Municipal de Planeación (2015) *Programa Municipal de Desarrollo Urbano y de Ordenamiento Ecológico y Territorial de León, Guanajuato*.
- Guanajuato. Gobierno (2016) *Ley de Movilidad del Estado de Guanajuato y sus Municipios*. (Ley Nro. 45. 2da parte.)
- INEGI (2010) Censo de población y vivienda.
Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/default.html>
- INEGI (2016) Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2015.
Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/historicas/eneu/default.html>
- Leontief, W. W. (1941) *The Structure of the American Economy 1919-1939*. 2nd ed. 1951. New York: Oxford University Press
- Modelistica (2011) Descripción General del Sistema TRANUS. Consulta el 12/01/2017. Recuperado de <http://modelistica.com.mx/wp-content/uploads/2015/10/DescripcionGeneralTranus.pdf>
- Martinez, F. (1992) The bid-choice land-use model: an integrated economic framework *Environment and Planning A*, 24, 871-85
- Putman, S. (1983) *Integrated Urban Models: Policy Analysis of Transportation and Land Use*. Londres: Pion.

- Simmonds, D., and B. Still. (1999) DELTA/START: Adding land use analysis to integrated transport models. In *World Transport Research: Selected Proceedings of the 8th World Conference on Transport Research 4*. Antwerp, Belgium, July 12–17, 1998.
- Waddell, P. (2002) UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American Planning Association* 68: 297–314.
- Miller, E., Hunt, H., Abraham, J.E., Salvini, P.A. (2004). Microsimulating urban systems. *Computers, Environment and Urban Systems* 28, 9-44.