



Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2024

Investigación

Luego de la calma regresa la congestión: patrones de los flujos viales en Costa Rica 2019-2024

Investigador:
Steffan Gómez Campos
Erick Rojas Zúñiga
Camila Aguilar Gómez

San José | 2024



388.41
G633-I

Gómez Campos, Steffan

Luego de la calma regresa la congestión: patrones de los flujos viales en Costa Rica 2019-2024 / Steffan Gómez Campos, Erick Rojas Zúñiga, Camila Aguilar Gómez. -- Datos electrónicos. -- San José, C.R. : CONARE - PEN, 2024.
1 recurso en línea (26 páginas); archivos de texto PDF, 2.444 KB

ISBN 978-9930-636-53-4
Investigación para el Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2024

1. TRANSPORTE. 2. PLANIFICACIÓN. 3.FLUJO DE TRÁFICO. 4. CONGESTIÓN VIAL. 5. COSTA RICA. I. Rojas Zúñiga, Erick. II. Aguilar Gómez, Camila. III. Título.



Contenido

Descargo de responsabilidad	4
Introducción.....	4
Metodología.....	4
Aumenta la intensidad de la congestión con cambios en los patrones temporales.....	6
Patrones espaciales de la congestión se modificaron de forma sustantiva	11
Intervenciones viales generan presiones en zonas específicas del territorio	18
Conclusiones.....	25
Bibliografía	25

Descargo de responsabilidad

Esta investigación se realizó para el *Informe Estado de la Nación 2024*. El contenido es responsabilidad exclusiva de su autor, y las cifras pueden no coincidir con las consignadas en el capítulo respectivo, debido a revisiones posteriores. En caso de encontrarse diferencia entre ambas fuentes, prevalecen las publicadas en el Informe.

Introducción

Los análisis presentados en este documento toman como base los registros de congestión vial de la aplicación Waze. Los mismos son accedidos por el Programa Estado de la Nación (PEN) a través de una colaboración con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Mopt).

Los datos de Waze que se utilizan en este documento inician en enero de 2019 y cubren hasta agosto de 2024. Este período permite un análisis de los patrones de congestión vial previo, durante y posterior a la pandemia por el covid-19. Para el caso de Costa Rica, el período de pandemia inició en marzo de 2020 y se extendió hasta agosto de 2022, cuando el gobierno de la administración Chaves Robles eliminó el Decreto Ejecutivo No. 42.227 en el que se declaró estado de Emergencia Nacional por la situación de emergencia sanitaria provocada por el virus del covid-19.

Los resultados obtenidos este año se suman a los estudios realizados por el PEN en esta materia desde el año 2018. En concreto, este documento se da a la tarea de responder las siguientes interrogantes de investigación:

- ¿Se modificaron los principales patrones de la congestión vial con respecto al período previo y durante la pandemia?
- ¿Existen cambios en los principales patrones territoriales de la congestión vial a nivel cantonal y distrital?
- ¿Cuáles son las características de las principales intervenciones viales que generan presiones sobre el flujo vehicular?

Estas preguntas guían la estructura del documento. La primera sección lo constituye esta breve introducción. De seguido el apartado de metodología explica la estructura de los datos y los procesamientos más importantes para convertir los datos de Waze en crudo, en una capa de información relevante para los análisis. La tercera sección hace un repaso de los principales patrones de la congestión vial con análisis descriptivos. La cuarta sección emplea modelos de estadística espacial -indicadores LISA- para evaluar los patrones territoriales a nivel cantonal y distrital. La quinta sección hace una revisión de medios de comunicación para evaluar las principales intervenciones de infraestructura que influyen en los patrones de congestión. Y finalmente, la sección de conclusiones.

Metodología

Los análisis acá realizados forman parte de un proyecto de investigación del Programa Estado de la Nación sobre flujos vehiculares en Costa Rica que inició en el 2017. Una de las

publicaciones más importantes en esta línea fue el Capítulo 7 del Informe Estado de la Nación del año 2020 en el que se presentaron los hallazgos sobre la relación entre la movilidad de las personas, analizada con la base de datos de Waze, y los contagios por covid-19 (PEN, 2020). Este estudio fue basado en diversas investigaciones y literatura publicada en medio de la pandemia para entender los factores asociados al contagio del virus (Alvarez, F. *et. al.* 2020; Badr, H. S., *et. al.* 2020; Nouvellet P. *et.al.* 2021; y Gómez-Campos, S. *et. al.* 2023; entre otros).

El Programa Estado de la Nación (PEN) tiene acceso a la base de datos de Waze mediante un acuerdo de investigación conjunto con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). La información es una base de datos que permite la desagregación en distintos niveles: en el nivel territorial hasta segmentos de carretera de cien metros, aproximadamente, y temporalmente cada cinco minutos, que se convierte a ventanas cada diez minutos para el análisis de este documento.

La base que se usó para el análisis de esta investigación cubre el período de enero de 2019 a agosto de 2024. La información de jams (congestión) por segmento de carretera cada diez minutos contiene 915.055.383 de registros. Entre las variables disponibles, se emplearon las siguientes:

- IdT: identificador del segmento de carretera.
- Nom_cant: nombre del cantón donde se encuentra el segmento de carretera.
- Cod_canton: identificador del cantón donde se encuentra el segmento de carretera.
- Nom_prov: nombre de la provincia donde se encuentra el segmento de carretera.
- Nom_distr: nombre del distrito donde se encuentra el segmento de carretera.
- Cod_dta: código de distrito.
- Id: identificador del jam.
- Delay: atraso promedio generado por el jam en segundos.
- diaSemana: día de la semana en el cual ocurre el jam.
- Año: año en el que ocurre el jam.
- Mes: mes en el que ocurre el jam.
- Día: día del mes en el que ocurre el jam.
- Hora: hora del día en el que ocurre el jam en formato de 24 horas.
- Semanames: número de semana del año en la cual ocurre el jam.

Estas variables son producto de la transmisión de información desde teléfonos celulares con la aplicación instalada, que para el caso de Costa Rica se estimaba en más de 500.000 usuarios activos por mes en el 2015 (Cordero, 2015), que es el último dato reportado en prensa nacional según la revisión efectuada para este trabajo.

Para extraer, transformar y cargar los datos (pipeline de Extract Transform and Load, ETL por sus siglas en inglés), se aplicaron técnicas de *big data* y luego se requirió procesamiento en paralelo para acceder, resumir y analizar la información. Etapa denominada como el pipeline de analítica.

El pipeline del ETL se realizó con el lenguaje de programación Python; y el de analítica, con el lenguaje de programación R y el paquete sparklyr para análisis con procesamiento en paralelo.

Se usaron múltiples paquetes estadísticos y de visualización para los modelos efectuados, todos de código fuente abierta (*Open Source*).

Los datos de la congestión vial de Waze provienen de una tabla de datos, llamada “*jams*” en formato JSON, que contiene los reportes específicos en todo el territorio nacional de acuerdo con criterios definidos por la aplicación. No es lo mismo que los reportes de congestión que las personas usuarias hacen en el App. Estos últimos son conocidos como las alertas de Waze.

La aplicación hace reportes de congestión de tránsito en todo el país que se actualizan de manera dinámica. El PEN hace una captura de los datos cada 5 minutos y, posteriormente, se unifican en ventanas de 10 minutos. La siguiente fase es el pre-procesamiento para convertirlos en capas de información relevantes. Por ejemplo, se hace una segmentación de los reportes de congestión en tramos de 100 metros de carretera aproximadamente. De esta forma se controla la congestión de acuerdo con la extensión de esta. Si un atasco A se extiende por 500 metros, se contabiliza como cinco unidades de congestión. Otro atasco B, con extensión de un kilómetro, se registra en la base de datos como diez unidades. Más detalle sobre el procedimiento de extracción de datos y pre-procesamiento hasta construir la base de datos se puede consultar en el Capítulo 7 del Informe Estado de la Nación de 2020 (PEN, 2020).

Vale aclarar que los datos pueden tener un sobre-registro que se distribuye sistemáticamente a lo largo de todo el período. Como la toma de datos ocurre cada cinco minutos desde el API de Waze, algunos casos de congestión pueden estar duplicados. Entiéndase que un reporte de congestión no inicia y desaparece en el lapso de esos 5 minutos. Sin embargo, dado que la temporalidad en la captura de datos es la misma durante todo el período de análisis, la sobreestimación de esos casos se distribuye de forma uniforme en la serie de tiempo.

Aumenta la intensidad de la congestión con cambios en los patrones temporales

La pandemia por el covid-19 produjo un cambio significativo en los patrones de la movilidad de las personas. En parte por el miedo a salir de las casas ante la incertidumbre de los efectos del virus, y luego por restricciones sanitarias y a la movilidad de las personas impuestas por los gobiernos en muchos países del orbe. Costa Rica no fue la excepción.

Las medidas más drásticas, como se reportó en el Informe PEN de 2020, ocurrieron a partir de abril de 2020. En este entonces se “constató que las restricciones sobre el tránsito y el cierre de comercios en el país ocasionaron reducciones considerables en los flujos de personas en todo el territorio, junto a otros aspectos, como la posible autocontención individual a salir de las casas de habitación. Estas reducciones no fueron constantes en el tiempo. Se confirma un efecto mayor al inicio de la pandemia, entre marzo y abril [de 2020] con disminuciones hasta de un 90% en Semana Santa, con respecto a los valores previos. Luego hubo fases de apertura y cierres de manera intermitente. Entre mayo y junio sucedió una recuperación del tránsito, cuando las autoridades permitieron el restablecimiento parcial del comercio y de la movilidad vial. Después se pasó a otra fase de fuerte restricción a la movilidad y comercios, entre el 11 y el 19 de julio, con el cerco epidemiológico en los cantones de la GAM. Y, finalmente, vino una nueva fase de apertura” (PEN, 2020).

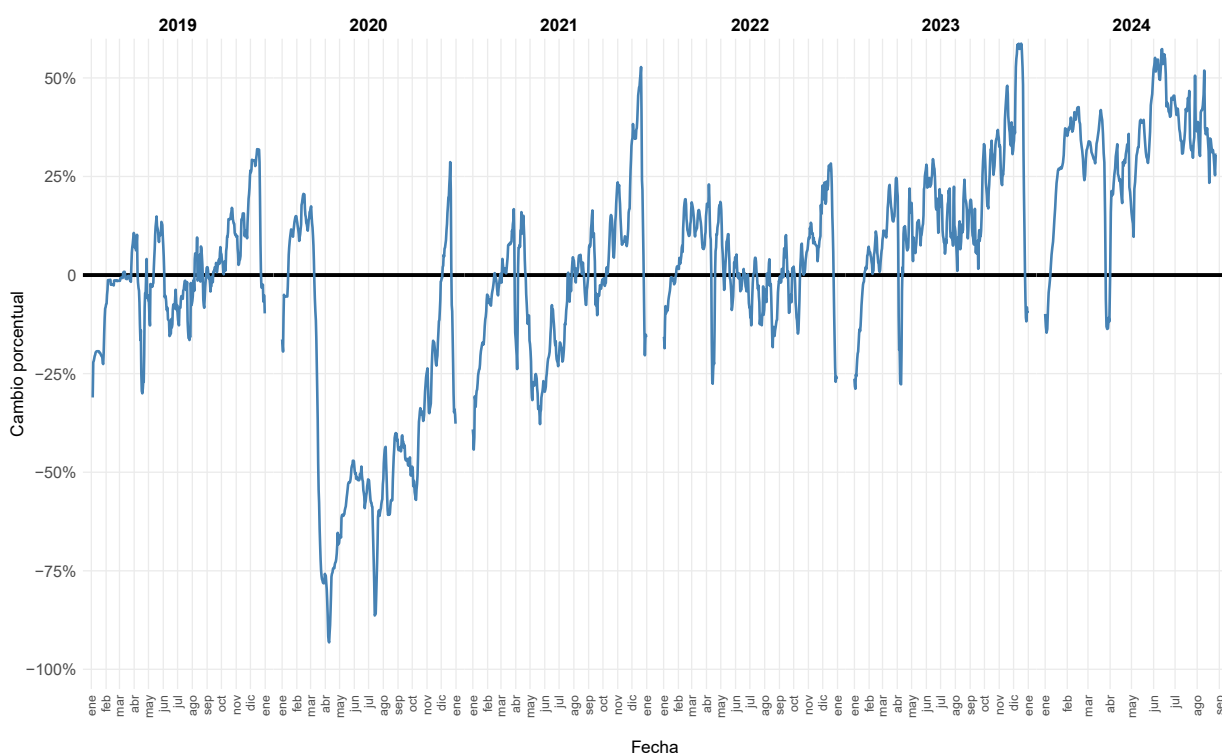
Los datos actualizados muestran que la congestión vial durante el 2021 y 2022 estuvo en niveles similares a lo ocurrido durante el 2019, previo a la pandemia. El aumento considerable sucede en los años 2023 y 2024. El gráfico 1 muestra la serie de tiempo con el cambio porcentual diario de acuerdo con la aplicación Waze. La línea base promedio del 2019 se identifica en el cero de la escala. Todo lo que esté por encima de esa línea implica un aumento de la congestión vial con respecto al promedio de 2019. Todo lo que esté por debajo representa la reducción porcentual correspondiente.

El promedio agregado de cada año refleja que, durante todo el 2020, hubo una reducción general del 36% del flujo vehicular con respecto a lo ocurrido en 2019. En el 2021, aún con restricciones sanitarias, aunque más leves, hubo una reducción de tan solo 2,4%. En el 2022 se reporta un leve aumento de la congestión de un 3%. En el año 2023 hubo otro incremento importante de 16%. Finalmente, en el 2024 (datos hasta agosto) se registra el mayor aumento relativo: 32% más que lo ocurrido en el año pre-pandemia.

Gráfico 1

Cambio porcentual diario en la congestión vial, enero 2019 – agosto 2024

(Promedio móvil de siete días)



Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con datos de Waze-Mopt.

El aumento sostenido en los niveles de tránsito en todo el país muestra diferencias cuando se observa por cantón y provincia. Las dos provincias con más presión vial son San José y Alajuela, en gran medida por el alto flujo que registran sus respectivos cantones centrales. Esto no ha variado en el tiempo. Antes, durante y posterior a la pandemia, esos dos cantones se mantienen

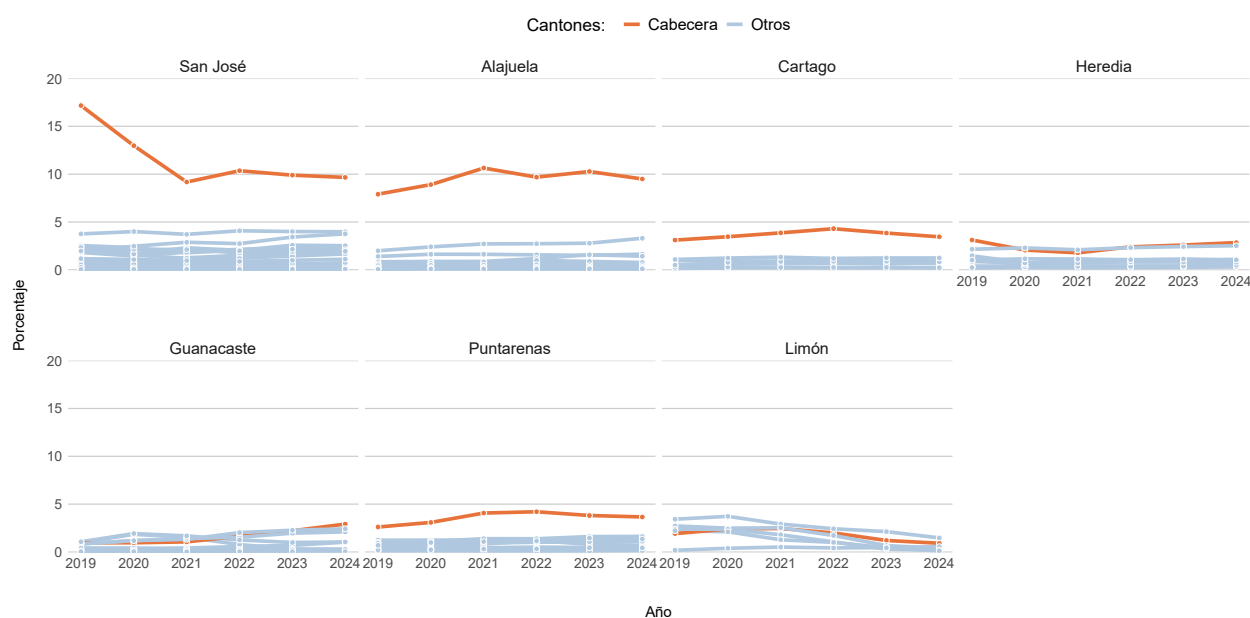
como las zonas más congestionadas y con más pérdidas de tiempo asociadas a ello. Lo que sí cambió fue la intensidad de esos flujos en el tiempo.

En el cantón central de San José, por ejemplo, ocurrió una reducción relativa de la congestión entre el 2019 y 2024. El análisis realizado muestra que, de todos los reportes de atascos en carretera ocurridos en 2019, esta cabecera de provincia registró un 17%. Para el 2024 registra un 10%, aunque con datos hasta agosto. Ese nivel es prácticamente el mismo que obtuvo en 2023 para todo el año. Es decir, hay una reducción relativa en los flujos vehiculares que transitan por este cantón.

Lo contrario ocurre con Alajuela que registra un aumento relativo de la aglomeración vehicular. En 2019 este cantón cabecera de provincia, fue responsable del 8% de los reportes de todo el país. A partir del 2021 registra, con leves altibajos, niveles alrededor del 10%.

Los cantones cabecera de Cartago y Heredia registran niveles por debajo del 5% entre el 2019 y 2024. El cantón de Libera en Guanacaste y el cantón central de Puntarenas denotan un leve aumento relativo de la congestión por año, aunque siempre por debajo del umbral del 5% anual. Finalmente, el cantón central de Limón es el otro que registra una reducción relativa de su flujo vehicular con respecto al 2019. El gráfico 2 muestra el porcentaje del flujo vehicular por año en todos los cantones del país. Se resaltan en color los cantones cabecera para cada provincia.

Gráfico 2
Porcentaje de congestión vial por año según provincia y cantón



Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con datos de Waze-Mopt.

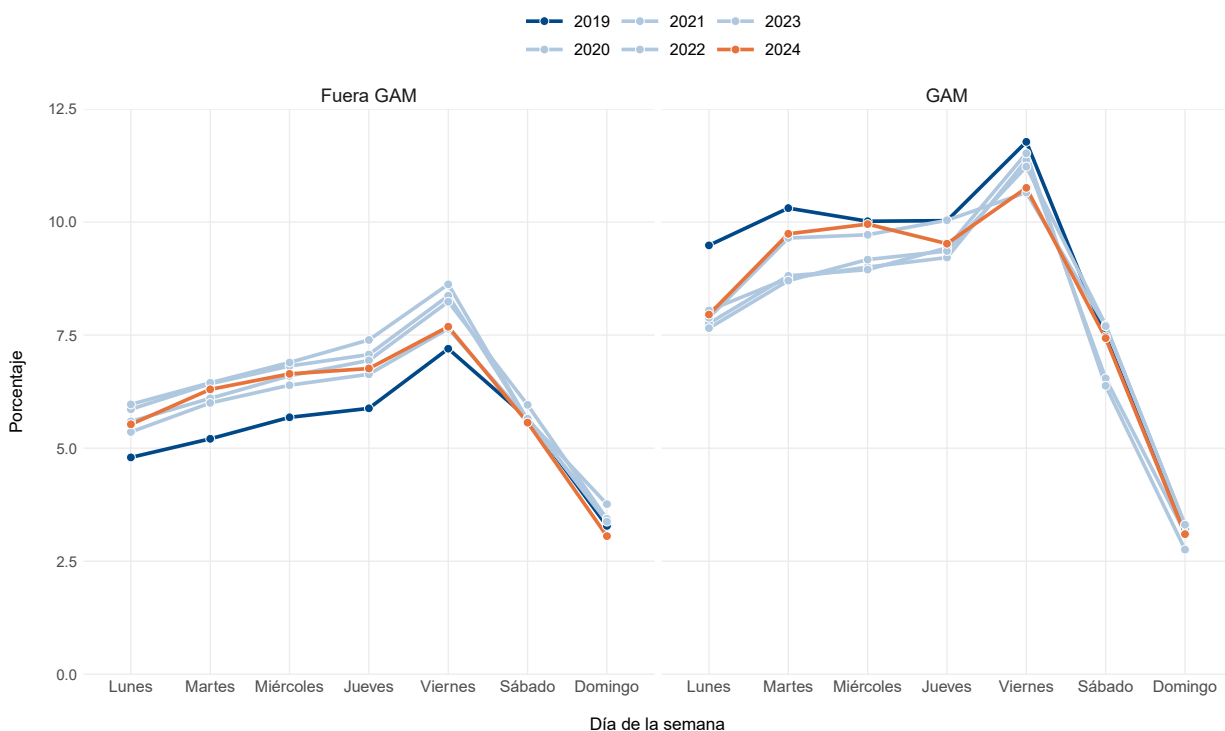
¿Varían los patrones viales por día de la semana? La respuesta es afirmativa en cuanto a la distribución porcentual de la congestión, aunque no se modifican de manera sustantiva los días de la semana más complicados para transitar en carretera.

El día de la semana con más atascos continúa siendo los viernes, seguido de los martes y miércoles, dentro de la GAM. Fuera de la región central del país también son los viernes, seguido de los miércoles, jueves y martes en niveles muy similares. Los lunes son días más fluidos en carretera en todo el país.

Entre semana se registran cambios en la distribución porcentual. De todos los reportes obtenidos por año, en 2019 hubo mayor incidencia de congestión dentro de la GAM que lo observado durante el 2024. En este último año se nota un incremento relativo en zonas fuera de la GAM, más similar a lo ocurrido en los años de pandemia. Un factor que pudiera estar vinculado con este comportamiento refiere a las condiciones laborales post-pandemia. Actualmente existen condiciones de trabajo más flexibles tanto en el sector público como en el sector privado. El trabajo desde la casa, en distintas modalidades, reduciría los viajes al casco central del país y con ello se alteran los patrones espacio temporales de los flujos vehiculares. El gráfico 3 da cuenta de los cambios en estos flujos vehiculares de manera comparada.

Gráfico 3

Porcentaje de congestión vial por año según día de la semana y zona del país



Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con datos de Waze-Mopt.

Para ahondar en este tema se hizo una evaluación de la saturación de la red vial disponible en cada cantón, con base en la congestión registrada por Waze entre lunes y viernes, y en horas pico de la mañana (6 am - 9 am) y de la tarde (4 pm - 7 pm).

Los hallazgos de este análisis muestran que, en promedio para todo el país, la red vial disponible tiene un porcentaje de saturación del 46% en horas pico entre semana durante el 2024. Es decir,

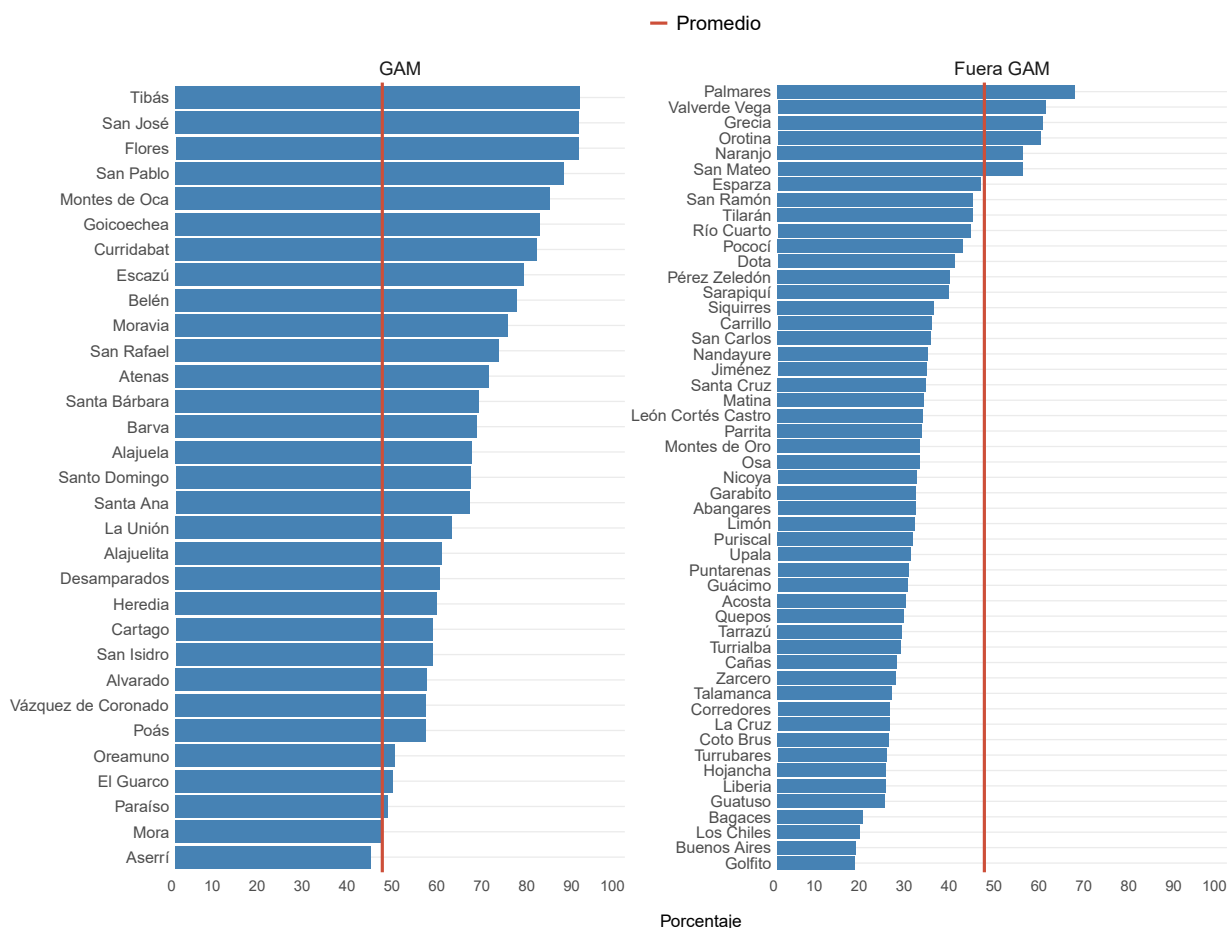
casi la mitad de todas las carreteras presentan congestión vial a esas horas. El resultado por cantón muestra diferencias sustantivas.

De los 31 cantones dentro de la GAM, solo uno está por debajo de ese promedio: Aserri con una saturación del 44%. Todos los demás presentan muy altos grados de uso potencial de su red vial, con casos extremos como Tibás, cantón central de San José, Flores y San Pablo de Heredia, Montes de Oca, Goicoechea y Curridabat con niveles de saturación entre el 80 y el 90% de sus carreteras en horas pico.

Fuera de la GAM hay seis cantones con niveles muy superiores al promedio nacional y, que se asemejan más a la situación de las zonas dentro de la GAM. Se trata de San Mateo, Naranjo, Orotina, Grecia, Valverde Vega (Sarchí) y Palmares. Todos cantones al oeste del Valle Central, donde ocurre un aumento de desarrollos urbanísticos e industriales. En estos territorios la saturación ronda entre el 55 y el 66% de su red vial disponible en la franja horaria analizada (gráfico 4).

Gráfico 4

Porcentaje de saturación de la red vial por cantón, según zona del país. 2024
(promedio nacional)



Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con datos de Waze-Mopt.

Patrones espaciales de la congestión se modificaron de forma sustantiva

La información analizada a este punto da cuenta del aumento en la congestión vial, aunque con aparentes cambios en la distribución territorial con respecto al 2019. Para confirmar estos hallazgos iniciales, se procedió a evaluar los patrones viales con modelos de estadística espacial y, con ello, actualizar los hallazgos del estudio del 2020.

Durante el 2019 se encontró un “conglomerado significativo con ocho cantones que registran alta congestión. Estas zonas presentan una relación espacial significativa. En otras palabras, es ahí donde están los flujos viales más relevantes del país. Son seis casos de la provincia de San José: cantón central de San José, Desamparados, Goicoechea, Tibás, Montes de Oca y Curridabat, y otros dos de la provincia de Heredia: el cantón central y Santo Domingo. Todos estos municipios están ubicados en la GAM”. Además, “en esos ocho cantones, en promedio, un 53% de la población ocupada residente en ellos sale regularmente del cantón, pues su lugar de trabajo se ubica en otras zonas del país. Estos datos dan sustento a la tesis de que los municipios con mayor congestión comparten características demográficas y presiones viales que generan afectaciones mutuas” (PEN, 2020).

Sería de esperar variaciones en estos conglomerados de congestión territorial, si los hábitos y horarios laborales post-pandemia se modificaron de manera significativa. Se procedió a analizar la congestión cantonal mensual primero, y luego la distrital, para la serie histórica (2019-2024). Se evaluaron modelos estadísticos con el índice de Morán global, y el denominado Test de Monte Carlo, para confirmar que la relación espacial es significativa de acuerdo con la metodología de Medina y Solymosi (2019). Cuando la relación espacial es significativa, se ejecuta el índice local de Morán como medida de asociación espacial (*local indicators of spatial association*, LISA, por su sigla en inglés) para determinar cuáles cantones y distritos conforman estos conglomerados (recuadro 1).

Recuadro 1

Metodología para el análisis espacial

Se elaboraron modelos estadísticos espaciales empleando el Índice de Moran para detectar conglomerados en el territorio. El análisis se realiza tanto a nivel cantonal como distrital para el período que comprende de enero 2019 hasta agosto 2024. Se incluyeron 82 cantones y 483 distritos que proporcionan una perspectiva más detallada de los patrones espaciales en cada nivel territorial.

El Índice de Moran es una herramienta estadística utilizada para evaluar la autocorrelación espacial en un conjunto de datos georreferenciados. Este índice permite identificar si existe un patrón espacial en los datos, es decir, si los valores de una variable en un área geográfica están correlacionados con los valores de la misma variable en áreas vecinas. Los valores del índice pueden oscilar entre -1 y 1.

- Valor -1: Indica una autocorrelación negativa perfecta, lo que significa que las áreas con valores altos están rodeadas de áreas con valores bajos, y viceversa, generando una dispersión espacial.

- Valor 1: Denota una autocorrelación positiva perfecta, lo que sugiere que las áreas con valores altos (o bajos) están agrupadas, formando conglomerados de características similares.
- Valor 0: Indica la ausencia de autocorrelación espacial, es decir, que los valores están distribuidos de manera aleatoria sin seguir un patrón espacial claro.

Para establecer la relación espacial entre las diferentes áreas, se emplea la estructura de vecinos de la Reina. Este método define como vecinos las áreas que comparten un borde o un vértice. A diferencia del método de contigüidad de Rook, que solo considera los límites comunes, el método de la Reina es más inclusivo, ya que también reconoce la vecindad en los puntos de contacto diagonales. Esto genera una red de vecinos más densa e interconectada, lo cual se asemeja con mayor exactitud a la red vial que conecta a cantones y distritos.

Posteriormente se construye una matriz de pesos espaciales “W”, la cual asigna un peso a cada par de áreas dependiendo de si son vecinas o no. En este caso se utiliza la normalización por filas para que la suma de los pesos asociados a cada área fuera igual a 1. Esta matriz es fundamental para calcular el Índice de Moran, ya que establece las conexiones espaciales necesarias para evaluar la autocorrelación entre las áreas.

El análisis se inicia con el cálculo del Índice de Moran Global para identificar si existe autocorrelación espacial significativa en los datos a nivel general. Para evaluar la significancia de los resultados, se utiliza la prueba de Monte Carlo que realiza múltiples permutaciones aleatorias de los datos para generar una distribución nula y comparar el valor observado del índice con esta distribución. De esta manera, se determina si la autocorrelación espacial observada es mayor de lo que se esperaría bajo un patrón aleatorio.

En aquellos casos donde la autocorrelación espacial es significativa, se procede con el cálculo del Índice de Moran Local o LISA (Local Indicators of Spatial Association, por sus siglas en inglés). Este índice permite identificar las áreas específicas que contribuyen a la autocorrelación global, revelando conglomerados locales de valores altos o bajos que no son necesariamente evidentes a nivel general. De esta manera, se detectan tanto zonas con conglomerados espaciales significativos como aquellas con patrones atípicos.

Todo el análisis es implementado en el entorno de programación R, utilizando la versión 4.3.3. Esta plataforma ofrece múltiples librerías especializadas para el análisis de datos espaciales, como `spdep`, que permite la construcción de matrices de pesos espaciales y la implementación del Índice de Moran, tanto global como local.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los modelos cantonales por año confirma el conglomerado de cantones del 2019, con una prueba significativa al 95% de confianza ($p\text{-value} < 0.05$). Sin embargo, a partir de 2020 el índice de Moran global no es significativo. En otras palabras, los conglomerados cantonales de alta congestión vial que existían antes de la pandemia desaparecen a partir del 2020. Incluso en 2023 y los meses de 2024 que cubre este estudio (enero-agosto), no existe evidencia estadística significativa de zonas del territorio nacional a nivel cantonal que presente altos

niveles de saturación vial, rodeados de otras zonas con condiciones similares. El cuadro 1, refleja los *p-values* obtenidos en cada uno de los modelos estadísticos.

Cuadro 1

Resultados del Índice de Moran global por año por cantón, según el valor del *p-value* del modelo

Año	<i>p-value</i>	Cantones significativos de alta congestión
2019	0,01	San José: Central, Desamparados, Goicoechea, Tibás, Montes de Oca y Curridabat. Heredia: central y Santo Domingo.
2020	0,07	
2021	0,14	
2022	0,14	
2023	0,12	
2024	0,13	

Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con datos de Waze-Mopt.

Estos resultados muestran que los flujos viales de esos ocho cantones con muy alta congestión durante el 2019 en la GAM, perdieron fuerza de contagio entre ellos (*spillover*). Las personas que manejaban por esas zonas experimentaban fuerte congestión a lo largo de todo el trayecto, con pocos espacios de tránsito fluido en sus rutas. A partir de 2020 esa saturación inter-cantonal ya no es estadísticamente relevante. El efecto de la pandemia y los cambios en los horarios de trabajo y traslados pudo influir en estos resultados.

¿Significa que desaparecieron los atascos viales en esos cantones? Por supuesto que no. Lo que desapareció es el efecto de contagio entre cantones. Los análisis muestran que hay más congestión vial en términos absolutos, pero no hay evidencia empírica para indicar que existan patrones de concentración en cantones específicos. Ahora está distribuida de una forma más aleatoria en el territorio cuando se le analiza a nivel cantonal.

¿Existen conglomerados de congestión en unidades territoriales más específicas, como los distritos? Se volvieron a ejecutar todos los análisis, pero empleando los distritos como objeto de estudio para observar el efecto de la congestión en unidades territoriales más pequeñas.

Los resultados muestran que los puntos de mayor problemática vial, en efecto, se trasladaron a unidades geográficas mucho más acotadas posterior al 2020. Sí existen conglomerados de alta congestión a nivel distrital, aunque con variaciones anuales. El otro hallazgo relevante es que esos grupos son significativos en todos los años de la serie histórica, incluido el 2020, durante la pandemia. No obstante, se nota una reducción en la cantidad de distritos que pertenecen al grupo de alta congestión en el año 2020, de mayor efecto de la pandemia por covid-19.

En general, el país tiene entre 35 y 41 distritos catalogados como de alta congestión, entre 2019 y 2024. El foco de mayor incidencia de congestión se concentra en distritos del Gran Área Metropolitana (GAM), en específico de San José, Alajuela y Heredia, que aparecen en los seis años evaluados. Por el contrario, la provincia de Guanacaste es la de menor incidencia de distritos con alta congestión. Solo aparece con Palmira de Carillo y Nacascolo de Liberia en el




2024. Y las provincias de Cartago, Puntarenas y Limón muestran distritos con alta congestión en cuatro de los seis años estudiados.

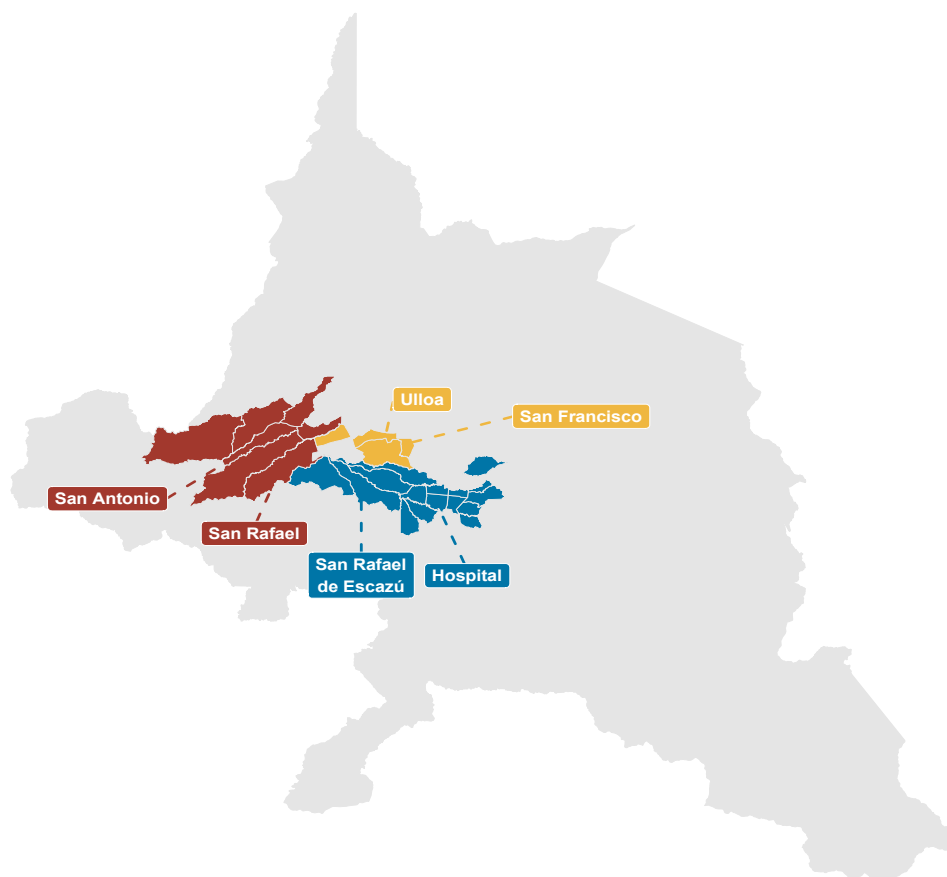
Las zonas de mayor congestión se concentran en 26 distritos del país (mapa 1). Se trata en específico de:

- **San José:** Catedral, El Carmen, Hatillo, Hospital, Mata Redonda, Merced, Pavas, San Francisco De Dos Ríos, Uruca y Zapote (cantón central San José); San Felipe (Alajuelita); San Rafael (Escazú); Mercedes y San Pedro (Montes De Oca); San Vicente (Moravia); Pozos (Santa Ana);
- **Alajuela:** Alajuela, Garita, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José y San Rafael (cantón central de Alajuela).
- **Heredia:** San Francisco y Ulloa (cantón central de Heredia); La Ribera (Belén).

Mapa 1

Conglomerados de congestión vial por distrito. Enero 2019 a agosto 2024

Distritos por provincia:  San José = 16  Alajuela = 7  Heredia = 3



Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con datos de Waze-Mopt.

El cuadro 2 detalla los conglomerados de distritos con alta congestión rodeados de otros distritos vecinos con alta congestión.

Cuadro 2

Resultados del Índice de Moran global por año por distrito, según el valor del p-value del modelo

Año	p_value	Cantidad de distritos	Distritos de alta congestión por provincia y cantón
2019	0,00001	40	<p>San José</p> <p>Alajuelita: San Felipe/Curridabat: Curridabat/Escazú: San Rafael/Goicoechea: Calle Blancos y San Francisco/Montes De Oca: Mercedes y San Pedro/Moravia: San Vicente/San José: Catedral, El Carmen, Hatillo, Hospital, Mata Redonda, Merced, Pavas, San Francisco De Dos Ríos, Uruca y Zapote / Santa Ana: Brasil y Pozos/Tibás: Anselmo Llorente, Cinco Esquinas, Colima y San Juan.</p> <p>Alajuela</p> <p>Alajuela: Alajuela, Garita, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José y San Rafael.</p> <p>Heredia</p> <p>Belén: La Ribera y San Antonio/Heredia: San Francisco y Ulloa/San Pablo: Rincón de Sabanilla/Santo Domingo: Santa Rosa.</p> <p>Limón</p> <p>Limón: Limón/Matina: Carrandi/Pococí: Jiménez.</p>
2020	0,00001	35	<p>San José</p> <p>Alajuelita: San Felipe/Desamparados: San Rafael Arriba/Escazú: San Rafael/Goicoechea: Calle Blancos/Montes De Oca: Mercedes, San Pedro/Moravia: San Vicente/San José: Catedral, El Carmen, Hatillo, Hospital, Mata Redonda, Merced, Pavas, San Francisco De Dos Ríos, Uruca, Zapote/Santa Ana: Pozos</p> <p>Alajuela</p> <p>Alajuela: Alajuela, Garita, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José, San Rafael</p> <p>Cartago</p> <p>Cartago: Occidental</p> <p>Heredia</p> <p>Belén: La Ribera/Heredia: San Francisco, Ulloa/Santo Domingo: Santa Rosa/Sarapiquí: Las Horquetas</p> <p>Limón</p> <p>Limón: Limón, Río Blanco/Matina: Carrandi/Pococí: Jiménez.</p>

Año	p_value	Cantidad de distritos	Distritos de alta congestión por provincia y cantón
2021	0,00001	37	<p>San José</p> <p>Alajuelita: San Felipe/Escazú: San Rafael/Montes De Oca: Mercedes, San Pedro/Moravia: San Vicente/San José: Catedral, El Carmen, Hatillo, Hospital, Mata Redonda, Merced, Pavas, San Francisco De Dos Ríos, Uruca, Zapote/Santa Ana: Brasil, Pozos.</p> <p>Alajuela</p> <p>Alajuela: Alajuela, Garita, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José, San Rafael, Turrúcares.</p> <p>Cartago</p> <p>Cartago: Guadalupe O Arenilla, Occidental.</p> <p>Heredia</p> <p>Belén: La Ribera, San Antonio/Flores: San Joaquín/Heredia: San Francisco, Ulloa</p> <p>Puntarenas</p> <p>Garabito: Jacó/Puntarenas: Puntarenas</p> <p>Limón</p> <p>Limón: Limón, Río Blanco/Matina: Carrandi</p>
2022	0,00001	40	<p>San José</p> <p>Alajuelita: San Felipe/Desamparados: San Rafael Arriba/Escazú: San Rafael/Montes De Oca: Mercedes, San Pedro/Moravia: San Vicente/San José: Catedral, El Carmen, Hatillo, Hospital, Mata Redonda, Merced, Pavas, San Francisco De Dos Ríos, Uruca, Zapote/Santa Ana: Brasil, Pozos.</p> <p>Alajuela</p> <p>Alajuela: Alajuela, Garita, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José, San Rafael, Turrúcares.</p> <p>Cartago</p> <p>Cartago: Carmen, Guadalupe O Arenilla, Occidental</p> <p>Heredia</p> <p>Belén: La Ribera, San Antonio/Heredia: San Francisco, Ulloa/San Pablo: Rincón De Sabanilla</p> <p>Santo Domingo Santa Rosa.</p> <p>Puntarenas</p> <p>Garabito: Jacó/Puntarenas: Barranca, Chacarita, Puntarenas.</p> <p>Limón</p> <p>Matina: Carrandi</p>

Año	p_value	Cantidad de distritos	Distritos de alta congestión por provincia y cantón
2023	0,00001	37	<p>San José</p> <p>Alajuelita: San Felipe/Desamparados: San Rafael Arriba/Escazú: San Rafael/Montes De Oca: Mercedes, San Pedro/Moravia: San Vicente/San José: Catedral, El Carmen, Hatillo, Hospital, Mata Redonda, Merced, Pavas, San Francisco De Dos Ríos, Uruca, Zapote/Santa Ana: Brasil, Pozos.</p> <p>Alajuela</p> <p>Alajuela: Alajuela, Garita, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José, San Rafael, Tambor, Turrúcares</p> <p>Cartago</p> <p>Cartago: Carmen, Guadalupe O Arenilla</p> <p>Heredia</p> <p>Belén: La Ribera, San Antonio/Heredia: San Francisco, Ulloa/San Pablo: Rincón De Sabanilla/Santo Domingo: Santa Rosa</p> <p>Puntarenas</p> <p>Garabito: Jacó/Puntarenas: Puntarenas</p>
2024	0,00001	41	<p>San José</p> <p>Alajuelita: San Felipe/Escazú: San Rafael/Goicoechea: Calle Blancos, San Francisco/Montes De Oca: Mercedes, San Pedro/Moravia: San Vicente/San José: Catedral, El Carmen, Hatillo, Hospital, Mata Redonda, Merced, Pavas, San Francisco De Dos Ríos, San Sebastián, Uruca, Zapote/Santa Ana: Brasil, Pozos, Santa Ana/Tibas: Anselmo Llorente/Vázquez De Coronado: Patalillo</p> <p>Alajuela</p> <p>Alajuela: Alajuela, Garita, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José, San Rafael, Turrúcares</p> <p>Heredia</p> <p>Belén: La Asunción, La Ribera, San Antonio/Heredia: San Francisco, Ulloa/San Pablo: Rincón De Sabanilla/Santo Domingo: Santa Rosa</p> <p>Guanacaste</p> <p>Carrillo: Palmira/Liberia: Nacascolo</p> <p>Puntarenas</p> <p>Garabito: Jacó</p>

Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con datos de Waze-Mopt.

El resultado refleja carreteras con más congestión en zonas específicas, en específico distritos, y no a lo largo de rutas que conectan diferentes cantones como ocurría en 2019. Esto da fuerza a la hipótesis de los cambios en los patrones de movilidad de las personas por causa de nuevas alternativas de trabajo en casa y flexibilización de horarios. También influyen las inversiones en obras de mantenimiento y ampliación de carreteras dentro y fuera de la GAM, para ampliar las capacidades de la infraestructura vial del país en los últimos años. Tema abordado en el siguiente apartado.

Estos hallazgos abren nuevas preguntas de investigación por explorar. Por ejemplo, ¿cuál es el efecto concreto que tiene el teletrabajo, la flexibilidad horaria y las intervenciones viales, entre otras variables de interés, en los registros de congestión? El reto más importante para la agenda de investigación futura es la operacionalización de algunas de estas variables sobre las que existe poca o nula información en el país.

Intervenciones viales generan presiones en zonas específicas del territorio

Con datos para 32 meses, desde enero de 2022 hasta agosto 2024, se puede constatar en distintos medios digitales un aumento de noticias referidas a intervenciones viales en carretera (recuadro 2). La inversión en obra pública genera nuevas condiciones para mejorar la fluidez del tránsito y con ello reducir los tiempos de traslado. Pero también ocurren focos de congestión debido a los trabajos que implican los pasos regulados o cierres parciales de las obras realizadas.

Recuadro 2

Metodología para el análisis de infraestructura vial

El análisis está basado en la recopilación de titulares de noticias relacionadas con infraestructura vial en Costa Rica. Para obtenerlas se realizó una búsqueda exhaustiva en medios de comunicación digitales, entidades gubernamentales y municipales, mediante el motor de búsqueda Google. La recopilación incluyó los siguientes pasos:

1. Selección de fuentes: se seleccionaron 31 medios de comunicación digital y algunos otros medios digitales municipales. La lista completa es: larepublica.net; lateja.cr; delfino.cr; elmundo.cr; observador.cr; mundosantaana.com; elguardian.cr; nacion.com; cartagohoy.com; crhoy.com; semanariouniversidad.com; teletica.com; telediario.cr; guananoicias.com; vozdeguanacaste.com; diarioextra.com; ameliarueda.com; adiariocr.com; revistasumma.com; Amprensa.com; Nicoya.go.cr; Puntarenasseoye.com; Laregion.cr; Muniorotina.go.cr; muni-carta.go.cr; monumental.co.cr; curridabat.go.cr; ecomunicipal.co.cr; Desamparados.go.cr; radiosancarlos.co.cr; Radiosantaclara.cr.
2. Se estableció como período de análisis el comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 29 de agosto de 2024.
3. Palabras clave: para filtrar las búsquedas y seleccionar titulares de interés se utilizaron palabras clave como: “inauguración paso”; “cierre de paso”; “apertura de paso”; “inauguración puente”; “obras en la vía”; “infraestructura vial”, entre otras.

4. Clasificación de noticias: Los titulares fueron categorizados en dos niveles. Primero según el tipo de evento descrito en las siguientes categorías:

- Restricción vehicular sanitaria: Covid-19.
- Cambios en la infraestructura.
- Cierres de carretera por accidente.
- Cierres de carretera por mantenimiento.
- Cierres de carretera por asuntos naturales.
- Apertura de carretera por asuntos naturales.
- Cierres de carretera por asuntos sociales.

Segundo, según el efecto que produce en el desplazamiento vial en las siguientes categorías:

- Congestión.
- Liberación.
- Obras en la vía/construcción.

Herramientas técnicas: todo el proceso se construyó utilizando el lenguaje de programación Python, en su versión 3.12.1. Para pre-procesar los datos se utilizó la biblioteca “pandas”. Los gráficos se realizaron con los paquetes “matplotlib” y “seaborn”. Para el procesamiento de texto se utilizó la biblioteca de procesamiento de lenguaje natural “spaCy”. Las nubes de palabras se generaron utilizando la biblioteca “WordCloud” y el análisis de bigramas a partir de los titulares preprocesados utilizó la biblioteca “nltk”.

Fuente: Elaboración propia

Al agrupar todos los incidentes relacionados con la infraestructura vial por mes se observa que, en el año 2022, octubre registra el mayor número de noticias relacionadas. Esto coincide con el huracán Julia, un fenómeno natural que impactó fuertemente al país y afectó la infraestructura vial. Durante este mes hubo derrumbes, colapsos de ríos, destrucción de calles y otros daños que obstaculizaron el tránsito normal en las vías del país.

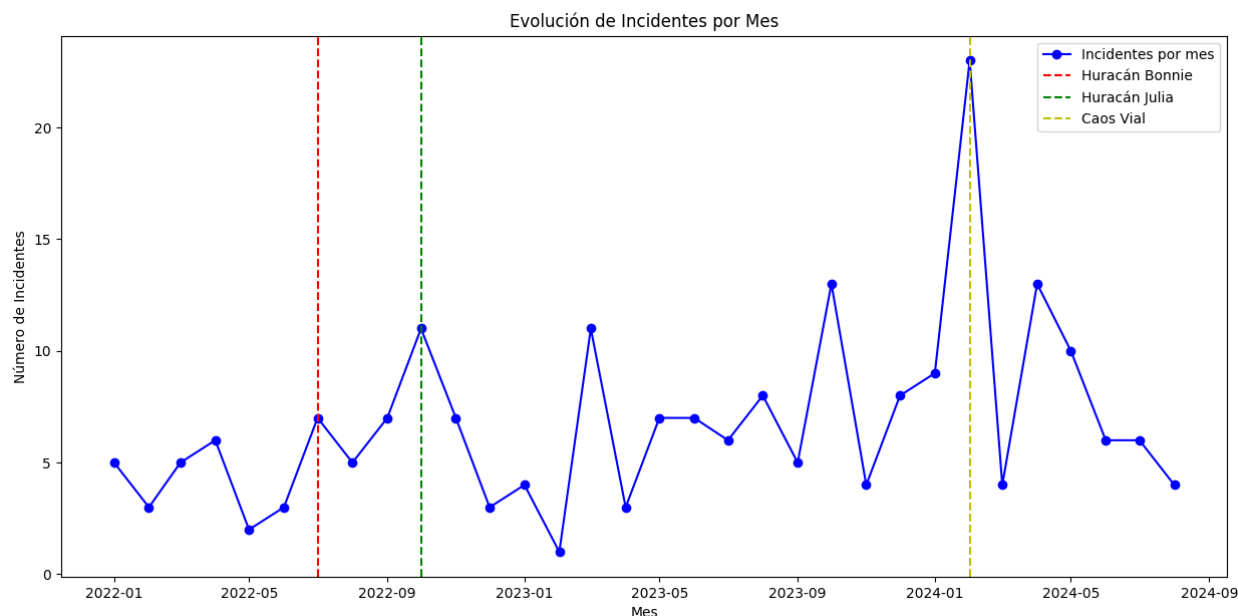
En octubre de 2023, nuevamente, se registró una alta acumulación de incidentes. Sin embargo, a diferencia de lo ocurrido en 2022, los incidentes de este año no tuvieron una sola causa principal. Ocurrieron por cambios en la Radial de Alajuela, obras frente al Aeropuerto Juan Santamaría, cierres y aperturas en la ruta 32, y la apertura del viaducto de la ruta 27, entre las principales.

En 2024, el mes con la mayor cantidad de incidentes relacionados con infraestructura vial fue febrero. Este caso representa no solo el mes con más incidentes de ese año, sino también el que más incidentes acumuló en los 32 meses analizados. Fue resultado de la convergencia de múltiples eventos, incluyendo el inicio del curso lectivo el 5 de febrero, cierres en la ruta 32, el inicio de trabajos cerca del puente Juan Pablo II en La Uruca, la colocación de un puente modular en Alajuela, cierres en la Radial de Alajuela, trabajos en Calle Blancos y en la ruta de circunvalación, entre los principales. Además, hubo eventos de carácter social que también afectaron la movilidad. Tal fue el caso de las manifestaciones en Hatillo debido a la falta de agua. Este mes fue especialmente intenso en términos de infraestructura vial, aunque también se

dieron eventos que mejoraron los flujos de tránsito, como la apertura del paso elevado en Grecia (gráfico 5).

Gráfico 5

Intervenciones en infraestructura vial reportadas en medios de comunicación. Enero 2022 a agosto 2024

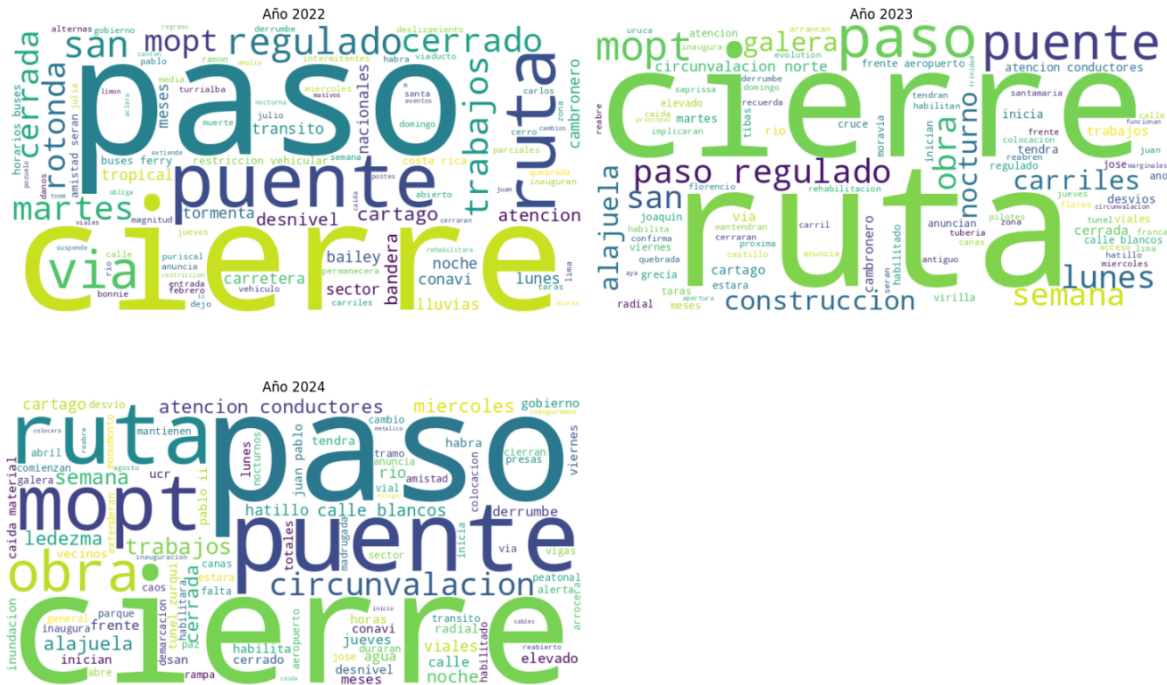


Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con información de la base de datos de medios de comunicación del PEN.

Al realizar un análisis de texto a los titulares de todas las notas recolectadas, se observa una predominancia de términos vinculados con eventos de cierre de las rutas. Resaltan palabras como "cierre", "derrumbe", "cierres nocturnos", "paso regulado", "deslizamiento", "presas", "cerrado", y "caída de material". En menor medida, se identifica un patrón más enfocado en soluciones, con términos como "trabajos", "colocación", "MOPT habilita", "obra", "inaugurará", y "reabre".

También aparecen ciertas tendencias geográficas. Acá destacan zonas como "San José", "Cartago", y "Alajuela". Además, se identifican puntos específicos en estas provincias, como "Galera", "Hatillo", "frente aeropuerto", "Ledezma", "Grecia", "Moravia", y "Calle Blancos". Otras tendencias geográficas más detalladas se refieren a puntos concretos de la infraestructura vial del país, como "Ledezma", que alude al puente en Bajo Los Ledezma en San José por los trabajos en ese sector. También "Circunvalación Norte" y las obras realizadas en el puente "Juan Pablo II" y la "radial Alajuela" (Figura 1).

Figura 2
Nube de palabras sobre infraestructura vial por año



Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con información de la base de datos de medios de comunicación del PEN.

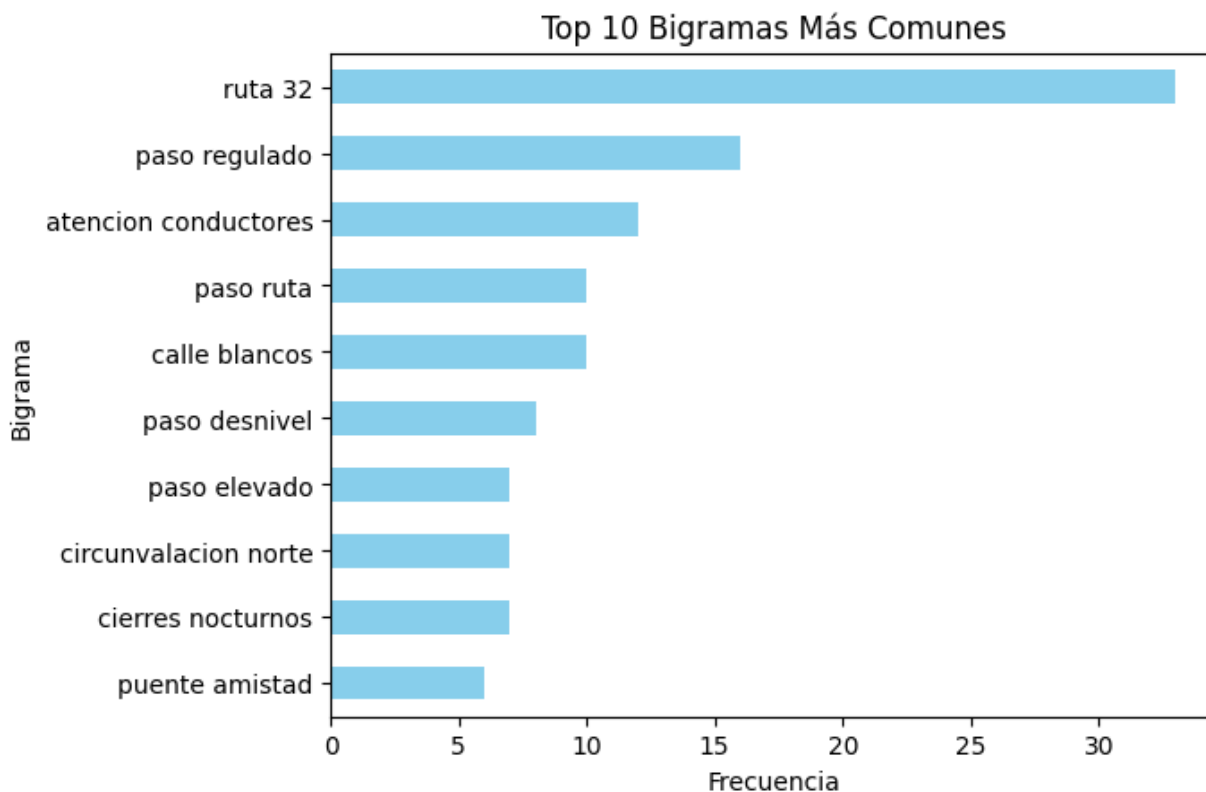
El análisis sobre dos términos que aparecen juntos en el texto permite precisar focos de atención específica. Este tipo de aproximación se conoce como los “bigramas” del texto. Se observa una dominancia del par "ruta 32". Esto se debe a las constantes intervenciones que se realizan en esta ruta debido a deslizamientos, accidentes, caída de materiales y trabajos de mantenimiento.

En segundo lugar, destaca el par "paseo regulado", que está relacionado con el impacto directo en el tráfico. Este término se refiere a regulaciones de tráfico como cierres parciales de calles, restricciones de tránsito, mantenimiento de carreteras o cierres totales temporales. En tercera posición aparece "atención conductores", enfocado en alertar sobre cambios o eventos que puedan alterar la infraestructura vial y la movilidad en condiciones normales.

En general, se observa una fuerte predominancia de temas relacionados con la regulación del tráfico, como "paseo regulado" y "cierres nocturnos", así como temas vinculados a obras de infraestructura vial, tales como "Calle Blancos", "paseo desnivel", "paseo elevado", "Circunvalación Norte", y "Puente Amistad" (gráfico 8).

Gráfico 6

Bigramas en temas de infraestructura vial. Enero 2022 a agosto 2024



Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con información de la base de datos de medios de comunicación del PEN.

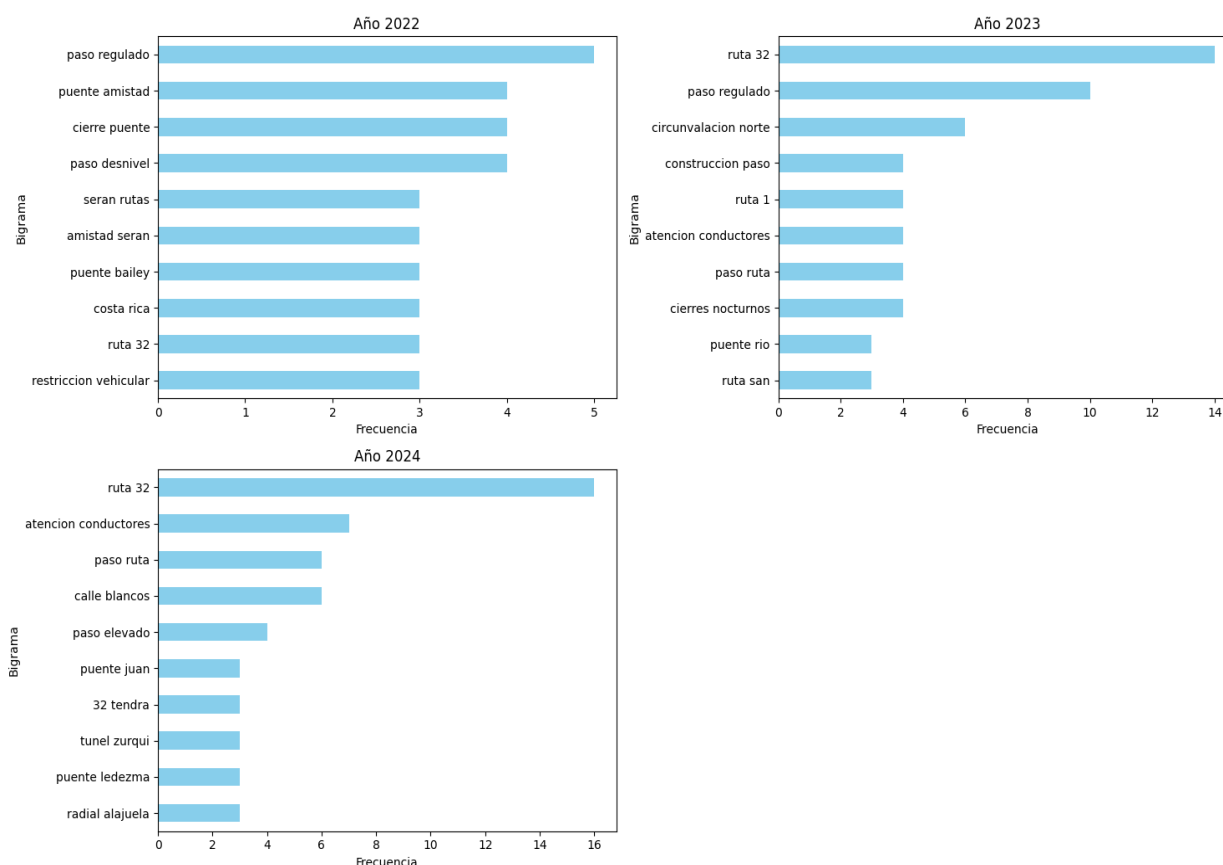
Al realizar un análisis por año para evaluar el comportamiento de los bigramas en cada período específico, se evidencia que en 2022 el bigrama predominante fue "paso regulado". Además, aparecen combinaciones como "puente amistad", "cierre puente", y "puente Bailey", relacionados con trabajos en el Puente de la Amistad y cierres de puentes causados por tormentas tropicales. Durante ese año también se reportaron otros temas relevantes, como "paso desnivel", en referencia a las noticias sobre la Rotonda de la Bandera en Montes de Oca y el paso de Limonal en Guanacaste. La ruta 32 continuó siendo un tema recurrente. También se observan los últimos vestigios de la restricción vehicular sanitaria implementada para prevenir el covid-19.

En 2023 se produjo un cambio notorio. El bigrama de la ruta 32 ascendió significativamente, lo cual refleja la frecuencia de intervenciones e incidentes en esta ruta. El bigrama "paso regulado" se mantuvo en segundo lugar, y, en tercer lugar, aparece "circunvalación norte". Esta última es una de las obras de infraestructura vial más importantes del año. Incluye la inauguración de algunos tramos, pero también intervenciones y cierres de carreteras conexas producto de los trabajos.

En 2024 el bigrama "ruta 32" fue nuevamente el más frecuente, lo cual confirma la vulnerabilidad de esta ruta. Le siguen en importancia la referencia de "atención conductores" y

luego "paso ruta". Lo más notable de este año es la fuerte relación de los bigramas con obras y lugares concretos. Las tendencias geográficas incluyen "Calle Blancos", debido a las diversas obras en esa área; "Puente Juan", que se refiere al Puente Juan Pablo II en la zona de La Uruca; el "Puente Ledezma", relacionado con el puente en Bajo Los Ledezma; y la "Radial Alajuela". (gráfico 9).

Gráfico 7
Bigramas en temas de infraestructura vial por año



Fuente: Gómez Campos, Rojas y Aguilar, 2024, con información de la base de datos de medios de comunicación del PEN.

En suma, la evidencia recopilada en esta sección confirma que el período post-pandemia (2022-2024) está caracterizado por una importante afectación de las condiciones de tránsito en las carreteras del país. Entre los principales factores asociados destacan eventos climáticos y típicos de la estación lluviosa del país, pero también las intervenciones producto de la inversión en infraestructura vial, que genera presiones sobre la congestión en puntos específicos. Algunos por tiempo definido dado que pretenden ampliar la capacidad del flujo vehicular, como los ocurridos en circunvalación y los distintos pasos a desnivel. Otros reincidentes por su comportamiento estacional, como es el caso de la ruta 32 hacia Limón, de fuerte afectación en época lluviosa. Todo esto influye en mayores registros de congestión según la aplicación de Waze en términos comparados.

Conclusiones

El análisis de la congestión vial entre 2019 y 2024 da cuenta del retorno a condiciones de alto tránsito vehicular en el país luego de casi dos años de reducción significativa en el contexto de la pandemia.

La evidencia muestra un aumento relativo de la congestión cuando se compara por años. En particular en los años 2023 y 2024. El análisis por cantón revela que las cabeceras de provincia concentran buena parte de esos flujos, aunque con niveles y comportamientos diferenciados. Destaca una reducción relativa en el cantón central de San José.

También se logran registrar cambios importantes según zona del país. Hay un aumento de la congestión en cantones fuera de la GAM en los últimos años. En 2023 y en especial 2024 regresaron los altos niveles de saturación en horas pico dentro de la GAM y algunos cantones del oeste (Palmares, Sarchí, Grecia y Orotina, entre otros) fuera de la GAM. Estos últimos registran flujos viales que se empiezan a parecer mucho más a los del centro del país. El incremento en los desarrollos urbanísticos y de parques industriales en las rutas que comunican esas regiones están ejerciendo presiones sobre una infraestructura vial que no se ha actualizado al mismo ritmo.

Por día de la semana el comportamiento es, en general, estable durante la serie de tiempo. Los viernes son los días más complicados para transitar, tanto dentro como fuera de la GAM. Los martes y miércoles muestran mucha congestión dentro de la GAM.

El análisis con modelos de estadística espacial refleja carreteras con fuerte congestión en zonas acotadas, en específico distritos, y no a lo largo de rutas que conectan diferentes cantones como ocurría en 2019. El efecto de “contagio” presente en los patrones de tránsito de 2019 a nivel cantonal se diluyó. Los conglomerados de congestión vial posterior al 2020 son significativos a nivel distrital, no al nivel cantonal. Es decir, no desaparece la congestión, pero sí cambió la forma en cómo se distribuye en el territorio.

Esto da fuerza a la hipótesis de los cambios en los patrones de movilidad de las personas por causa de nuevas alternativas de trabajo en casa y flexibilización de horarios. También influyen las inversiones en obras de mantenimiento y ampliación de carreteras dentro y fuera de la GAM, para ampliar las capacidades de la infraestructura vial del país en los últimos años.

Bibliografía

- Alvarez, F., Argente, D., & Lippi, F. (2020). A Simple Planning Problem for COVID-19 Lockdown. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3569911>
- Badr, H. S., Du, H., Marshall, M., Dong, E., Squire, M. M., & Gardner, L. M. (2020). Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: a mathematical modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*.

- Carteni, A., Di Francesco, L., & Martino, M. (2020). How mobility habits influenced the spread of the COVID-19 pandemic: Results from the Italian case study. *Science of the Total Environment*, 741, 140489.
- Cordero, C. (2015). Waze tiene más de 500.000 usuarios activos en el área metropolitana. El Financiero. Costa Rica. <https://www.elfinancierocr.com/tecnologia/waze-tiene-mas-de-500-000-usuarios-activos-en-el-area-metropolitana/QKX4P4EK5VECTKQUK7M4A2N4HI/story/>
- Fang, Y., Nie, Y., & Penny, M. (2020). Transmission dynamics of the COVID-19 outbreak and effectiveness of government interventions: A data-driven analysis. *Journal of Medical Virology*, 92(6), 645–659. <https://doi.org/10.1002/jmv.25750>
- Gatto, M., et al. (2020). Spread and dynamics of the COVID-19 epidemic in Italy: Effects of emergency containment measures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(19), 10484–10491. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004978117>
- Gómez-Campos, S., Cubero-Corella, M., Salas García, M. F., & Chou-Chen, S. W. (2023). Patrones de movilidad en tiempos de COVID-19: un enfoque con big data. *Epi-SCIENCE*, 1(1). <https://doi.org/10.15517/es.2023.5539>
- Google LLC (2020). "Google COVID-19 Community Mobility Reports". <https://www.google.com/covid19/mobility/> Accesado: Mayo, 2020.
- Kraemer, M. U., Yang, C. H., Gutierrez, B., Wu, C. H., Klein, B., Pigott, D. M., ... & Brownstein, J. S. (2020). The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*, 368(6490), 493-497.
- Medina, Y., Solymosi, R. (2019). *Crime Mapping in R*. University of Manchester. https://maczokni.github.io/crimemapping_textbook_bookdown/
- Nouvellet P, Bhatia S, Cori A, Ainslie KEC, Baguelin M, Bhatt S, Boonyasiri A, Brazeau NF, Cattarino L, Cooper LV, Coupland H, Cucunuba ZM, Cuomo-Dannenburg G, Dighe A, Djaafara BA, Dorigatti I, Eales OD, van Elsland SL, Nascimento FF, FitzJohn RG, Gaythorpe KAM, Geidelberg L, Green WD, Hamlet A, Hauck K, Hinsley W, Imai N, Jeffrey B, Knock E, Laydon DJ, Lees JA, Mangal T, Mellan TA, Nedjati-Gilani G, Parag KV, Pons-Salort M, Ragonnet-Cronin M, Riley S, Unwin HJT, Verity R, Vollmer MAC, Volz E, Walker PGT, Walters CE, Wang H, Watson OJ, Whittaker C, Whittles LK, Xi X, Ferguson NM, Donnelly CA. (2021). Reduction in mobility and COVID-19 transmission. *Nat Commun*. 2021 Feb 17;12(1):1090. doi: 10.1038/s41467-021-21358-2. PMID: 33597546; PMCID: PMC7889876.
- PEN. (2020). Informe Estado de la Nación de 2020. Capítulo 7: Patrones de la movilidad en tiempos de pandemia: una aproximación con técnicas del “big data”. San José: Programa Estado de la Nación, Consejo Nacional de Rectores
- Satyakti, Y. (2020). Do Human Restriction Mobility Policy in Indonesia Effectively Reduce the Spread of COVID-19. *SSRN Electronic Journal*, 101911. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3654553>