



**ESTADO
DE LA NACIÓN**

Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2019

Investigación de base

Presión poblacional y sus efectos en la saturación vial de la ruta 39

Investigador:
Esteban Durán Monge

San José | 2019



Esta Investigación se realizó para el capítulo Armonía con la Naturaleza, del *Informe Estado de la Nación 2019*.

Las cifras de esta investigación pueden no coincidir con las consignadas en el *Informe Estado de la Nación 2019* en el capítulo respectivo, debido a revisiones posteriores. En caso de encontrarse diferencia entre ambas fuentes, prevalecen las publicadas en el Informe.

Se agradece a Rafael Segura, Steffan Gómez y Leonardo Merino por su apoyo y asesoría para las estimaciones estadísticas y en la parte metodológica.

Índice

Resumen	4
Hallazgos principales	4
Introducción.....	6
Fuentes y metodología	7
Avances en la exploración de la saturación vial del país y la ruta 39.....	8
Factores que presionan el congestionamiento en la circunvalación.....	12
Conclusiones.....	26
Bibliografía	27

Resumen

En los últimos años el Programa Estado de la Nación (PEN) ha explorado nuevas fuentes de información para estudiar la saturación de la red vial del país y sus efectos sobre la movilidad (PEN, 2018a; PEN, 2018). Uno trabajo reciente desarrollado en conjunto por el PEN y el Colaboratorio Nacional de Computación Avanzada (CNCA) del CeNAT-CONARE (Cubero et al., 2019) desarrolló una nueva metodología para modelar la saturación de la red vial del país a partir de datos de atascos de la aplicación móvil Waze y permitió conocer a fondo el estado del congestionamiento en una ruta estratégica para la movilidad en el centro del país: la Ruta 39 también conocida como “circunvalación”.

Este trabajo realiza un análisis exploratorio de algunos de los factores que explican la saturación en esta importante vía, en particular busca analizar la presión generada por las personas al utilizar la ruta, según sus destinos y requerimientos de movilidad. Para esto se estudiaron dos factores que presionan la saturación en la “circunvalación”: el contexto demográfico de las poblaciones más cercanas a la ruta y el movimiento de personas para llegar a sus lugares de trabajo.

Se identifican sectores de varios kilómetros de la circunvalación, como por ejemplo el noroeste, presionados por valores elevados de las variables relacionadas con el factor demográfico de las poblaciones donde están ubicados, pero que, al mismo tiempo, reciben movimientos poblacionales considerables en todos sus puntos de acceso, pues en estos confluyen importantes flujos de personas entre cantones.

En el fondo, estos resultados reflejan la presión generada como resultado del uso del automóvil como principal opción para la movilidad. Ante esta situación, y en un contexto que parece apuntar hacia la intensificación de estos factores de presión, queda en evidencia que mientras no existan formas alternativas de movilidad que permitan prescindir del automóvil, será difícil cambiar la situación actual y más bien está se seguirá agravando.

Palabras clave

Congestión vehicular, movilidad, saturación vial, ruta 39.

Hallazgos principales

- Los resultados evidencian una situación de elevados niveles de saturación en la ruta 39 que predomina en la mayoría de las secciones de la vía, pero con distintos patrones según el momento del día y la dirección en la que se transita la vía.
- Durante la hora pico de la mañana en la dirección este a oeste, la situación más crítica se localiza en el oeste y sur de la vía 39. En contraste, en la dirección oeste a este, los segmentos del este concentran los mayores niveles de saturación.
- El retraso promedio por segmento durante la hora pico en la mañana es de aproximadamente 5 minutos para ambas direcciones.
- Durante la hora pico de la tarde los segmentos críticos de saturación se ubican en ambos extremos del anillo (oeste y sur).
- El retraso promedio durante la hora pico de la tarde es más elevado en comparación con la mañana. En dirección este a oeste es de 9 minutos, es decir, 4 minutos más alto que

los valores encontrados en la mañana. En la dirección oeste-este el retraso promedio es de aproximadamente 6 minutos.

- Se identificaron dos tipos principales de patrones de congestiónamiento en la carretera de circunvalación. El primero se caracteriza por presentar pocos segmentos de alto congestiónamiento cercanos a rotondas, intersecciones y pasos a desnivel. Se trata de los atascos típicos de sectores por los que ingresan los usuarios a la ruta, que parecen tener un efecto importante, pero en pocos segmentos. El segundo tipo presenta valores altos e intermedios de saturación, pero en series consecutivas de segmentos. En este caso los segmentos saturados se concatenan y conforman secciones más extensas de congestiónamiento que generan un efecto de retraso en cadena por varios cientos de metros.
- Al analizar el contexto demográfico de las zonas más cercanas a la ruta 39, se observa que la presión es más elevada en los sectores sur y oeste de la carretera. Además, es posible identificar segmentos de la vía que son presionados de manera simultánea por varios de los indicadores analizados.
- Cuatro de los distritos más poblados del país, a saber, Pavas, Hatillo, San Sebastián y Uruca, contienen casi la totalidad de los sectores sur y oeste de la ruta. En esos mismos sectores también se encuentran los distritos de mayor densidad poblacional, es decir, centros de población que mueven cantidades grandes de personas en un espacio territorial limitado, con efectos sobre la Ruta 39, sus calles de acceso e incluso otras vías cercanas. En el noroeste de la carretera se encuentran los valores más elevados de personas en edad de asistir a la escuela o colegio, particularmente en distritos como Pavas o Uruca.
- En lo que se refiere a la presión generada por el desplazamiento de las personas para llegar a sus lugares de trabajo, las 246.704 personas que ingresan y salen del cantón central de San José imponen una alta presión al congestiónamiento en la ruta 39, ya sea al cruzarla de forma transversal o al usar tramos de ella. A esto se suma que 374.599 personas llegan hacia o salen desde cantones vecinos a la ruta.
- El análisis más detallado de los flujos que se generan como producto del desplazamiento de personas muestra que estos ocurren en diversas direcciones y magnitudes, por tanto, la afectación es distinta según el sector del anillo que se analiza. En un primer ejercicio realizado para este trabajo, se encuentra que la presión generada por el movimiento de las personas hacia sus lugares de trabajo, es más intensa en los sectores noroeste y este, donde confluyen importantes movimientos entre cantones.
- Los resultados del análisis de movimiento de personas para desplazarse a sus centros de trabajo coinciden con los del análisis de niveles de saturación, pues los niveles más altos de congestiónamiento tienen lugar en los sectores que reciben la mayor presión por movimiento poblacional.
- Se identifican sectores de varios kilómetros de la circunvalación, como por ejemplo el noroeste, presionados por valores elevados de las variables relacionadas con el factor demográfico de las poblaciones donde están ubicados, pero que, al mismo tiempo, reciben movimientos poblacionales considerables en todos sus puntos de acceso, pues en estos confluyen importantes flujos de personas entre cantones.
- Los resultados del análisis de saturación reflejan la presión generada como resultado del uso del automóvil como principal opción para la movilidad. Ante esta situación, y en un

contexto que parece apuntar hacia la intensificación de estos factores de presión, queda en evidencia que mientras no existan formas alternativas de movilidad que permitan prescindir del automóvil, será difícil cambiar la situación actual y más bien está se seguirá agravando.

Introducción

En los últimos años el Programa Estado de la Nación (PEN) ha explorado nuevas fuentes de información para estudiar la saturación de la red vial del país y sus efectos sobre la movilidad (PEN, 2018a; PEN, 2018). La escasez de datos oficiales para desarrollar investigación y la problemática que significa el congestionamiento en el país han motivado el surgimiento de nuevas líneas de trabajo basadas en fuentes no tradicionales que requieren la implementación de tecnologías y técnicas propias de la Ciencia de Datos y el Big Data.

Conocer con precisión la ubicación, magnitud y dinámica temporal del congestionamiento es fundamental para entender la situación actual en esta materia, pero además para apoyar el diseño de política pública basada en evidencia. Uno de los trabajos más recientes desarrollados en conjunto por el PEN y el Colaboratorio Nacional de Computación Avanzada (CNCA) del CeNAT-CONARE (Cubero et al., 2019) permitió el desarrollo de una nueva metodología para modelar la saturación de la red vial del país a partir de datos de atascos de la aplicación móvil Waze. Estos resultados demostraron el potencial detrás de los datos y, en un primer estudio de caso, permitieron conocer a fondo el estado del congestionamiento en una de las rutas estratégicas para la movilidad en el centro del país, a saber, la Ruta 39 también conocida como “circunvalación”.

Aunque el aporte de este esfuerzo es significativo, es posible profundizar en el análisis e integrar otras fuentes de información que contribuyan a estudiar lo que hay detrás de esta realidad de alto congestionamiento. La presente investigación realiza un análisis exploratorio de algunos de los factores que explican la saturación en esta importante vía.

Según se ha planteado en la edición anterior del Informe Estado de la Nación (PEN, 2018a), el congestionamiento vial se deriva de una combinación de elementos. Aspectos como rezagos en infraestructura o deficiencias en el sistema de transporte público tienen implicaciones negativas sobre los niveles de saturación de la red vial y los tiempos de traslado. Pero otro de los aspectos relevantes para comprender el congestionamiento es la presión generada por las personas al utilizar las vías, según sus destinos y requerimientos de movilidad. Esta ponencia realiza una aproximación de dicha presión en el caso de la Ruta 39. Para esto se estudiaron dos factores: el contexto demográfico de las poblaciones más cercanas a la ruta y el movimiento de personas para llegar a sus lugares de trabajo.

El trabajo se divide en 5 secciones incluyendo esta introducción. La segunda sección presenta los detalles sobre las fuentes, abordaje metodológico y supuestos utilizados. El siguiente apartado expone los avances alcanzados en el análisis de la saturación vial del país y la Ruta 39. La cuarta sección explora los factores que presionan y explican el congestionamiento en la circunvalación. Finalmente, se presentan las conclusiones de esta ponencia.

Fuentes y metodología

Esta investigación lleva a cabo un análisis exploratorio, a partir de la metodología y estimaciones realizadas por el estudio de Cubero et al., (2019), de algunos de los factores que explican la saturación vial en la ruta 39. Para esto se utilizan 4 fuentes de información:

- La base de datos de atascos de la aplicación móvil Waze. Esta incluye más de 52 millones de registros de atascos capturados durante todo el año 2018, donde cada registro integra los reportes generados por diversos usuarios mediante la aplicación. La descarga es un esfuerzo conjunto entre el el PEN, el Colaboratorio Nacional de Computación Avanzada (CNCA) del CeNAT-Conare y una alianza institucional con el Departamento de Informática del MOPT, el ente encargado de realizar la descarga de los datos para Costa Rica.
- Información recopilada en el Censo Nacional de Población 2011 del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2011).
- Las proyecciones distritales de población al 2019 del Centro Centroamericano de Población (CCP) de la UCR (CCP, 2019).
- Los resultados del trabajo de campo realizado en la ruta 39 por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del Lanamme-UCR. Este consiste en 34 videos grabados por unidades móviles especializadas para las 17 secciones de control de la ruta 39 en ambos sentidos. Estos videos fueron publicados en el 2018 en al canal de YouTube de la institución (LANAMME, 2018).

El análisis se realizó en cuatro etapas. La primera consistió en clasificar los 145 segmentos de 100 metros de longitud que conforman la ruta 39 (conocida como “circunvalación”) según los niveles de intensidad de la saturación calculados mediante los datos de atascos de la aplicación Waze. Para estimar el nivel de saturación se utilizan las tres variables planteadas por Cubero et al., (2019): el tiempo promedio de retraso en segundos con respecto a la velocidad en vía libre, la cantidad de atascos reportados en un segmento como proporción del total de atascos registrados en la vía y la variabilidad del retraso medida por su desviación estándar (este último permite diferenciar entre segmentos saturados o no saturados de manera constante o esporádica). Se utilizó la técnica de análisis multivariado K-medias, con 10.000 iteraciones y 50 repeticiones para determinar el número de conglomerados, y con 1.000 iteraciones y 50 repeticiones para seleccionar el algoritmo Lloyd. Como resultado fue posible categorizar cada segmento según cuatro niveles de saturación: muy alto, alto, medio y bajo.

En la segunda etapa, se determinó en términos espaciales la región de influencia de la ruta 39 según la ubicación de los cantones y distritos más cercanos a la vía. Esto permitió identificar y delimitar las zonas: i) que están dentro del anillo de “circunvalación”, ii) las que son cruzadas por la “circunvalación” y iii) las que, si bien no son transitadas por la ruta 39, colindan con otras que sí la traspasan.

El tercer paso consistió en medir la presión que generan las personas al utilizar las distintas vías, según sus destinos y necesidades de movilidad. Para aproximar esta presión se consideraron dos factores: el contexto demográfico que caracteriza a las zonas cercanas a la ruta 39 y los movimientos que realizan las personas para llegar a sus lugares de trabajo.

En el primer caso, se consideraron tres indicadores para cada uno de los distritos que conforman la zona de influencia de la “circunvalación”: la cantidad de habitantes, la densidad poblacional por kilómetro cuadrado y el porcentaje de población en edad de asistir a centros educativos (considerando un rango de entre 4 y 17 años). Para el segundo, se determinaron los desplazamientos que realizan las personas entre cantones para ir a sus centros de trabajo. Para llevar a cabo este ejercicio se utilizan los datos del Censo (INEC, 2011) y se parte del supuesto de que las proporciones de movimiento entre cantones se han mantenido constantes con el paso del tiempo para actualizar las estimaciones al 2019 usando las proyecciones del CCP.

Para analizar el segundo factor, y dado que la mayor parte de la ruta 39 se localiza en el cantón central de San José, se procedió a caracterizar cuatro tipos de movimientos que se dan en esta zona como resultado del desplazamiento de las personas a sus centros de trabajo, a saber: i) desde otros cantones hacia el cantón central de San José, ii) desde el cantón central de San José hacia otros cantones, iii) entre cantones distintos al cantón central de San José (los cuales podrían utilizar o atravesar el anillo de “circunvalación”) y iv) el de las personas que viven y trabajan en el cantón central de San José, es decir, que se mueven dentro de este. Para efectos de la visualización se utilizan grafos o redes que muestran los movimientos y su magnitud. Los nodos se ubican en los centros de ciudad del primer distrito de cada cantón.

Por último, para los dos primeros movimientos (hacia y desde el cantón central de San José) se estimó la presión que genera el desplazamiento de las personas en el anillo de “circunvalación”. Para esto se dividió la ruta 39 en cuatro sectores de igual longitud y se calculó la presión según el número de personas que ingresan o salen por cada sector, específicamente se consideraron aquellos movimientos de mayor volumen entre cantones que acumularon el 90% del total de las personas. Es importante mencionar que, si bien utilizando el trabajo de campo de Lanamme-UCR se identificaron 41 puntos de entrada y salida, solo se consideran los 22 que conectan con las principales vías. En los casos en que un movimiento de personas entre cantones pueda afectar más de un sector de la Ruta 39, el total de personas se divide entre los sectores involucrados en partes iguales.

Avances en la exploración de la saturación vial del país y la ruta 39

La edición 2018 del Informe Estado de la Nación (PEN, 2018a) exploró por primera vez nuevas fuentes de información para estudiar el congestionamiento en la red vial del país y sus efectos sobre la movilidad. Posteriormente, un trabajo realizado por este mismo centro de investigación (PEN, 2018b) identificó las zonas del país con mayores problemas de congestión vehicular. Ambos esfuerzos brindaron información inédita y, ante la ausencia de información oficial, significaron el punto de partida para comprender la problemática del congestionamiento vial utilizando fuentes alternativas de datos.

Durante el 2019, el Programa Estado de la Nación (PEN) y el Laboratorio Nacional de Computación Avanzada (CNCA) del CeNAT-CONARE lograron avances en este ámbito. En conjunto, desarrollaron una nueva metodología para modelar con gran detalle la saturación de la red vial del país a partir de datos de atascos de la aplicación Waze (Cubero et al., 2019). Este trabajo se efectuó gracias a una alianza institucional con el Departamento de Informática del

MOPT, el ente encargado de realizar la descarga de los datos para Costa Rica. Utilizando más de 52 millones de registros de atascos capturados durante todo el año 2018, fue posible estimar la saturación de la red vial para segmentos de carretera de 100 metros de longitud.

Las estimaciones consideraron tres indicadores para medir el nivel de saturación en cada segmento: el tiempo promedio de retraso en segundos con respecto a la velocidad en vía libre, la cantidad de atascos reportados en el segmento como proporción del total de atascos registrados en la vía y la variabilidad del retraso medida por su desviación estándar (este último permite diferenciar entre segmentos saturados o no saturados de manera constante y segmentos saturados o no saturados esporádicamente). Además, la metodología permite realizar análisis por horas, días de la semana, meses y años.

Los avances mencionados posibilitan el análisis en profundidad de rutas específicas de la red vial del país para ubicar segmentos críticos de saturación vial e identificar patrones espaciales según momentos específicos del día o la semana.

Dado que los distritos con problemas más graves de atascos se localizan en la zona central de la Gran Área Metropolitana (PEN, 2018a) el trabajo de Cubero et al. (2019) estimó los indicadores de saturación propuestos para una de las rutas estratégicas para la movilidad en el centro del país (Barrantes, 2018): la Ruta 39 también conocida como carretera de circunvalación.

El estudio está centrado en dos momentos o escenarios de uso intensivo de la ruta según los resultados obtenidos en análisis previos (PEN, 2018): horas pico en la mañana entre 5:00am y 7:00am y horas pico en la tarde entre las 4:00pm y las 6:00pm. En ambos casos se consideran únicamente 5 días de la semana, entre lunes y viernes.

En la presente investigación, a partir de los tres indicadores de saturación propuestos y estimados por Cubero et al. (2019), se realizó un análisis de conglomerados que permitió clasificar cada uno de los 145 segmentos de la circunvalación según 4 niveles de saturación.

De manera consistente con lo planteado en Cubero et al. (2019), los hallazgos de este análisis de conglomerados evidencian una situación de elevados niveles de saturación que predomina en gran parte de las secciones de la ruta, pero con distintos patrones según el momento del día y a la dirección en la que se transita la vía. Durante la hora pico de la mañana en la dirección este a oeste, la situación más crítica se localiza en el oeste y sur de la vía 39. En contraste, en la dirección oeste a este, los segmentos del este concentran los mayores niveles de saturación. Durante la hora pico de la tarde la situación en términos generales empeora y los segmentos críticos de saturación se ubican en ambos extremos del anillo (este y oeste) de manera simultánea para ambas direcciones.

Además, fue posible identificar dos tipos principales de patrones de congestión que, como se verá más adelante, se reproducen en ambos momentos del día. El primero se caracteriza por presentar pocos segmentos de alto congestionamiento cercanos a rotondas, intersecciones y pasos a desnivel. Se trata de los atascos típicos de sectores por los que ingresan los usuarios a la ruta, que parecen tener un efecto importante, pero en pocos segmentos. El segundo tipo presenta valores altos e intermedios de saturación, pero en series consecutivas de

segmentos. En este caso los segmentos saturados se concatenan y conforman secciones más extensas de congestión que generan un efecto de retraso en cadena por varios cientos de metros.

Los mapas 1 muestra el congestionamiento por segmento en el primer escenario, es decir, durante la hora pico de la mañana para los dos sentidos posibles de circulación. El grosor de la línea representa el retraso promedio ocasionado por el congestionamiento en cada segmento. El color permite visualizar el nivel de saturación según los resultados del análisis de conglomerados: en tonalidades rojas los segmentos más saturados y en tonos azules los que presentan menores niveles de saturación.

Al observar los datos de la mañana, e iniciando desde el este hacia el oeste, los primeros puntos críticos de mayor saturación se concentran en pocos segmentos, principalmente en los alrededores del paso a desnivel de la Fuente de la Hispanidad, Rotonda de las Garantías Sociales y paso a desnivel de la Y Griega. A partir de Hatillo, el patrón de saturación cambia y se observa una larga serie de segmentos consecutivos de alto grado de congestionamiento, pasando por la intersección con la Ruta 27 y hasta llegar a la intersección con la Autopista General Cañas. Así, al recorrer de este a oeste durante la mañana la situación más crítica se localiza en el oeste y sur de la vía.

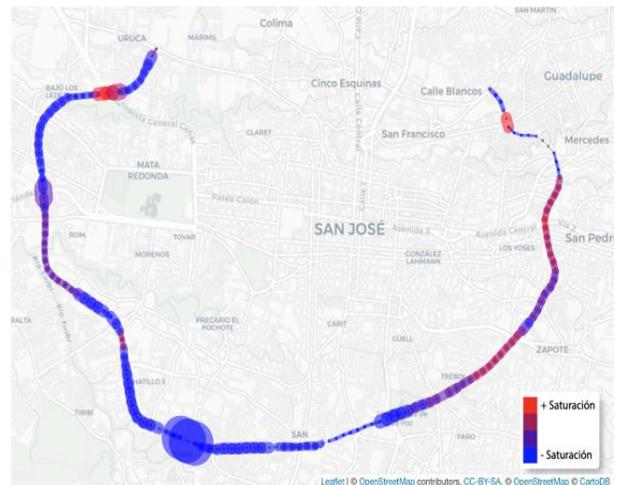
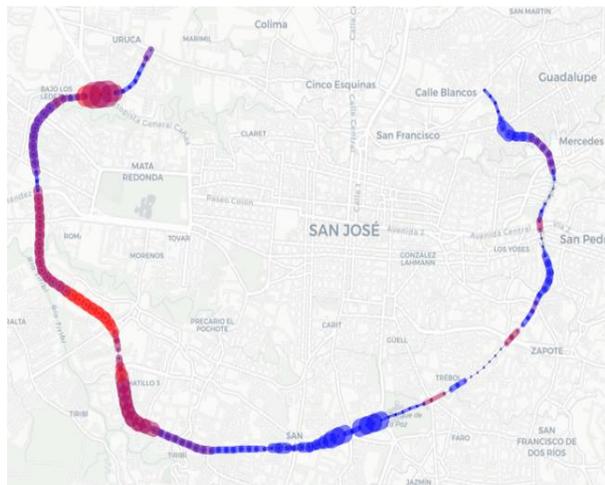
En contraste, en la dirección oeste-este, los valores más elevados de saturación están ubicados en la intersección con la Autopista General Cañas. Sin embargo, cerca Zapote y hasta Guadalupe nuevamente la congestión ocurre a lo largo de un importante número de segmentos sucesivos. Es decir, en la dirección oeste a este, los segmentos del este concentran los mayores niveles de saturación. El retraso promedio por segmento durante la hora pico en la mañana es de aproximadamente 5 minutos para ambas direcciones.

Mapas 1

Congestionamiento^{a/} en la ruta 39 durante las horas “pico” de la mañana^{b/}. 2018

Dirección este-oeste

Dirección oeste-este



a/El grosor de la línea representa el nivel de retraso promedio en el punto, y el color es el grado de saturación.

b/Las escalas entre los gráficos de la mañana y la tarde no son comparables, pues varía por la mayor cantidad de atascos de la tarde.

Fuente: Cubero et al., 2018 con datos de la aplicación Waze.

Los mapas 2 permite visualizar el segundo escenario, esto es, la hora pico de la tarde para ambos sentidos de circulación. Nuevamente, el grosor de la línea representa el retraso promedio ocasionado por el congestionamiento en cada segmento y el color muestra el grado de saturación.

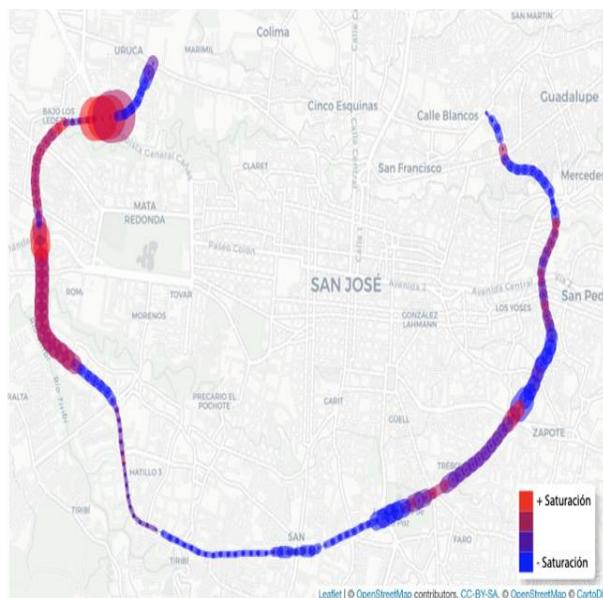
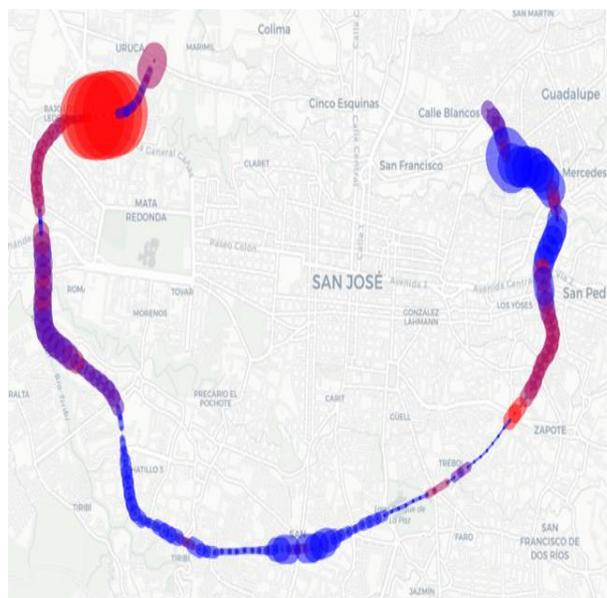
Al evaluar la situación durante las tardes el panorama es más grave. El retraso promedio en dirección este a oeste es de 9 minutos, es decir, 4 minutos más alto que los valores encontrados en la mañana. También se identifican series de segmentos consecutivos con valores altos de saturación, pero ahora en ambos extremos de la ruta. La intersección con la Autopista General Cañas destaca por presentar los valores más extremos de congestionamiento para este momento y dirección.

Mapas 2

Congestionamiento^{a/} en la ruta 39 durante las horas “pico” de la tarde^{b/}. 2018

Dirección este-oeste

Dirección oeste-este



a/El grosor de la línea representa el nivel de retraso promedio en el punto, y el color es el grado de saturación.

b/Las escalas entre los gráficos de la mañana y la tarde no son comparables, pues varía por la mayor cantidad de atascos de la tarde.

Fuente: Cubero et al., 2018 con datos de la aplicación Waze.

Durante las tardes y en la dirección oeste-este el retraso promedio por segmentos es menor, pero cercano a los 6 minutos. Al igual que en el sentido contrario se ubican secciones de alto congestionamiento en segmentos sucesivos en ambos extremos del anillo. Primero, desde la intersección con la Autopista General Cañas y hasta el inicio de Hatillo. San Pedro, Zapote y el paso a desnivel de la Y Griega aparecen también con segmentos de valores altos de saturación.

Contrastar ambos escenarios también permite identificar similitudes y diferencias. La intersección con la Autopista General Cañas es un sector de alta saturación en ambas direcciones y momentos del día, sin embargo, en las tardes se une con otros segmentos cercanos para formar secciones más largas de atascos. Otras secciones como las cercanías de Hatillo parecen tener su momento más crítico durante las mañanas y en la dirección este-oeste.

Factores que presionan el congestionamiento en la circunvalación

Los avances presentados en la sección anterior permitieron conocer el estado de esta importante ruta en términos de la saturación vial que experimentan sus usuarios en el día a día. Sin embargo, es posible profundizar en el análisis e integrar otras fuentes de información que contribuyan a explicar lo que hay detrás de esta realidad de alto congestionamiento.

Según se ha planteado en la edición anterior del Informe Estado de la Nación (PEN, 2018a), el congestionamiento vial se deriva de una combinación de elementos. Aspectos como rezagos en infraestructura o deficiencias en el sistema de transporte público tienen implicaciones negativas sobre los niveles de saturación de la red vial y los tiempos de traslado. Pero otro de los elementos relevantes para comprender el congestionamiento es la presión generada por las personas al utilizar las vías, según sus destinos y requerimientos de movilidad.

Esta ponencia realiza una aproximación de dicha presión en el caso de la Ruta 39. Para esto se estudiaron dos factores: 1) el contexto demográfico de los centros de población más cercanos a la ruta y 2) la presión generada por el desplazamiento de las personas para llegar a sus lugares de trabajo. El primero pretende medir la presión generada por las poblaciones más cercanas a la Circunvalación, pues sus habitantes representan potenciales usuarios de la ruta debido al desarrollo de sus actividades diarias y, por tanto, presionan sus niveles de saturación hacia el alza. El segundo factor busca estimar la presión generada por los movimientos de población, ya sea para atravesar o recorrer la carretera. En conjunto estos son dos eslabones fundamentales para contribuir a la explicación de la saturación vial observada en los segmentos del anillo de circunvalación.

En cuanto al primer factor, es decir, el contexto demográfico, los hallazgos indican que la presión generada por las localidades más cercanas a la ruta es más elevada en los sectores sur y oeste del anillo. Además, es posible identificar segmentos de la vía que son presionados de manera simultánea por varios de los indicadores analizados.

En lo que se refiere al segundo factor, las 246.704 personas que ingresan y salen del cantón central de San José imponen una alta presión al congestionamiento en la ruta 39, ya sea al cruzarla de forma transversal o al usar tramos de ella. A esto se suma que 374.599 personas llegan hacia o salen desde cantones vecinos a la ruta. El análisis más detallado de los flujos que

se generan como producto del desplazamiento de personas muestra que estos ocurren en diversas direcciones y magnitudes, por tanto, la afectación es distinta según el sector del anillo que se analiza. En un primer ejercicio realizado para este trabajo, se encuentra que la presión generada por este segundo factor, es más intensa en los sectores noroeste y este, donde confluyen importantes movimientos de trabajadores. Estos resultados coinciden con los del análisis de niveles de saturación presentado al inicio del presente apartado, pues los niveles más altos de congestión tienen lugar en estos dos sectores.

Para profundizar en estos hallazgos, esta sección se divide en tres apartados. En el primero se revisa el posicionamiento de la ruta y su relación con centros de población cercanos, para así delimitar la región de influencia. En segundo lugar, se analiza el primer factor, es decir, el contexto demográfico de los centros de población más cercanos a la ruta. Finalmente, la última sección analiza los flujos producidos por el desplazamiento de las personas para llegar a sus lugares de trabajo y realiza una primera aproximación para estimar la presión total generada por algunos de los movimientos más relevantes.

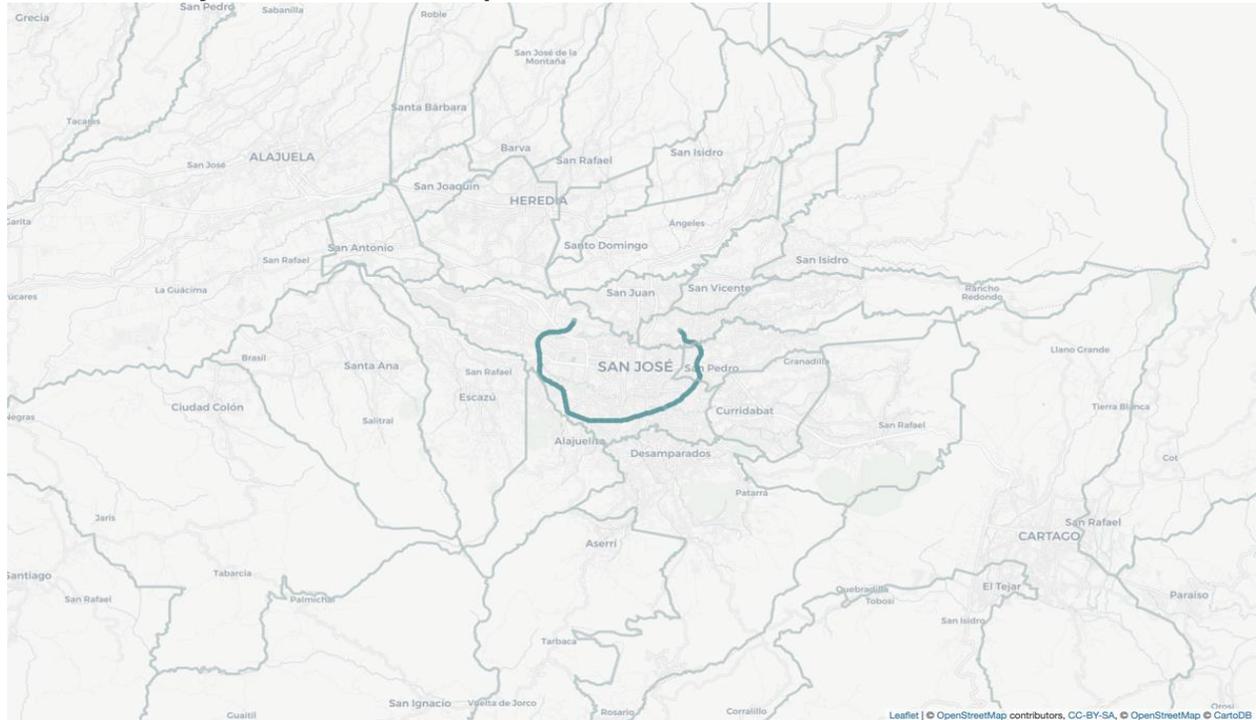
Ubicación espacial de la ruta

Como punto de partida para estudiar ambos factores es necesario entender la ubicación espacial de la ruta en el territorio nacional y su posicionamiento con respecto a centros de población. Esto permite delimitar una especie de región de influencia cercana a la ruta que será la referencia para el análisis de los factores que serán estudiados a continuación. Los mapas 3 y 4 muestran la ubicación de la Ruta 39 y la división territorial del país en términos de cantones y distritos respectivamente.

Según se muestra en el mapa 3 la mayor parte de la ruta está ubicada en el cantón de San José. Únicamente una sección pequeña en el noreste de la carretera se encuentra en los cantones de Goicoechea y Montes de Oca. Los cantones vecinos en primer grado, es decir, los que colindan con cantones por los cuales recorre la ruta, son 12: Belén, Heredia, Santo Domingo, Tibás, Moravia, Vázquez de Coronado, Cartago, Curridabat, La Unión, Desamparados, Alajuelita y Escazú.

Mapa 3

Circunvalación y división cantonal del país

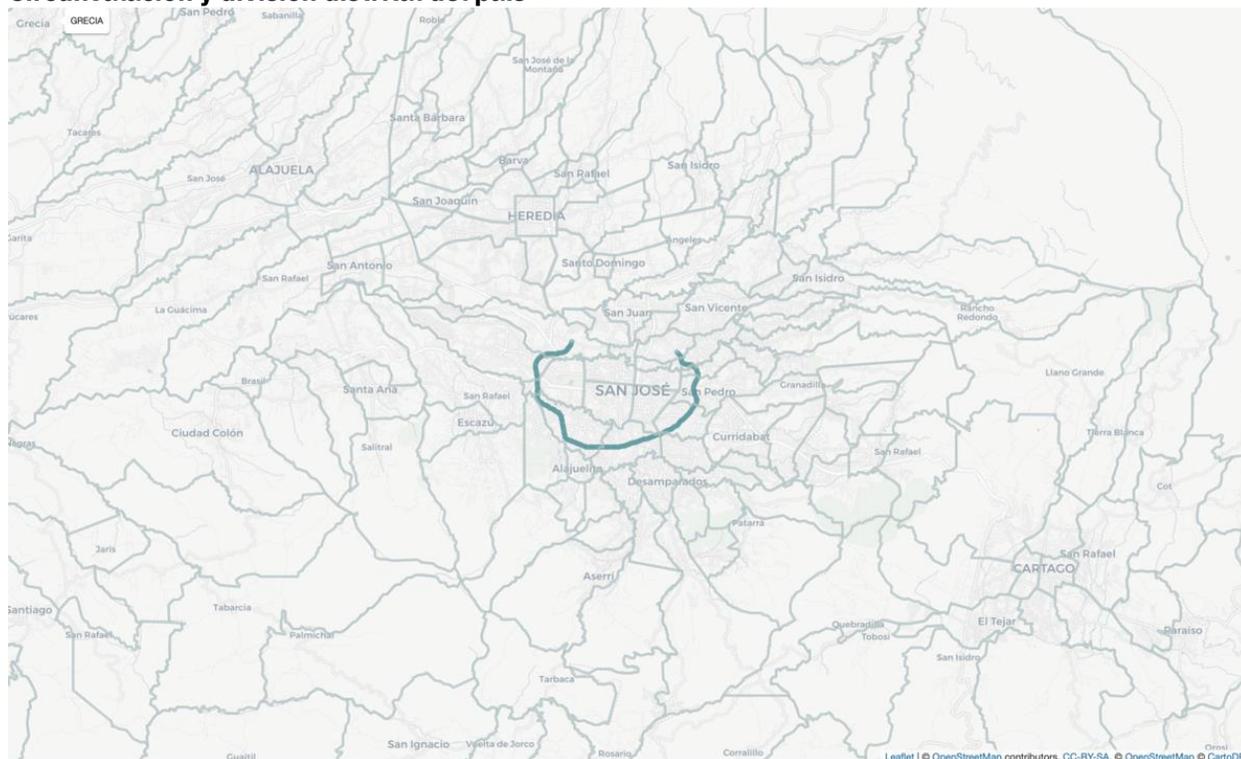


Fuente: Elaboración propia.

El mapa 4 presenta la división distrital. Se identifican 4 distritos dentro del anillo: Merced, El Carmen, Catedral y Hospital. Además, la ruta recorre 11 distritos: La Uruca, Pavas, Mata Redonda, Hatillo, San Sebastián, San Francisco de Dos Ríos, Zapote, San Pedro, Mercedes, Guadalupe y Calle Blancos. Los distritos vecinos en primer grado ascienden a un total de 25. En conjunto estos cantones y distritos constituyen la región de influencia para estudiar los factores poblacionales que presionan la saturación.

Mapa 4

Circunvalación y división distrital del país



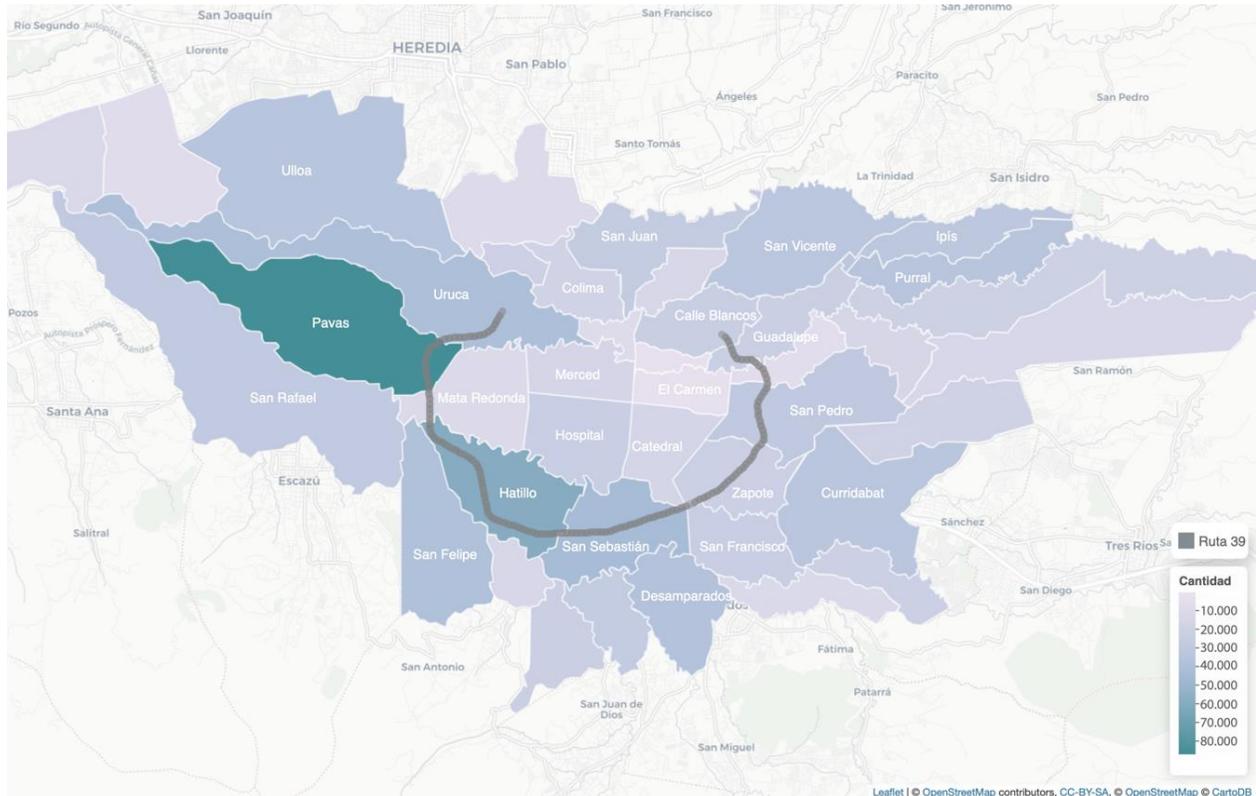
Fuente: Elaboración propia.

Contexto demográfico alrededor de la Ruta 39

Con información del Censo 2011 del INEC actualizada con las proyecciones distritales de población al 2019 del Centro Centroamericano de Población (CCP) de la Universidad de Costa Rica, se analizó el contexto demográfico que rodea la carretera. En general se observa que la presión generada por los centros de población de la región de influencia de la Ruta 39 es más fuerte en los sectores sur y oeste.

Los datos evidencian la cercanía de la Ruta 39 con algunos de los centros de población más numerosos a nivel nacional. El mapa 5 muestra la cantidad de habitantes en los distritos ubicados dentro del anillo, los distritos sobre los cuales se ubica la ruta y los distritos vecinos en primer grado. Cuatro de los distritos más poblados del país, a saber, Pavas, Hatillo, San Sebastián y Uruca, contienen casi la totalidad de la secciones sur y oeste de la ruta. Otros distritos con gran número de habitantes como San Felipe, Desamparados, Purral, Ulloa y Curridabat no son recorridos por Carretera de Circunvalación, pero colindan con distritos que funcionan como punto de acceso al anillo.

Mapa 5
Circunvalación y cantidad de habitantes según distrito. 2019

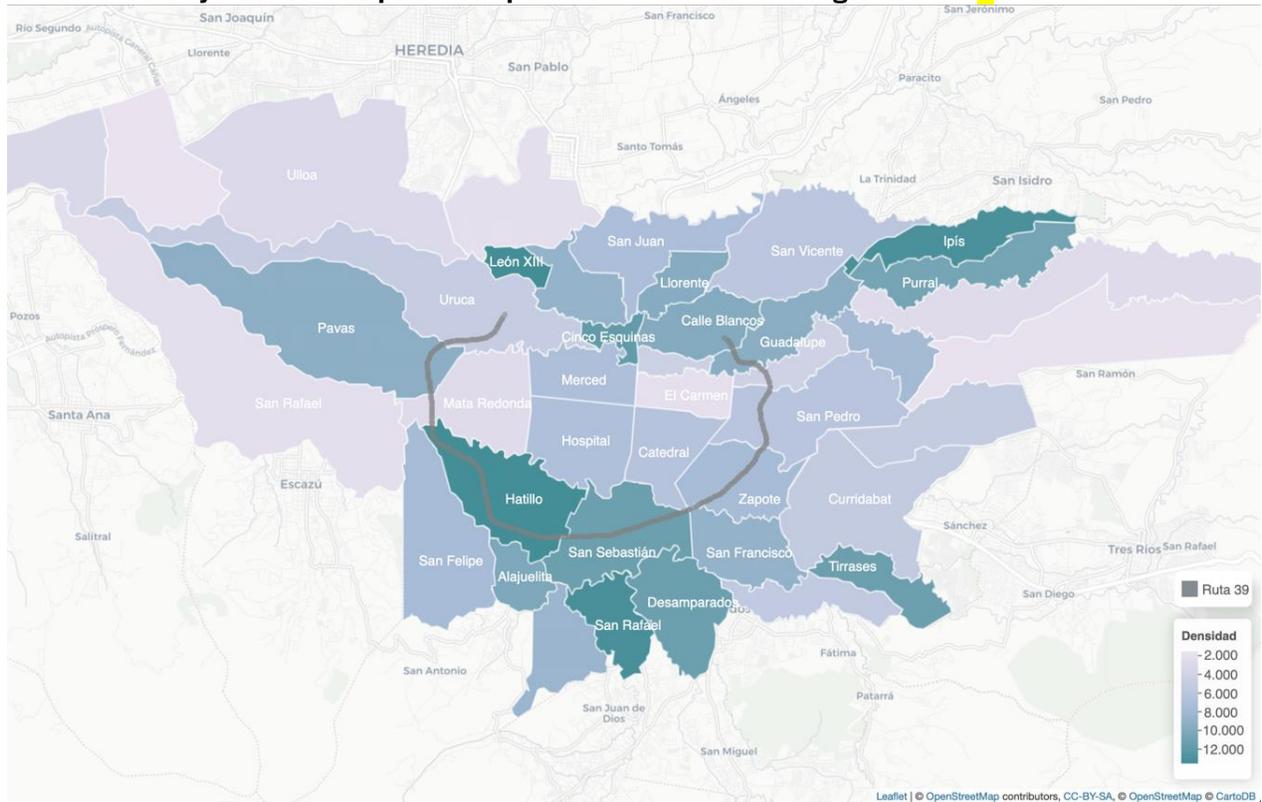


Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

Este patrón se acentúa al estudiar otros indicadores de contexto demográfico. El mapa 6 muestra la densidad poblacional por kilómetro cuadrado para el mismo grupo de distritos. Varios de los distritos más densos a nivel nacional contienen parte de la circunvalación o colindan con distritos que la contienen. Nuevamente se puede observar un grupo importante de distritos con valores altos en este indicador cercanos al sector sur y oeste de la ruta. Se observa también otra concentración de valores altos hacia el norte, en el sector no concluido de la carretera. Esto indica que la carretera está situada en distritos que mueven cantidades muy grandes de población en un espacio territorial limitado, lo cual en horas “pico” representa una presión particular para el anillo de circunvalación, sus calles de acceso e incluso otras vías cercanas.

Mapa 6

Circunvalación y densidad de población por kilómetro cuadrado según distrito^{a/}. 2019

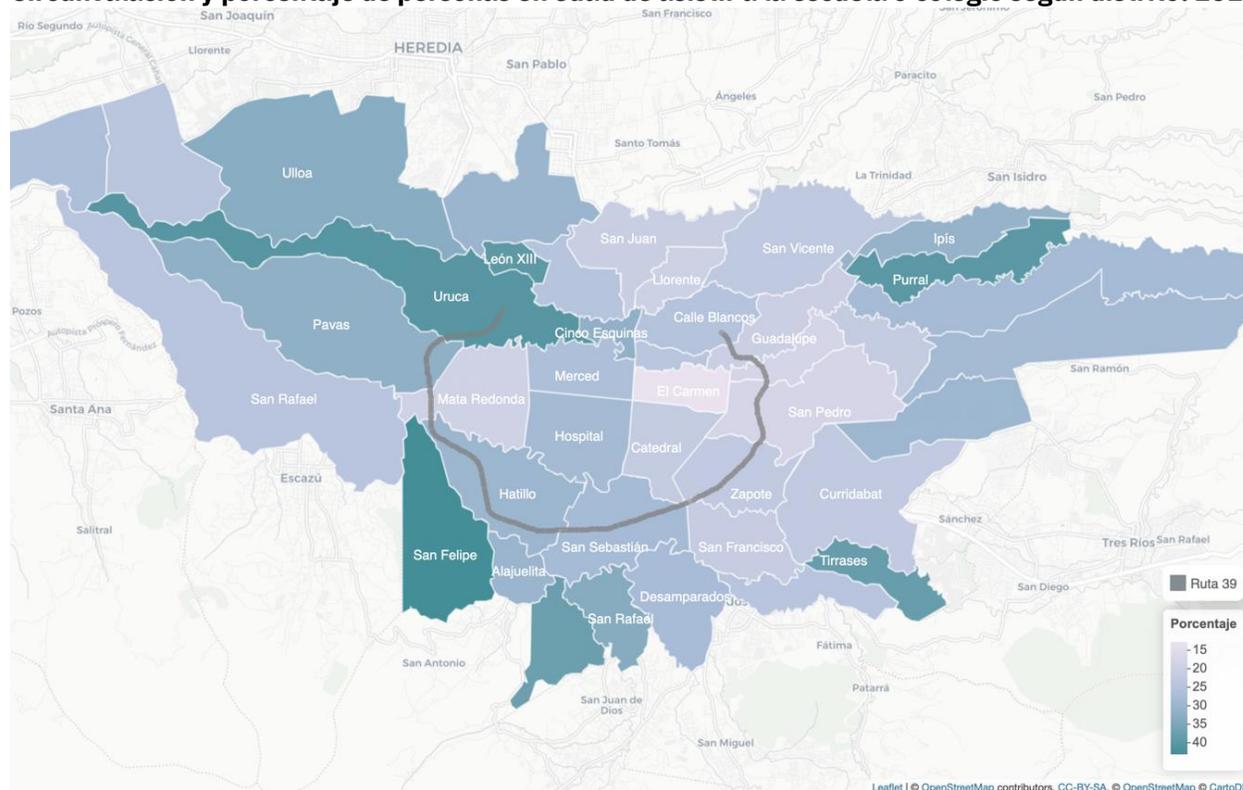


a/El distrito de León XIII presenta un valor extremo muy elevado, por este motivo para efectos de esta visualización se le asigna el mismo valor de Hatillo, segundo distrito con mayor densidad poblacional. Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

Otro aspecto de interés es la presión generada por la población más joven para desplazarse a sus centros de estudio. Dada la inexistencia de datos, para analizar este elemento se utiliza un indicador demográfico basado en la edad de los habitantes de cada distrito que pretende aproximar dicha presión. El mapa 7 muestra el porcentaje de personas en edad de asistir a la escuela o colegio según distrito. En el noroeste de la carretera se encuentran los valores más elevados de este indicador, particularmente en distritos como Pavas o Uruca. En este último cerca del 40% de la población tiene edad para asistir a centros educativos. Sin embargo, en el sur de la ruta también se identifican distritos como Hatillo o San Sebastián con valores cercanos al 30%.

Mapa 7

Circunvalación y porcentaje de personas en edad de asistir a la escuela o colegio según distrito. 2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

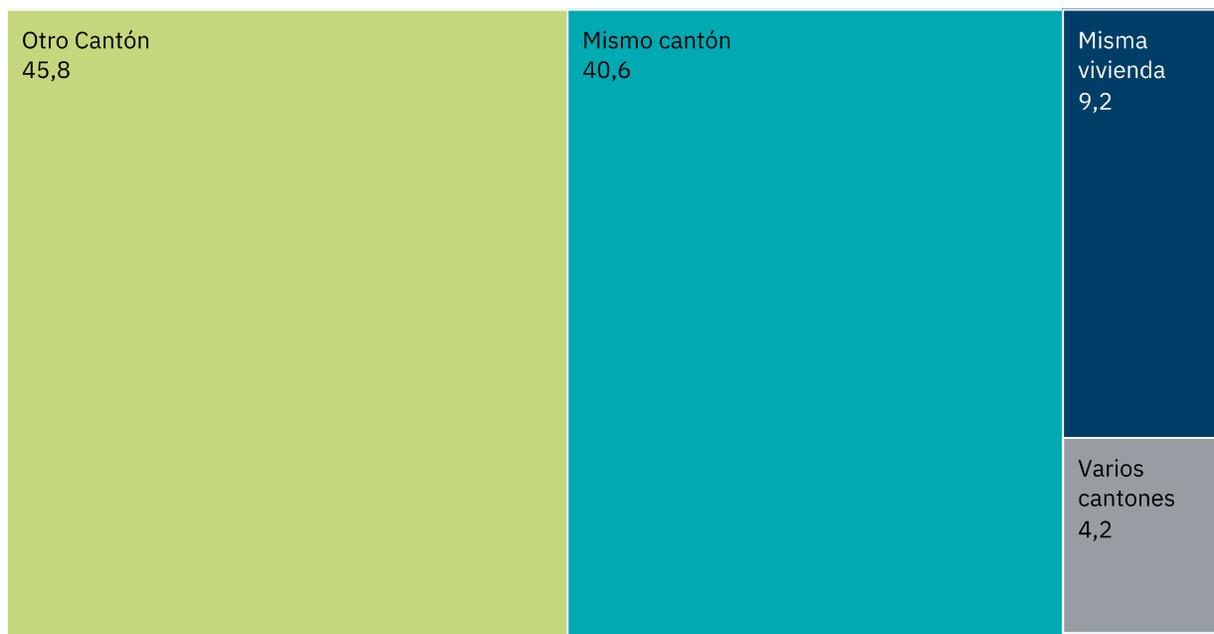
Presión generada por el desplazamiento de personas para movilizarse a sus lugares de trabajo

El segundo factor analizado es el desplazamiento de personas entre cantones para movilizarse a sus centros de trabajo. En el fondo, estos flujos buscan entender la presión generada por el movimiento de los usuarios en la ruta. Se utilizan los datos de desplazamiento de personas entre cantones para movilizarse a centros de trabajo del Censo 2011 del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Además, estas cantidades se proyectan al 2019 utilizando las proyecciones distritales de población del Centro Centroamericano de Población (CCP) bajo el supuesto de que las proporciones de movimiento entre cantones se han mantenido constantes con el paso del tiempo.

En Costa Rica, en general, un 33,1% de las personas ocupadas debe desplazarse a otros cantones para llegar a su lugar de trabajo (gráfico 1). En el caso de la GAM la proporción asciende al 45,8%. Para analizar los posibles flujos vinculados con la ruta 39, se consideraron tanto estas personas como las que permanecen en el municipio donde residen, pues implican algún tipo de desplazamiento que suma cierta presión sobre la red vial, aunque sea en tramos más cortos.

Gráfico 1

Porcentaje de personas según ubicación del lugar de trabajo en la GAM. 2019



a/ El color celeste de la esquina inferior derecha corresponde a la categoría “Otro país” y su valor es de 0,3%.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

A partir de las estimaciones de la población que se desplaza para trabajar, y considerando que la mayor parte de la circunvalación se ubica dentro del cantón de San José, la presión sobre la ruta se aproxima a través de cuatro tipos de movimiento, a saber: i) desde otros cantones hacia el cantón de San José, ii) desde San José hacia otros cantones, iii) entre cantones distintos de San José que podrían utilizar o atravesar el anillo de circunvalación y iv) el de las personas que viven y trabajan en San José, es decir, que se mueven dentro del cantón.

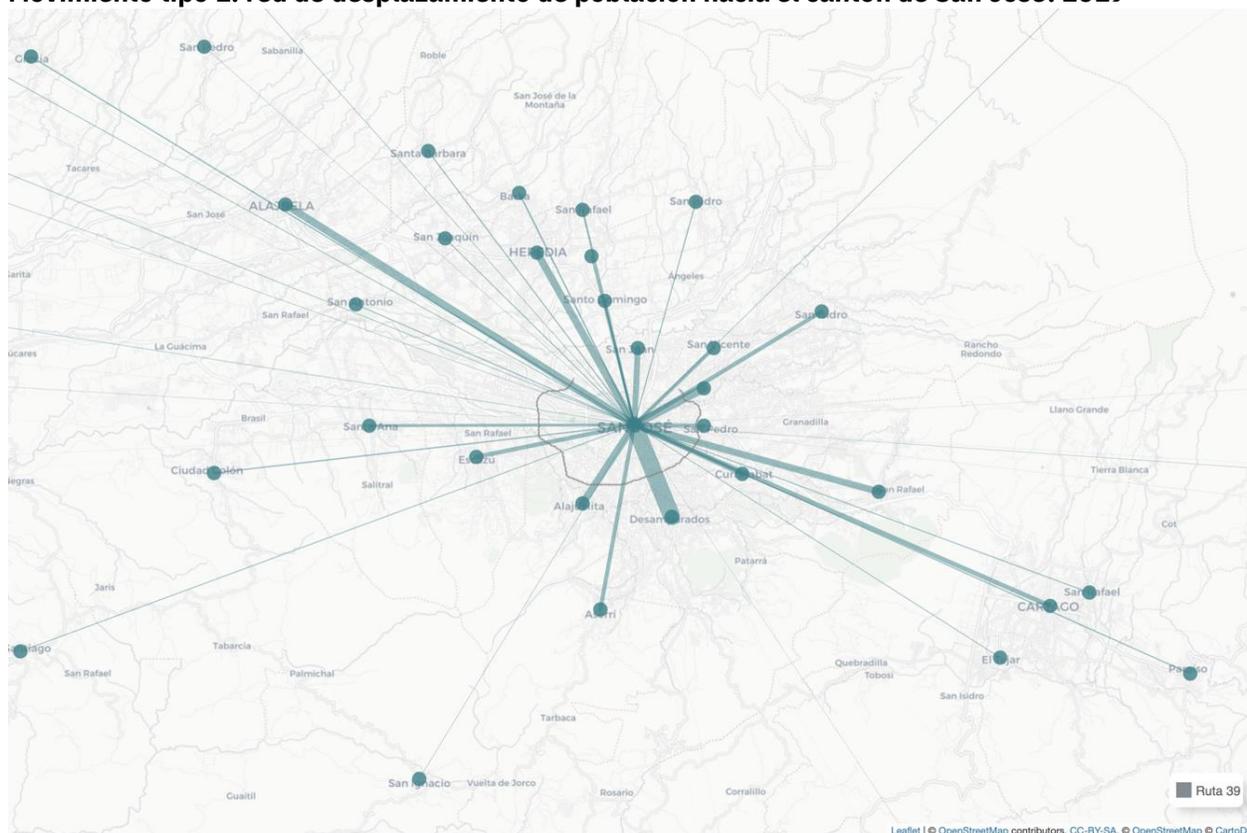
El mapa 8 muestra la red de desplazamiento de población hacia el cantón de San José, es decir, los resultados del primer tipo de movimiento. Cada nodo representa un cantón, la línea representa la existencia de un flujo de personas del respectivo cantón hacia San José y el grosor de la línea representa la cantidad de personas que se desplazan.

Según las estimaciones realizadas un total de 201.197 se mueven desde otros cantones hacia San José. El movimiento más fuerte ocurre desde el cantón de Desamparados con más de 28000 personas. Este flujo representa más del 14,2% del desplazamiento estimado. Le siguen, con una gran diferencia, los cantones de Goicoechea, Heredia, Alajuela, Alajuelita, La Unión, Tibás, Cartago, Curridabat y Aserrí. Estos 10 cantones explican el 61,4% del flujo y representan un ingreso hacia San José desde muy diversas direcciones pero también en distinta medida. En gran parte, se trata de población que cruza o recorre la ruta por varios medios de transporte, aunque sea de manera transversal en algún punto.

El segundo movimiento, es decir, desde San José (considerando solo la población que vive en el cantón, no la que transita por ahí) hacia otros cantones, tiene un volumen menor (45.507 personas). Representa poco menos de una cuarta parte con respecto al número de personas registradas en el primer tipo de movimiento. Según se presenta en el mapa 9, los flujos más relevantes se dirigen a Escazú, Heredia, Montes de Oca, Alajuela, Santa Ana, Belén, Goicoechea, Desamparados, Curridabat y Tibás. En conjunto este grupo de destinos concentra el 83,1% del movimiento registrado. Aunque los movimientos ocurren en distintas direcciones, el flujo más fuerte se dirige hacia el oeste.

Mapa 8

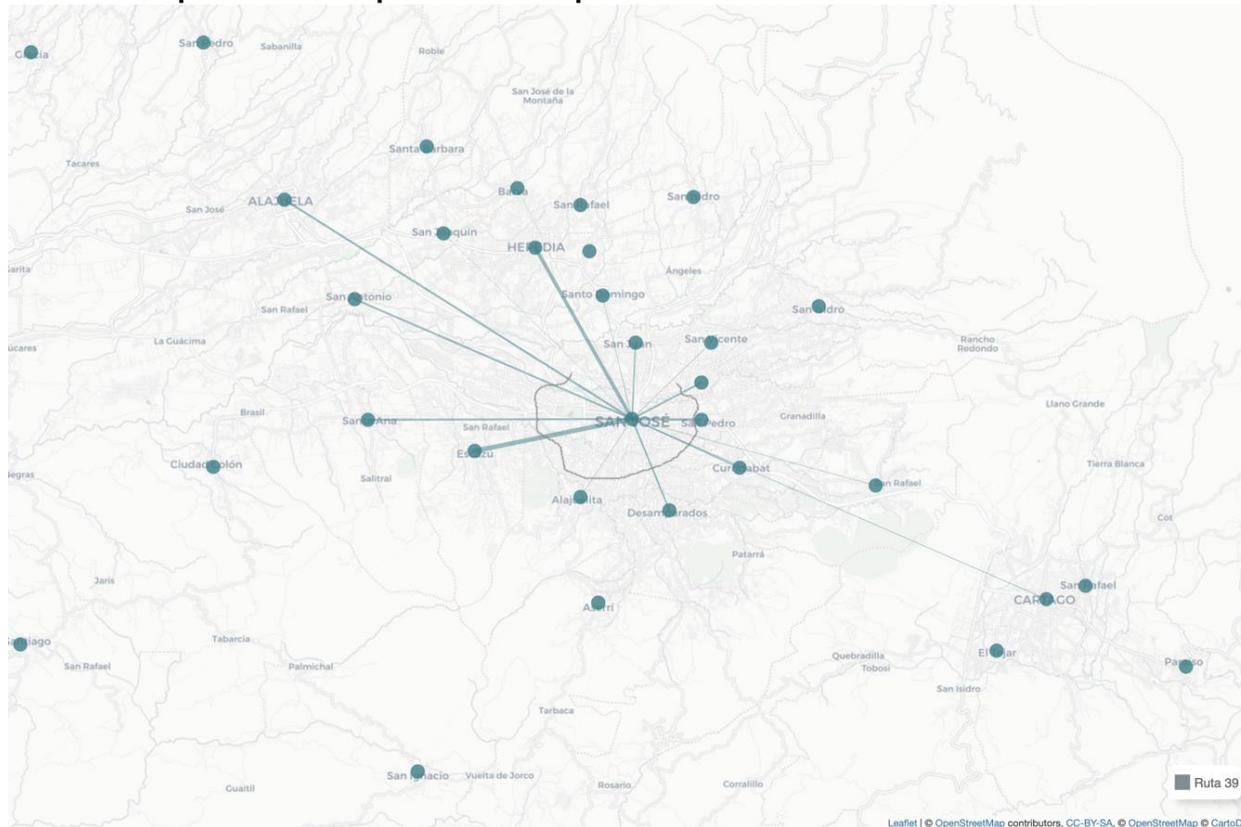
Movimiento tipo 1: red de desplazamiento de población hacia el cantón de San José. 2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

Mapa 9

Movimiento tipo 2: red de desplazamiento de población desde el cantón de San José. 2019

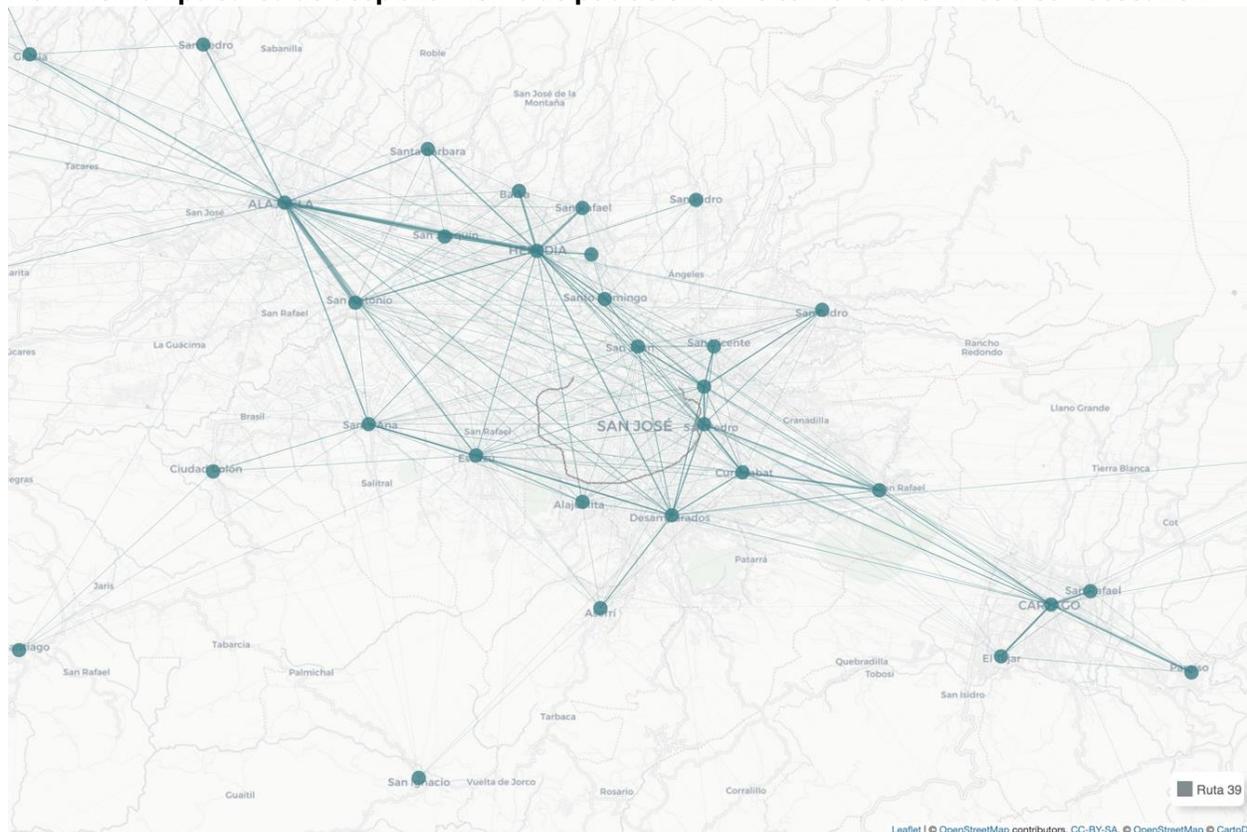


Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

A nivel nacional, los traslados entre cantones distintos a San José son efectuados por cerca de 384.000 personas. Además, son muy diversos: se registran 4.310 combinaciones de estos desplazamientos. Los mayores flujos ocurren entre Alajuela y Belén, Alajuela y Heredia, San Rafael y Heredia, Barva y Heredia, entre otros (mapa 10). Sin embargo, ninguno de estos supera el 2% del total de movimientos. Aunque en este ámbito resulta más complicado estimar los traslados que realmente utilizan la carretera de circunvalación, se hizo una primera aproximación a partir de los desplazamientos relacionados con los cantones vecinos a la ruta, realizados por 374.599 personas. Un 42,1% de los movimientos se da desde esos cantones hacia otros distintos a San José. Desamparados y Goicoechea son los principales puntos de origen. Por su parte, el 55,1% se dirige hacia estas localidades vecinas a la ruta 39. En este caso Heredia, Montes de Oca, Belén y Escazú encabezan la lista.

Mapa 10

Movimiento tipo 3: red de desplazamiento de población entre cantones distintos a San José. 2019

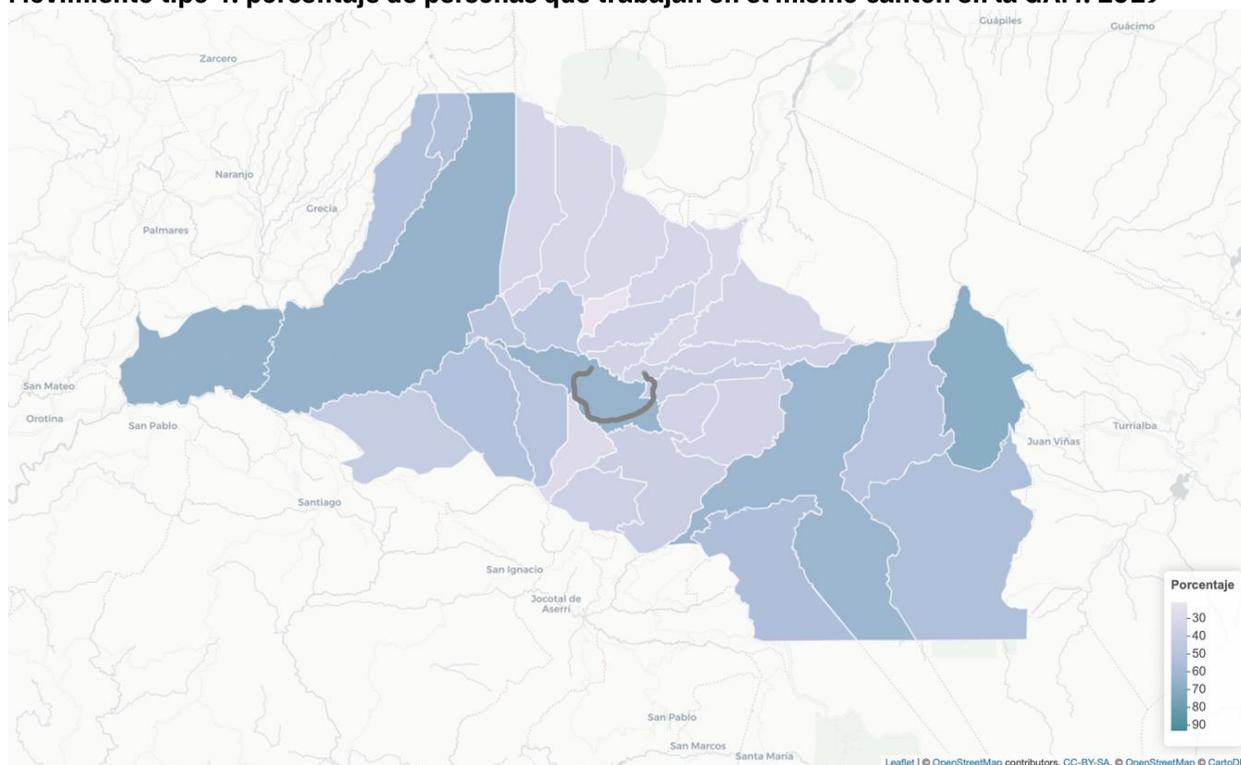


Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

El cuarto tipo de movimiento corresponde a personas cuyo lugar de trabajo está en el mismo cantón en el que viven. Esto implica un desplazamiento a lo interno del cantón que también presiona la saturación vial. El mapa 11 muestra este último caso y evidencia la situación de San José como uno de los cantones de la GAM con el porcentaje más elevado de personas que trabajan en el mismo cantón. Cerca de 80.000 personas, es decir, un 63,5% de la población trabaja dentro del mismo cantón. El 74,1% de las personas que viven y trabajan en el cantón de San José provienen de 5 distritos ubicados en el sur y oeste de la Ruta 39: Pavas, Hatillo, San Sebastián, Uruca y San Francisco de Dos Ríos.

Mapa 11

Movimiento tipo 4: porcentaje de personas que trabajan en el mismo cantón en la GAM. 2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

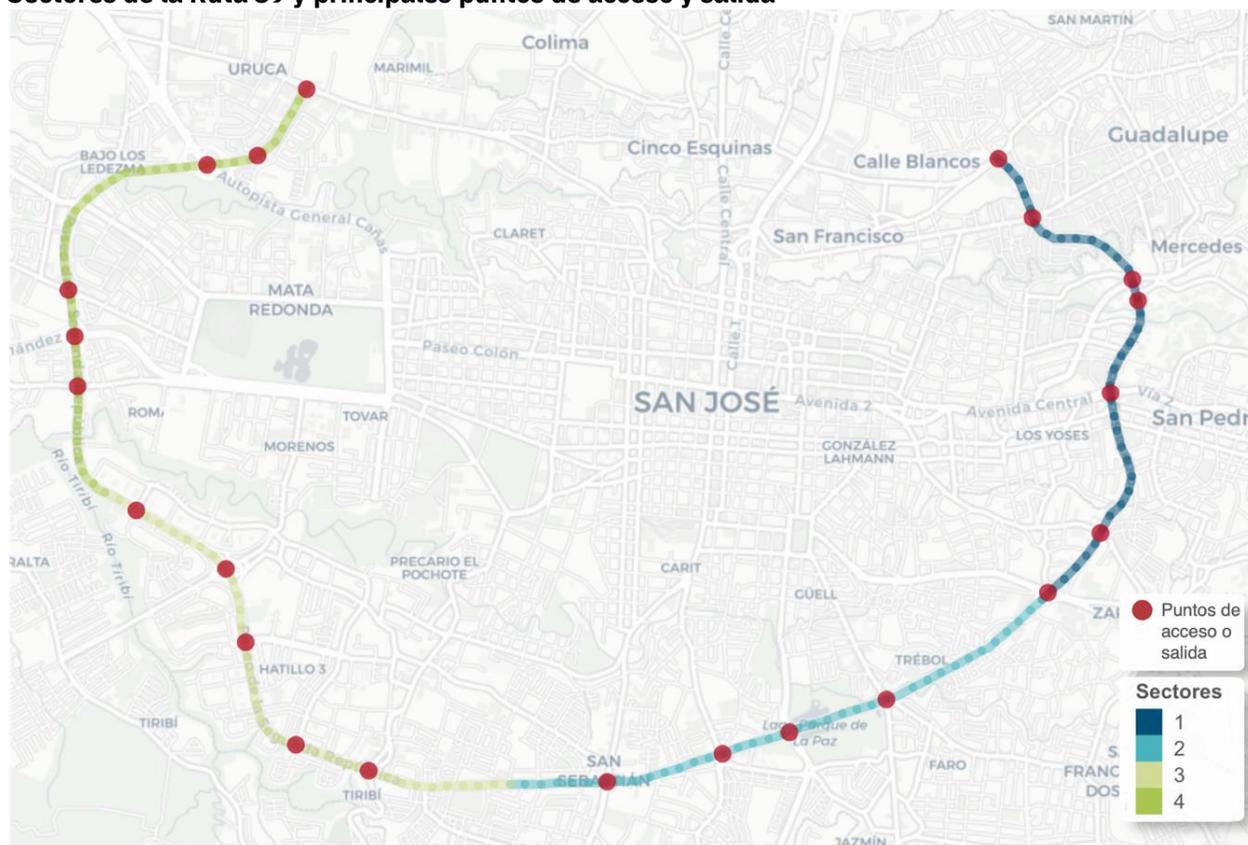
Una vez analizados los flujos de población entre cantones que ocurren como resultado del desplazamiento a centros de trabajo, se realiza un primer ejercicio de estimación de la presión que generan algunos de estos movimientos sobre la Ruta 39. Para esto se divide la Carretera de Circunvalación en 4 sectores de igual longitud y se mide la presión recibida en términos del número de personas que ingresan por cada sector.

En esta aproximación inicial se consideran únicamente los dos primeros tipos de movimiento, es decir, los movimientos desde y hacia el cantón de San José. En ambos casos las estimaciones utilizan los movimientos más importantes, en concreto los que acumulan el 90% del total del flujo de personas.

Para asignar los flujos según sector y cuantificar la presión total, se identificaron y georreferenciaron los principales puntos de acceso y salida de la ruta. Para esto se utilizó como referencia el trabajo de campo realizado por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del Lanamme-UCR. El mapa 12 muestra el resultado de esta división y los principales puntos de acceso y salida identificados.

Mapa 12

Sectores de la Ruta 39 y principales puntos de acceso y salida



Fuente: Elaboración propia con datos del Lanamme-UCR.

En total se identificaron 41 puntos de entrada y salida a lo largo de los casi 15 kilómetros de la Carretera de Circunvalación. Sin embargo, para efectos del análisis realizado se consideran únicamente los 22 puntos de acceso o salida conectados con vías principales.

Los resultados muestran que la presión generada por este segundo factor, es decir, el movimiento poblacional, es más intensa en los sectores noroeste, este y sureste de la ruta. El mapa 13 muestra las estimaciones del valor total de presión por movimiento de personas para cada sector.

El sector de mayor presión corresponde al noroeste de la carretera con un valor que supera las 64000 personas. A través de 6 puntos de acceso confluyen importantes movimientos desde y hacia cantones como Alajuela, Escazú, Heredia, Santa Ana y Belén, entre otros. Estos resultados coinciden con los del análisis de niveles de saturación presentado al inicio del presente apartado, pues los niveles más altos de congestión ocurren justo en esta zona.

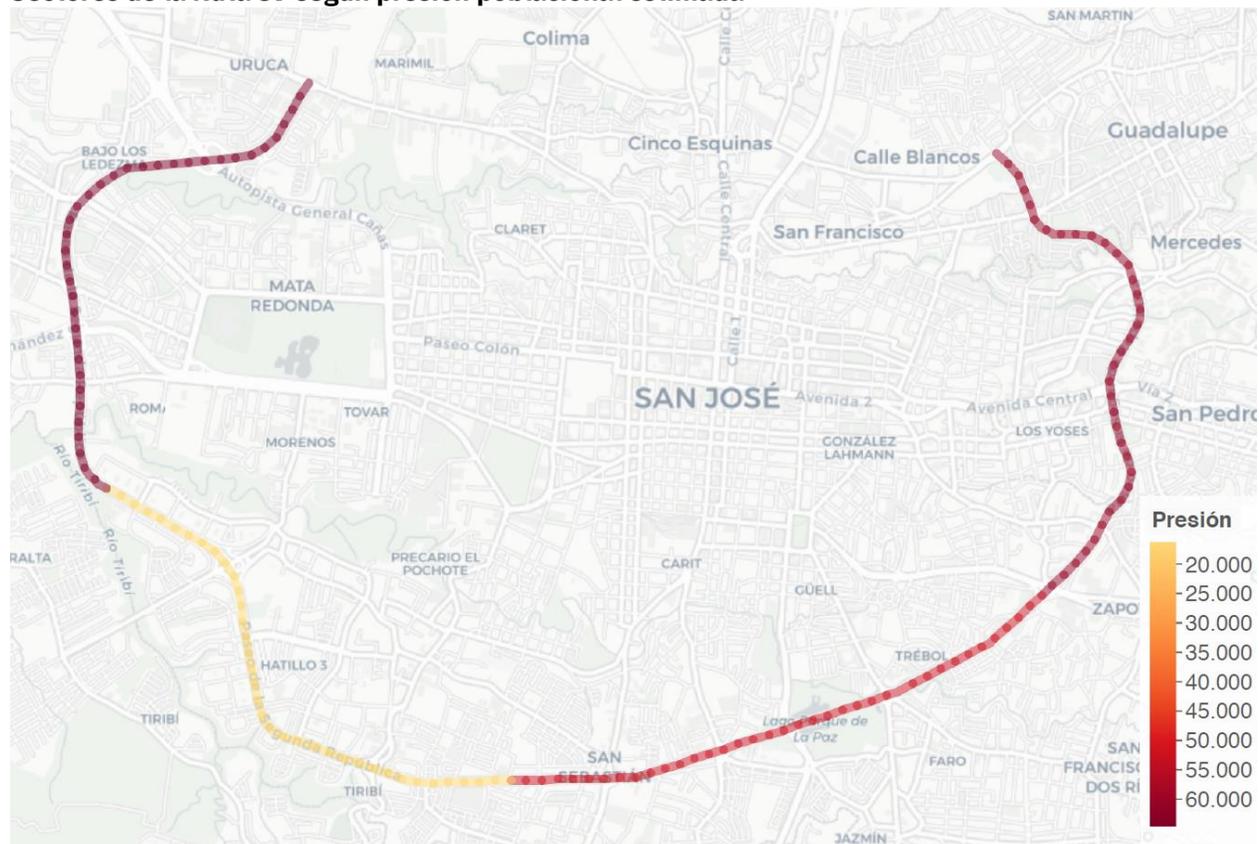
Con niveles muy elevados de presión le sigue el sector este de la carretera con un valor estimado de aproximadamente 60000 personas. Los principales cantones relacionados con estos flujos incluyen a Goicoechea, Coronado, Montes de Oca, Moravia, La Unión, Curridabat, Cartago, entre

otros. Nuevamente las estimaciones corresponden con los valores altos de saturación de la Ruta 39 en este sector.

En tercer lugar, el sector sureste del anillo presenta una presión estimada de poco más de 52000 personas que se relaciona en gran medida con los flujos de los cantones de Desamparados, Curridabat, Cartago y La Unión. Finalmente, llama la atención que el sector de Hatillo aparece con los valores más bajos de este tipo de presión. Este resultado se explica por los flujos más bajos de personas que ingresan a través de este sector, que se relaciona principalmente con dos cantones: Alajuelita y Aserrí.

Mapa 13

Sectores de la Ruta 39 según presión poblacional estimada



Fuente: Elaboración propia con datos del INEC y el CCP.

Conclusiones

Este análisis exploratorio permitió estudiar, por primera vez, los patrones de congestión vial en la Ruta 39 con respecto a la interacción de tres variables: el grado de saturación vial derivado del elevado flujo de vehículos que transitan la vía, el sentido en que se recorre la ruta y la presión que genera el movimiento de población que se traslada en la carretera y sus zonas de influencia. Este ejercicio permite entender cómo los movimientos de personas saturan la vía y dónde están los cuellos de botella.

Se identifican sectores de varios kilómetros de la circunvalación, como por ejemplo el noroeste, presionados por valores elevados de las variables relacionadas con el factor demográfico de las poblaciones donde están ubicados, pero que, al mismo tiempo, reciben movimientos poblacionales considerables en todos sus puntos de acceso.

Pero también se puede llegar al detalle y analizar segmentos específicos dentro de los sectores más problemáticos. Por ejemplo, uno de los puntos críticos de saturación, es la intersección con la Autopista General Cañas. Al analizar los factores que presionan el congestionamiento se puede ver que se localiza en una de las zonas más pobladas del país, con alta densidad poblacional y una elevada cantidad de personas en edad de asistir a escuela y colegio, pero además se encuentra en un sector de la ruta que recibe la presión de importantes movimientos de trabajadores que provienen de cantones como Alajuela, Heredia, Santa Ana y Belén.

En el fondo, estos resultados reflejan la presión generada como resultado del uso del automóvil como principal opción para la movilidad. Ante esta situación, y en un contexto que parece apuntar hacia la intensificación de gran parte de estas fuentes de presión, queda en evidencia que mientras no existan formas alternativas de movilidad que permitan prescindir del automóvil, será difícil cambiar la situación actual y más bien está se seguirá agravando.

Esto también permite entender que los requerimientos de intervención pública no solamente están en la capacidad de la infraestructura de la ruta para absorber la presión, sino en lograr cambios en la forma de movilidad de una gran cantidad de personas que se trasladan por la vía a diario, en gran medida mediante vehículos particulares. Esto lleva a comprender la urgencia de cambiar la lógica del transporte, en especial la apuesta por el vehículo privado.

Los resultados evidencian el potencial de este enfoque como herramienta para la identificación de intervenciones públicas en cualquier zona del país que se examine. También permite apuntar hacia metodologías de trabajo para la estimación de costos económicos, sociales y ambientales derivados del congestionamiento.

Bibliografía

- Barrantes, R. 2018. Diagnóstico sobre el estado de la Infraestructura vial en Costa Rica: movilidad de bienes y servicios. Ponencia preparada para el Informe Estado de la Nación 2018. San José: PEN
- CCP. 2019. Proyecciones Distritales de Población de Costa Rica 2000-2050. En: <https://censos.ccp.ucr.ac.cr/#&panel1-2>.
- Cubero, M. et al. 2019. Modelling Road Saturation Dynamics on a Complex Transportation Network Based on GPS Navigation Software Data. Trabajo presentado en Latin America High Performance Computing Conference, Turrialba, Costa Rica.
- INEC. 2011. X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011. En: <http://www.inec.go.cr/censos/censos-2011>.
- LANAMME. 2018. LanammeUCR - Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional. En: <https://youtu.be/Ws1j7G3lNd0>.
- PEN. 2018a. Informe Estado de la Nación 2018. San José: Programa Estado de la Nación.
- PEN. 2018b. Las diez peores trampas viales en Costa Rica y cómo no resolverlas. En: <https://estadonacion.or.cr/las-diez-peores-trampas-viales-en-costa-rica-y-como-no-resolverlas/>.