



WORLD
RESOURCES
INSTITUTE

WRI ROSS CENTER FOR
SUSTAINABLE
CITIES

DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE PARA LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD A 50 KM/H EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI

30 de septiembre de 2020



Agradecimientos

Este informe ha sido posible gracias a la financiación de Bloomberg Philanthropies, bajo la Iniciativa Bloomberg por la Seguridad Vial Global (BIGRS, por sus siglas en inglés). WRI Ross Center for Sustainable Cities también agradece todo el apoyo y la coordinación prestada por la Secretaría de Movilidad de Santiago de Cali (SMC).



Tabla de contenido

DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE PARA LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD A 50 KM/H EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI	1
RESUMEN EJECUTIVO	6
PUNTOS POR DESTACAR	6
PANDEMIA	7
ANÁLISIS ECONÓMICO	7
HALLAZGOS PRINCIPALES	7
ANTECEDENTES	8
DIAGNÓSTICO	10
ANÁLISIS ESTADÍSTICO SANTIAGO DE SANTIAGO DE CALI (DATOS 2017-2019)	11
<i>Matriz de interacciones</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<i>Riesgo relativo</i>	13
<i>Gravedad</i>	14
<i>Sexo y edad</i>	15
<i>Análisis por tipo de vía</i>	16
SINIESTRALIDAD ANTES Y DURANTE PANDEMIA	17
<i>Composición vehicular en pandemia</i>	19
ANÁLISIS GEOGRÁFICO	22
SINIESTRALIDAD Y VELOCIDAD	23
VELOCIDAD EN SANTIAGO DE CALI	26
RELACIÓN ENTRE LOS INDICADORES	28
<i>Velocidad en pandemia</i>	33
VELOCIDADES PROMEDIO POR TIPO DE VEHÍCULO	36
IMPACTOS DE GESTIÓN DE VELOCIDAD EN SANTIAGO DE CALI	39
CÁMARAS	39
LÍMITE DE VELOCIDAD Y CONGESTIÓN EN SANTIAGO DE CALI	41
MODELOS DE MICROSIMULACIÓN	43
POTENCIAL DE VIDAS SALVADAS EN SANTIAGO DE CALI CON LA GESTIÓN DE VELOCIDAD	45
DATOS Y METODOLOGÍA	46
<i>Siniestralidad</i>	46
<i>Velocidad</i>	48
RESULTADOS EN CORREDORES	50
PRIORIZACIÓN SEGMENTOS CORREDOR CRÍTICO	53
RESULTADOS A NIVEL CIUDAD	53



ANÁLISIS ECONÓMICO.....	54
COSTOS DIRECTOS Y EN BIENESTAR DE LA SINIESTRALIDAD.....	55
BENEFICIOS Y COSTOS ECONÓMICOS DE LA GESTIÓN DE VELOCIDAD.....	59
CONCLUSIONES	62
ANEXOS.....	64
ANEXO 1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	64
<i>Cambios en el potencial de la gestión de velocidad de salvar vidas</i>	<i>64</i>
<i>Cambios en la metodología del valor estadístico de la vida.....</i>	<i>65</i>
ANEXO 2. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE SEÑALES EN BOGOTÁ.....	66
ANEXO 3. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE SEÑALES AV. SUR-ORIENTAL.....	67
TRABAJOS CITADOS.....	68

Lista de Figuras

Figura 1 Tasa de fatalidades por 100.000 habitantes en ciudades con más de un millón de habitantes (2019).....	11
Figura 2 Total de fatalidades por siniestros viales por año	12
Figura 3 Distribución de fatalidades por modo (2017-2019).....	13
Figura 4 Matriz de interacción de fatalidades 2017-2019.....	13
Figura 5. Tasa de fatalidades por cada 1.000.000 viajes en cada modo.....	14
Figura 6 Nivel de severidad (fatalidades / víctimas) por modo y hora (2017-2019)	15
Figura 7 Pirámide de fatalidades por modo según sexo y edad (2017-2019)	16
Figura 8 Distribución de fatalidades según tipología vial (2017-2019)	17
Figura 9 Total de víctimas y fatalidades para promedio 2017-2019 y 2020.....	18
Figura 10 Nivel de severidad entre promedio 2017-2019 y 2020 (total).....	19
Figura 11 Composición vehicular en las ubicaciones con cámara	20
Figura 12 Distribución de registro antes y durante la pandemia en Santiago de Cali	21
Figura 13 Cantidad de vehículos registrados por mes en Santiago de Cali y alrededores para 2019 y 2020.....	21
Figura 14 Distribución geográfica de fatalidades Santiago de Cali- Pandemia y 2017-2019.....	22
Figura 15 Puntos de alta concentración de víctimas en las vías con altas velocidades-Pandemia y 2017-2019	23
Figura 16 Cantidad de siniestros fatales y con víctimas por hora en la ciudad de Santiago de Cali (2017-2019)	24
Figura 17 Siniestros con víctimas (2017-2019) y viajes en un día típico (2015).....	25
Figura 18 Tasa de víctimas por viaje en modos vulnerables y total por hora en Santiago de Cali	25
Figura 19 Explicación de la velocidad promedio y límite.....	29
Figura 20 Explicación de cambio en la curva de velocidades promedio y velocidad límite.....	30
Figura 21 Distribución de velocidades en Santiago de Cali por tipo de vehículo	31
Figura 22 Relación entre velocidad promedio y cumplimiento del límite de velocidad deseado .32	



Figura 23 Evolución velocidad promedio	33
Figura 24 Velocidad promedio por mes	34
Figura 25 Distribución horaria de velocidades promedio-Pandemia y 2019	35
Figura 26 Porcentaje de vehículos con velocidades superiores a 50 km/h	36
Figura 27 Velocidad promedio por tipo de vehículo y período.....	37
Figura 28 Tipo de Vehículo detectado por las cámaras.	38
Figura 29 Identificación de placas por tipo de vehículo	39
Figura 30 Ubicación de las cámaras de velocidad	40
Figura 31 Velocidad horaria a partir de datos de las cámaras de velocidad	41
Figura 32 Relación entre el flujo y la velocidad de la vía. V_l = velocidad a flujo libre; V_m = mitad de la velocidad de flujo libre; q_m = flujo máximo u óptimo de la vía.	43
Figura 33 Tiempos de viaje promedio en hora de máxima demanda, según límite máximo de velocidad.....	44
Figura 34 Cambio en la velocidad promedio según formula de Greibe, 2005	46
Figura 35 Siniestros con víctimas georreferenciados en la red arterial de Santiago de Cali 2017-2019.....	47
Figura 36 Relación entre la velocidad antes de gestión de velocidad y la estimada después según las distribuciones de velocidad en Santiago de Cali	48
Figura 37 Velocidades promedio corredores priorizados	49
Figura 38. Velocidades promedio diferenciadas entre día y noche para corredores priorizados.	50
Figura 39 Tasa de siniestralidad en corredores priorizados.....	51

Lista de Tablas

Tabla 1 Velocidad promedio global.....	32
Tabla 2 Promedio de siniestros antes de las cámaras de velocidad (2010-2011) y después (2014-2019)	39
Tabla 3 Tiempos de viaje promedio y su diferencia entre escenarios, según límite máximo de velocidad.....	44
Tabla 4 Longitud, siniestralidad y velocidad en los diez corredores con mayor cantidad de víctimas reportadas.....	52
Tabla 5 Cambio potencial en velocidad y víctimas en cada corredor seleccionado	53
Tabla 6 Estimación de un análisis de sensibilidad del impacto	54
Tabla 7 Pérdidas directas y en bienestar asociados a la siniestralidad	54
Tabla 8 Beneficios de la gestión de la velocidad en la red arterial de la ciudad y en los diez corredores priorizados y análisis costo-beneficio de la gestión de la velocidad en los diez corredores priorizados.....	55
Tabla 9 Pérdidas en bienestar asociados a la siniestralidad	56
Tabla 10 Costos directos de los siniestros con muertos y heridos.....	57
Tabla 11 Pérdidas directas asociadas a la siniestralidad	58
Tabla 12 Pérdidas directas y en bienestar asociados a la siniestralidad	59
Tabla 13 Beneficios de la gestión de la velocidad en la red arterial de la ciudad.....	60



Tabla 14 Análisis costo-beneficio de la gestión de la velocidad en los diez corredores priorizados	61
Tabla 12 Beneficios esperados de la gestión de velocidad.....	64
Tabla 13. Costos de implementación de señales (señal vertical, horizontal y remoción de señales antiguas). Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá.....	66
Tabla 14 Costos de implementación de señales. Fuente: Secretaría de Movilidad de Cali.....	67



RESUMEN EJECUTIVO

Entre los años 2017 y 2019 cerca de 1.000 personas perdieron la vida por causa de los siniestros viales en la ciudad de Santiago de Cali, siendo los jóvenes entre los 20-29 años de edad el grupo etario más afectado (21% del total de fatalidades). La gran mayoría de los siniestros fatales suceden en los corredores arteriales (78%), que tan sólo compone el 14% de la malla vial de la ciudad. Además, en el 70% de los casos se ve involucrada una motocicleta, que, a su vez, es el vehículo con mayor registro de exceso de velocidad en la ciudad.

La velocidad ha sido documentada como uno de los principales factores de riesgo de los siniestros viales a nivel mundial, y es sin duda, una de las razones principales para la ciudad de Santiago de Cali. En el ejercicio de conocer cuántas vidas se podrían salvar si la ciudad reduce sus límites de velocidad a 50 km/h, los datos arrojan cifras de más de 199 vidas salvadas en tres años, que traduce a una cifra mayor a la planteada en la Programa Local de Seguridad Vial 2018-2021 (PLSV) que busca reducir la siniestralidad por año en 7,65%.

Asimismo, mientras la ciudad de Santiago de Cali acoge el enfoque de sistema seguro, la gestión de velocidad adquiere una mayor importancia para reducir a cero las lesiones graves y las muertes por incidentes de tráfico y brindarle seguridad a modos sostenibles de transporte. Tomando los datos georeferenciado de las fatalidades en la ciudad, no existe un clúster de puntos críticos definido, lo cual significa que, los incidentes están dispersos. Por lo cual, es necesario pensar en una estrategia a nivel ciudad. Por tal razón, se busca que la ciudad entera se acoja a las recomendaciones de la Organización Mundial de Salud (OMS) de 50 km/h como velocidad máxima en zonas urbanas con el propósito de reducir las fatalidades y lesiones graves por causa de siniestros viales y cumplir con la meta establecida dentro del PLSV.

Puntos por destacar

- El año 2019 cerró con una tasa de 13,8 fatalidades por 100.000 habitantes, igualando la tasa nacional (13,8), doblando la de Bogotá (6,7) y 1.4 veces la tasa de Medellín.
- En los últimos tres años el 96% de fatalidades de la ciudad de Cali han sido de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas). En Colombia, en el año 2019, el porcentaje alcanzó el 86%. Como se comentó, las motocicletas han estado involucradas en



aproximadamente 70% de los siniestros fatales – resalta que la gran mayoría de las fatalidades son jóvenes entre los 20 y 29 años de edad.

- Las motos presentan una mayor velocidad promedio y el menor porcentaje de identificación ante las cámaras (42%).
- Para el caso de Santiago de Cali, el 78% de fatalidades ocurren en las vías arteriales de la ciudad, que a su vez equivalen a un 14% del total de la red vial urbana.
- Para toda la ciudad, el promedio de velocidad general es de 30,6 km/h - en ubicaciones donde se encuentran las cámaras de monitoreo.
- Se estima que el 5% de los vehículos exceden la velocidad de 50 km/h en ubicaciones donde se encuentran instaladas las cámaras de monitoreo de velocidad.

Pandemia

- En las últimas semanas del mes marzo y el mes de abril se observa un incremento importante de la velocidad, pasando de un promedio de 30,4 km/h a 31,9 km/h, una diferencia estadísticamente significativa en las ubicaciones monitoreadas. Estas mediciones toman en cuenta un sesgo comportamental producido por la presencia de cámaras de detección de velocidad, que ocasionan que los conductores moderen sus velocidades de circulación sobre las ubicaciones monitoreadas al saberse vigilados (ver sección Velocidad en Santiago de Cali en página 26).
- En un día de pandemia, el porcentaje de vehículos que exceden la velocidad de 50 km/h en ubicaciones monitoreadas puede llegar a ser del 10%.
- Durante la pandemia se redujo el número de víctimas y fatalidades, comparado con años anteriores. Sin embargo, la severidad¹ en los siniestros de tránsito aumentó hasta en un 80% en el mes de abril (uno de los meses de mayor restricción).

Análisis económico

- Se estima que, en 2019, los muertos y heridos en siniestros viales significaron para la ciudad pérdidas económicas directas y en bienestar cercanas COP \$1,167 billones de pesos, equivalentes al 2,8% del PIB de la ciudad.
- Los beneficios económicos de gestionar la velocidad en los diez corredores con mayor siniestralidad de la ciudad son 7 veces mayores a los costos de implementación de estas medidas.

Hallazgos principales

- La alta distribución de fatalidades de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) y la elevada cifra de involucramiento de las motocicletas en siniestros fatales, son evidencia clara para promover estrategias sólidas de seguridad vial, como la gestión de la velocidad.
- Durante la pandemia, se observó cambio modal hacia la motocicleta, modo que tiene el mayor riesgo de fatalidad por viaje realizado y que registra las mayores velocidades en Santiago de

¹ La severidad considerada como la relación entre víctimas fatales y total de víctimas (fatalidades más lesionados)



Cali.

- Antes de la pandemia, no había zonas con concentraciones de siniestros estadísticamente significativas en las vías arteriales. Lo que implica que los registros de víctimas son geográficamente dispersos en la ciudad. Esto es importante porque las acciones a llevar a cabo dentro de una adecuada gestión de velocidad deben ser **estrategias globales y que abarquen la totalidad de la ciudad** realizada a partir de acciones prioritarias y en diferentes etapas.
- Usando una velocidad promedio, durante todo el día y todos los sentidos, de 40,4 km/h antes y una velocidad de 36,5 km/h después, se estima que se **reduciría la cantidad** de heridas en un 18,2% y de fatalidades en un 30,5% en toda la ciudad, lo que es equivalente a **2,587 heridas y 199 fatalidades menos, la reducción estimada va a ser superior a la meta del PLSV del 7.65% anual de víctimas.**

ANTECEDENTES

Los accidentes de tráfico cobran 1,35 millones de vidas cada año y son la principal causa de muerte de niños y adultos jóvenes de entre 5 y 29 años (OMS, 2018). La mitad de estas víctimas son usuarios vulnerables de la vía, peatones, ciclistas y motociclistas (OMS, 2018). Casi la mitad de las fatalidades de tránsito ocurren en las ciudades y un porcentaje aún mayor de las lesiones graves en zonas urbanas (Dimitriou y Gakenheimer 2012; European Commission 2013, en (WRI, 2016)).

La velocidad es el factor de riesgo más importante para reducir de forma significativa las víctimas viales; las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que el límite de velocidad seguro para las ciudades sea de 50 km/h y 30 km/h en los lugares donde los peatones y los vehículos de motor interactúan (OECD/ITF, 2018); (OMS, 2018). Además, existe una amplia literatura que resalta la importancia de una adecuada gestión de velocidad en las ciudades para reducir las víctimas y las fatalidades por siniestros de tránsito. La velocidad aumenta la probabilidad de verse involucrado en un accidente de tráfico y la gravedad del mismo (Islam, El-Basyouny, & and Ibrahim, 2014); (OECD/ITF, 2018)). Una reducción del 15% en la velocidad promedio de una carretera puede resultar en una reducción del 45% de las muertes (Greibe, 2005). Es un tema de anatomía y de física: el cuerpo humano no está diseñado para resistir golpes fuertes, y los golpes son proporcionales al cuadrado de la velocidad. Por eso un atropello a 30 km/h resulta en muerte el 15 por ciento de las veces, y un atropello a 50 km/h resulta en muerte 85 por ciento de las veces, y a 60 km/h el 99 por ciento de las veces (Hidalgo, 2020). Lograr reducciones en la velocidad de los vehículos motorizados también se considera una de las políticas gubernamentales más importantes para fomentar la caminata y el ciclismo (Pucher & and Buehler, 2010) mejorar el bienestar social (Nitzsche & and Tsharakschiew, 2013) y mejorar los niveles de calidad del aire debido a la reducción de emisiones (Baldasano, 2010).

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) de las Naciones Unidas, el objetivo 3- "Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades", tiene como un



objetivo específico reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo. Si bien el objetivo no ha logrado los resultados esperados para el año 2020, la Conferencia Ministerial realizada en febrero del año actual, pactó una nueva meta de reducir los muertos y lesionados por tráfico en al menos 50% para el año 2030, que se sustenta bajo la resolución y acuerdo firmado en agosto del presente año. Dentro de [la Declaración de Estocolmo](#), documento que se pacta a partir del encuentro, se reconoció la importancia de promover la seguridad vial, por medio de un enfoque de sistema seguro y Visión Cero, asegurar una agenda política comprometida en temas de seguridad vial, un cambio de modal de automóviles a transportes más seguros y activos, entre otros. Cabe resaltar que el tema de velocidad también hace parte de la declaración y enfatiza una cero tolerancia al exceso de velocidad y velocidades de 30 km/h en zonas urbanas donde los usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas²) y vehículos interactúan en el mismo lugar. Señalando que, además, la reducción de la velocidad tiene efectos en calidad del aire y el cambio climático, además de ser un factor fundamental en la reducción de heridos y fatalidades por siniestros viales (Declaración de Estocolmo, 2020).

Con esta nueva agenda de la seguridad vial de las Naciones Unidas, no sólo se reconoce la importancia de los sistemas seguros sino el rol fundamental de la gestión de la velocidad, que en esencia no se puede entender uno sin el otro. Según la OMS, una gestión eficaz de la velocidad es fundamental para la mayoría de las estrategias de intervención de seguridad vial (OMS, 2018). Los países que han adoptado un enfoque de sistema seguro han reducido los siniestros viales de manera más rápida y con mejores resultados de aquellos que aún no lo han adoptado, según un estudio realizado en 53 países (WRI, 2018); por lo cual, no es una sorpresa que varios países hayan volcado sus políticas hacia el enfoque de sistema seguro y la adecuada gestión de velocidad.

En París, la ciudad está adaptando todas las zonas urbanas a 30 km/h, Helsinki, por su parte, ya cuenta con límites de velocidad de 30 km/h en la mayoría de sus vías; otros ejemplos son San Pablo, Brasil, donde la reducción de velocidad mostró resultados positivos, lo mismo para Toronto. Chile por su lado, realizó una política nacional “Ley de Convivencia Vial” para establecer los límites de velocidad de 60 km/h a 50 km/h en las zonas urbanas; y España está en proceso una ley para que todas sus ciudades tengan un límite máximo de 30 km/h.

A nivel nacional, la ciudad de Bogotá ya cuenta con su propio decreto 126 de mayo de 2020 por el cual se reglamenta el límite de velocidad en toda la ciudad a 50 km/h. En el 2018, Bogotá lanzó su Programa de Gestión de Velocidad (PGV) donde inicialmente hizo intervenciones en 10 corredores arteriales para reducir velocidad de 60km/h a 50km/h. Desde el primer año de la implementación del PGV en Bogotá ya se veían resultados positivos. Para octubre de 2019, con la implementación de los primeros 10 corredores, Bogotá tuvo una reducción del 26% en las muertes en comparación con los tres años anteriores, habiendo salvado al menos 39 vidas en un año (Movilidad Bogotá, 2018). Según los datos de la Secretaría de Movilidad de Bogotá (2020), la

² Se clasifican actores vulnerables aquellos usuarios que no cuenta con protección de impacto.



velocidad en la ciudad le representó a la ciudad un ahorro de aproximadamente USD\$12.6 millones de dólares en costo de salud, daños de propiedad, costos administrativos y sociales.

Por su parte, la ciudad de Santiago de Cali también identifica la necesidad de gestionar la velocidad; en el Plan Local de Seguridad Vial 2018-2021 se plantea una acción para gestionar la velocidad con el objetivo de reducir las siniestralidades en un 7.65% anualmente. Dentro del pilar estratégico de infraestructura, se definió una acción que tiene como objetivo “elaborar y reglamentar las velocidades en los corredores de la red vial urbana de la ciudad, adoptando criterios técnicos que permitan la definición metodológica unificada de la velocidad límite en los sectores o tramos viales de la ciudad, teniendo en cuenta un claro entendimiento de la señalización de velocidad por parte del ciudadano, las condiciones del entorno y la seguridad vial de todos los actores” (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018).

Aún mientras varias ciudades del mundo ven los beneficios del enfoque de sistema seguro y de la gestión de la velocidad, existe resistencia por parte de algunos ciudadanos que cree que el reducir la velocidad tiene efectos en los tiempos de viaje. No obstante, hay varios estudios que comprueban lo contrario. En Australia la reducción de la velocidad de 60 m/h a 50 m/h tuvo un impacto mínimo en los tiempos de viaje y grandes beneficios para la sociedad como resultado de la reducción de accidentes de tránsito mayores (Archer, Fotheringham, Symmons, & and Corben, 2008). En el caso de Bogotá, los estudios realizados, comprobaron que reducir los límites de velocidad no tenían un impacto negativo en la congestión vehicular en horas de alta demanda-en el caso más extremo el tiempo de viaje incrementó por 14 segundos-, e incluso, la gestión de velocidad podría mejorar el flujo vehicular (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019).

Además de los resultados positivos de salvar vidas con la reducción de la velocidad, alrededor del mundo las ciudades se vuelcan hacia una movilidad sostenible. La gestión de velocidad adquiere un rol primordial y fundamental en este nuevo enfoque urbano, ya que garantiza la protección y la integridad de quienes deciden desplazarse en medios más sostenibles. La gestión de velocidad tiene como objetivo proteger las vidas de los actores viales a través de definir una velocidad adecuada, a través de un análisis de contexto, uso y diseño de las vías. Por esa misma razón se adhiere a las velocidades recomendadas por la OMS de máximo 50 km/h en corredores arteriales y 30 km/h en lugares de alto flujo de peatones y ciclistas.

DIAGNÓSTICO

Desde el contexto nacional, solo en Colombia en el año 2019 murieron 6,826 personas en siniestros viales, el 86 por ciento eran usuarios vulnerables de la vía (54 por ciento en moto, 26 por ciento a pie, 6 por ciento en bicicleta) (Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2019). De las fatalidades reportadas, 917 ocurrieron en el Valle del Cauca, siendo el segundo departamento en Colombia con mayores fatalidades (lo supera Antioquía con sólo 8 fallecimientos más); en el 2018, el Valle de Cauca obtuvo el primer lugar con 972 fallecimientos reportados. Si bien, el número bajó de un año al otro, el departamento se encuentra muy por encima del resto de Colombia;



haciendo un análisis de los primeros departamentos con siniestros que resultan en fallecimientos para el año 2018, Santander se encuentra en quinto lugar con 309, lo sigue Cundinamarca con 494, Bogotá con 527, Antioquia con 842 y el Valle del Cauca con 972; es decir más de 3 veces los fallecimientos presentados en Santander (Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2019).

Análisis estadístico Santiago de Santiago de Cali (datos 2017-2019)

En el contexto nacional, Cali es la ciudad con mayor tasa de fatalidades por 100.000 habitantes entre ciudades de más de un millón de habitantes. Teniendo en cuenta las cifras de fatalidades y las proyecciones de población DANE, **el año 2019 cerró en Cali con una tasa de 13,8 fatalidades por 100.000 habitantes, igualando la tasa nacional (13,8) y doblando la de Bogotá (6,7).**

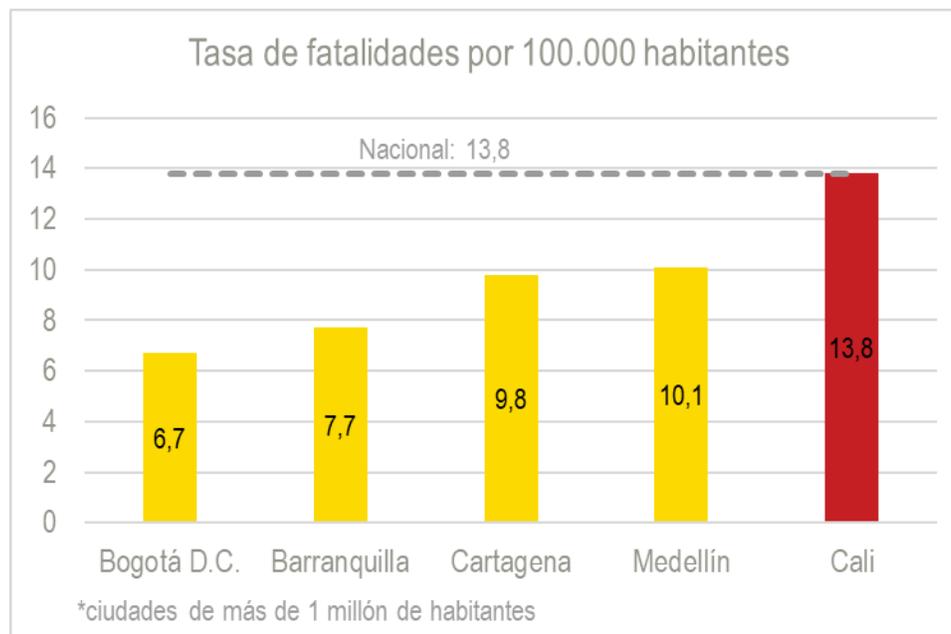


Figura 1 Tasa de fatalidades por 100.000 habitantes en ciudades con más de un millón de habitantes (2019)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad Cali, Secretaría Distrital de Movilidad, Agencia Nacional de Seguridad Vial, DANE, 2020

Entre los años 2017 y 2019 cerca de 1.000 personas perdieron la vida en Cali por causa de los siniestros viales. Entre los años de análisis, el año más crítico fue el 2018³, con 352 fatalidades,

³ Año que se presenta en la ciudad el Plan Local de Seguridad Vial 2018-2021 donde está estipulada como meta tener una reducción anual en víctimas fatales equivalente al 7,65%.



posteriormente para el 2019 se logró una reducción importante del 12%, llegando a 309 víctimas mortales.



Figura 2 Total de fatalidades por siniestros viales por año
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

De manera general, la gran mayoría de estas muertes corresponden a personas circulando a pie (43%) y en moto (42%). Adicionalmente, al tener en cuenta a los ciclistas que fallecieron en las vías de la ciudad (10%), se abarca el 96% del total (ver Figura 3).

Matriz de interacciones

Cuando se revisa la matriz de interacción para los siniestros fatales, surgen hallazgos interesantes a considerar. Más del 50% de los peatones fallecidos fueron atropellados por motociclistas, cerca del 20% por conductores de carro, y el 10% por buses y camiones. En el caso de usuarios de moto fallecidos, el 38% se reportaron como siniestros de un solo vehículo (evento por caída, por colisión con objeto fijo, etc.), seguido por siniestros con carro (28%), y vehículos pesados (17%) (ver Figura 4).

Al ver los modos adicionales que interactúan en el siniestro fatal (en sentido de las columnas en la Figura 4), se evidencia a la moto en la primera casilla, con participación en cerca de un tercio de las fatalidades para el periodo de tiempo en análisis, seguido de los carros con 24%.



En otras palabras, **de las 984 fatalidades presentadas en el periodo de análisis, 675 tuvo involucramiento de al menos una moto, lo que equivale a casi un 70%** de todas las fatalidades en la ciudad de Santiago de Cali.

DISTRIBUCIÓN DE FATALIDADES POR USUARIO (2017 - 2019)

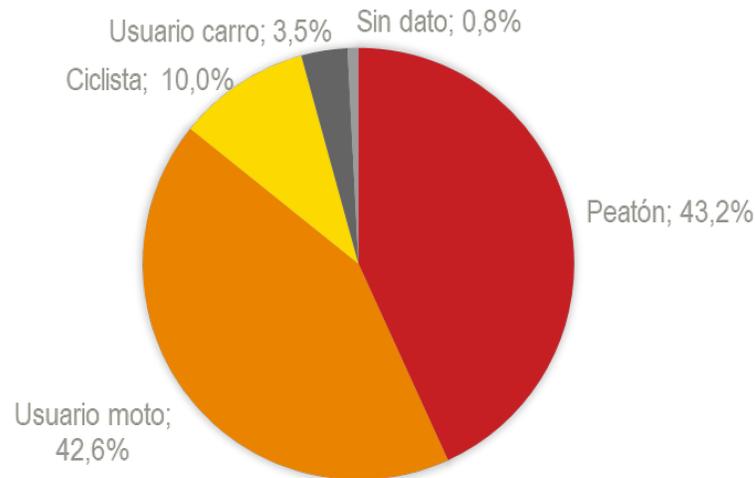


Figura 3 Distribución de fatalidades por modo (2017-2019)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Modo de víctima	Modo adicional interactuando en el siniestro								Total general
	Moto	Bicicleta	Carro	Bus	Camión	Un solo vehículo	Más de 2 vehículos	Sin dato	
Peatón	217	0	89	33	11	0	2	73	425
Moto	38	3	116	40	32	159	4	27	419
Bicicleta	38	0	24	9	11	3	0	13	98
Carro	1	0	8	2	1	18	0	2	32
Bus	0	0	0	1	0	1	0	0	2
Sin dato	0	0	0	1	0	0	0	7	8
Total general	294	3	237	86	55	181	6	122	984

Figura 4 Matriz de interacción de fatalidades 2017-2019
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Riesgo relativo

A continuación, se presenta la tasa de víctimas por viaje. La cantidad de víctimas fatales se obtuvo de la base oficial provista por el Observatorio de la Secretaría de Movilidad de Santiago de Cali y



la cantidad de viajes en un día típico proviene de la Encuesta de Movilidad de Santiago de Cali (2015). En la Figura 5 se muestra la tasa de víctimas por cada 10.000.000 viajes reportados para hacer una estimación del riesgo de cada modo y relativo a los otros. De esta forma, se puede observar que **la motocicleta es el modo con mayor riesgo de todos por cada viaje realizado con 5,9 víctimas fatales cada 10.000.000 viajes en este vehículo. Lo sigue la bicicleta con 4,6 y caminar con 3,3.** Esto implica que **cada viaje que se realiza en motocicleta es 9 veces más riesgoso que uno en carro; en bicicleta es 7 veces más riesgoso, y a pie 5 veces más riesgoso que los viajes realizados en vehículos de 4 ruedas.**



Figura 5. Tasa de fatalidades por cada 1.000.000 viajes en cada modo.
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Si bien los elevados valores de riesgo asociado a peatones y ciclistas, podría estar relacionado con una subestimación de la cantidad de viaje en estos modos de transporte, los resultados obtenidos en este análisis permiten vislumbrar la importancia de dirigir estrategias encaminadas a brindar seguridad a los modos de transporte vulnerables. En este caso, la disminución del límite de velocidad se vería reflejada en la disminución del riesgo relativo de todos los actores viales, principalmente de los más vulnerables.

Gravedad

Un buen indicador para ver la relación entre las fatalidades y las víctimas es el nivel de severidad. Para el caso de Santiago de Cali, los picos más altos de severidad se encuentran entre 1:00 am – 5:00 am, indicando que, al presentarse un siniestro con víctima, hay una probabilidad mayor de que dicha víctima sea fatal. Particularmente de 4:00 am – 5:00 am se tienen los picos más representativos para la severidad en ciclistas (40%), peatones (30%) y todos los modos (14%). Para el caso de los usuarios de moto los picos mayores suceden de 1:00 am – 2:00 am y 3:00 am



– 4:00 am (ambos periodos con un nivel de severidad de 18%). En las horas nocturnas y las horas de madrugada es más proclive observar excesos de velocidad ya que las vías a estas horas están mucho más despejadas.

Adicionalmente, es importante mencionar que, a lo largo de casi todas las 24 horas del día, los peatones presentan un mayor nivel de severidad, respecto a la línea de severidad de todos los modos. Esto deja en evidencia la potencial vulnerabilidad que presentan los peatones y su alto riesgo de fallecer ante un siniestro con víctimas.

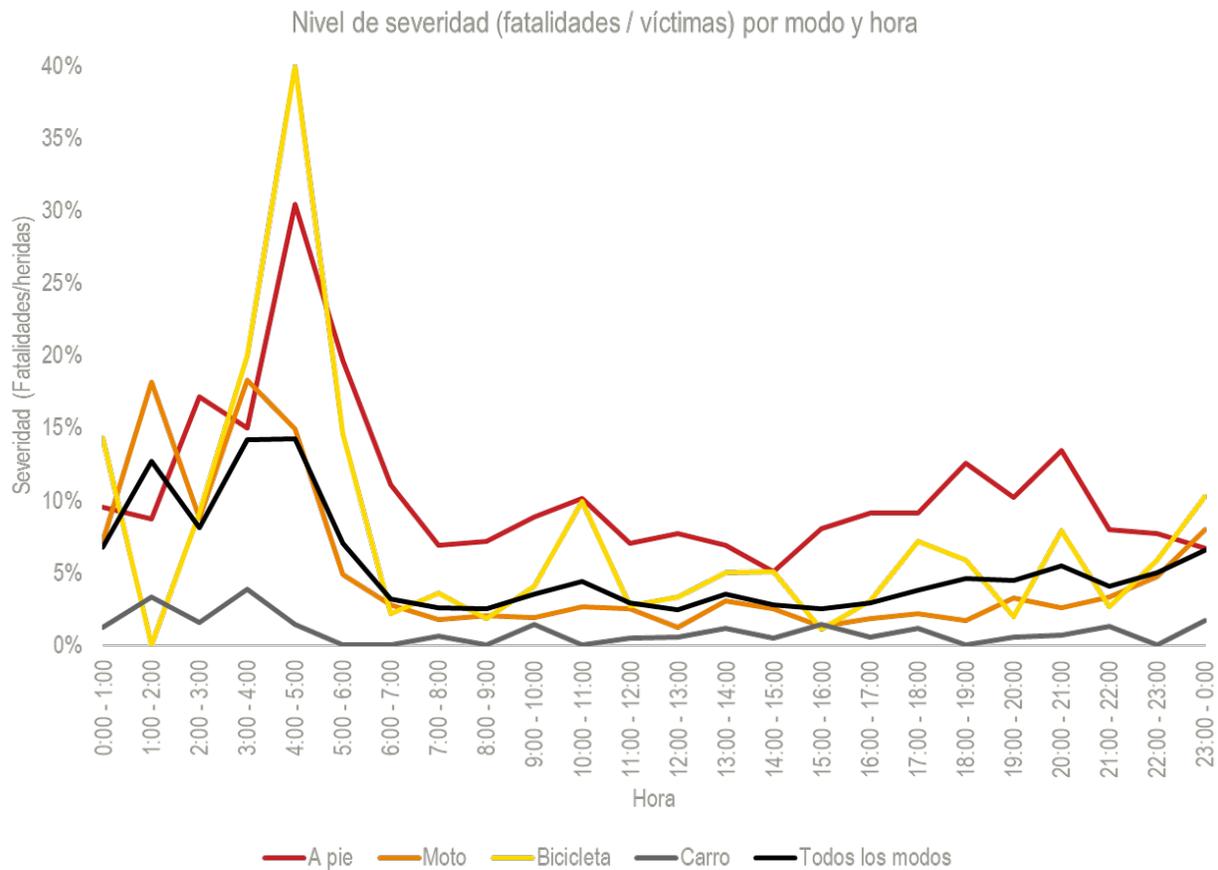


Figura 6 Nivel de severidad (fatalidades / víctimas) por modo y hora (2017-2019)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Sexo y edad

Al hacer una caracterización general de las víctimas que resultaron muertas por causa de los siniestros viales, se presenta la distribución del porcentaje de fatalidades teniendo en cuenta modo de transporte, sexo y edad de la víctima. Es importante resaltar que por cada 10 fatalidades en el tránsito 8 son hombres y 2 son mujeres. Además, **se aprecia que los picos de fatalidades en usuarios de motos se encuentran entre los 20 y 29 años de edad** y va disminuyendo conforme se aumenta el rango etario. En el caso de los peatones se percibe una tendencia inversa, en la que los valores más bajos se encuentran dentro de los primeros rangos



etarios (los jóvenes), y las fatalidades van en aumento conforme se asciende en los rangos etarios. De la misma manera se observa que las mujeres fallecidas después de los 60 años eran casi en su totalidad peatonas.

En la distribución presentada la mayor cantidad de fatalidades se concentra en hombres entre los 20 y 29 años que se movilizaban en moto (14,9% del total de víctimas fatales). Seguidamente, con poco **más del 7% fallecen peatonas entre los 70 y 79 años del género masculino, y viendo la misma distribución en el caso de las mujeres se llega a casi 4%, representando el grupo más crítico para ellas.**

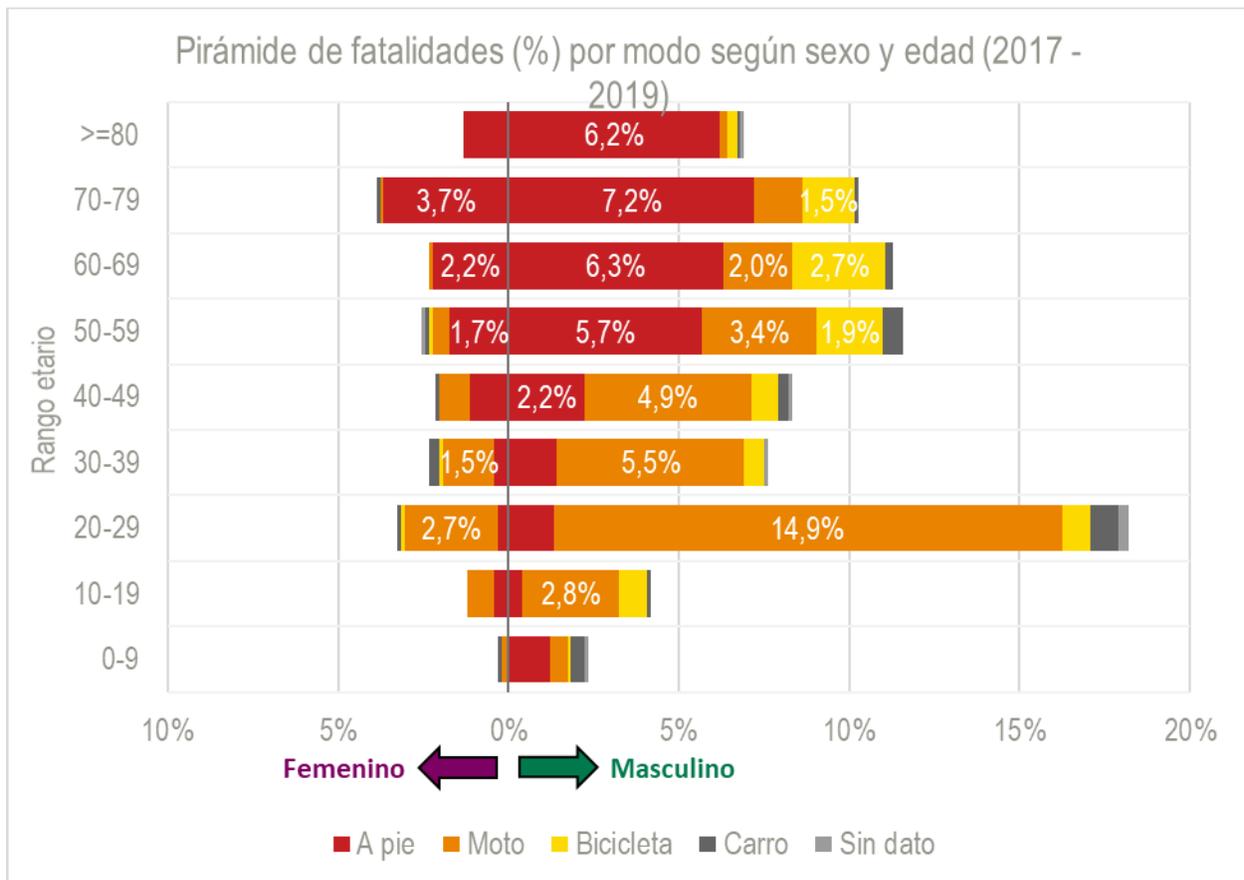


Figura 7 Pirámide de fatalidades por modo según sexo y edad (2017-2019)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Análisis por tipo de vía

Con la georreferenciación de los siniestros fatales es posible determinar la distribución de las fatalidades según la jerarquización vial. Para el caso de Santiago de Cali, **el 78% de fatalidades ocurren en las vías arteriales de la ciudad, que a su vez equivalen a un 14% del total de la red vial urbana.** Las vías colectoras y las locales cada una tienen un 11% de fatalidades,



pero las primeras conforman el 7% de la red vial, y las segundas el 79%⁴.

Este resultado permite acotar que en las vías arteriales se presentan la mayoría de víctimas fatales por el tránsito, aunque apenas conforman el 14% de la red vial. Además, en las vías arteriales es donde se desarrollan las velocidades más altas en la malla vial, por varios factores, entre ellos su diseño geométrico. Por consiguiente, **se encuentra una relación directa entre los excesos de velocidad y la alta proporción de fatalidades en las vías arteriales de la ciudad de Santiago de Cali**. Lo anteriormente mencionado refleja la necesidad de priorizar los corredores arteriales en el momento de implementar medidas de gestión de la velocidad.

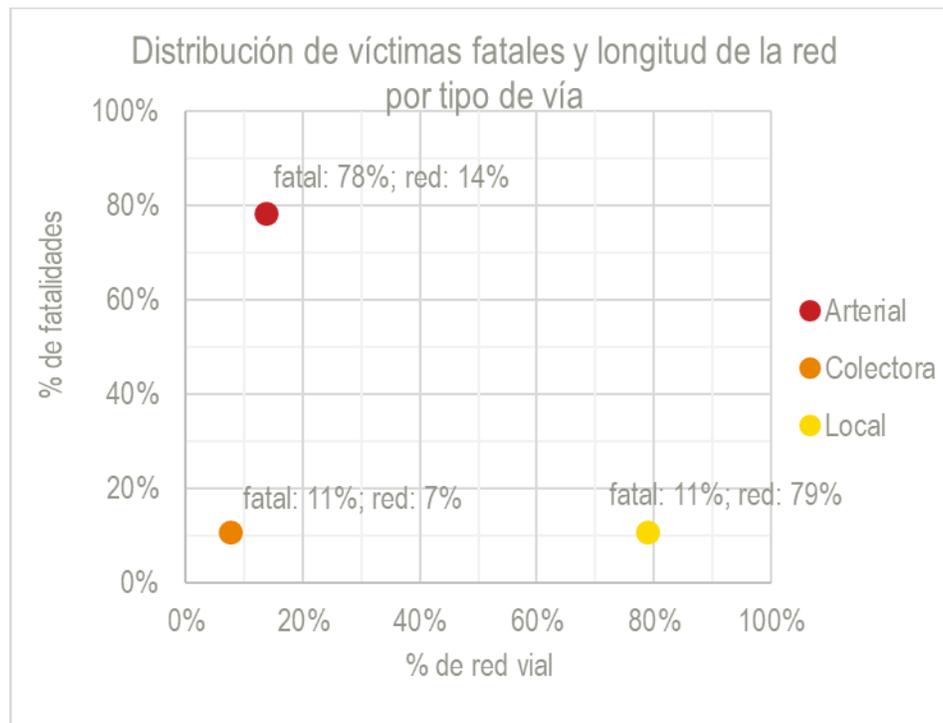


Figura 8 Distribución de fatalidades según tipología vial (2017-2019)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Siniestralidad antes y durante pandemia

Para poder comparar los datos de siniestralidad antes y durante pandemia se decidió emplear los promedios entre los años 2017 y 2019 (periodo pre-pandemia) y los datos del año 2020 (periodo durante pandemia). Ambos periodos entre los meses de enero y junio.

La gráfica de víctimas mensuales para el periodo pre-pandemia muestra una tendencia fluctuante entre 531 y 588 víctimas en promedio para los años 2017 a 2019. En el caso del número de víctimas mensuales durante pandemia es evidente una pronunciada caída en el mes de marzo y abril. Este

⁴ Las cifras corresponden a los datos reportados, existe la posibilidad que ciertos siniestros no hayan sido reportados a las autoridades competentes.



último fue el mes con menos víctimas reportadas, coincidiendo con la época donde mayor restricción de circulación hubo debido a la contingencia de la pandemia. Después de abril, en el año 2020 se aprecia como la curva vuelve a tener tendencia a incrementar el número de víctimas, esto asociado a que las restricciones de circulación fueron alivianándose en la ciudad.

Observando las fatalidades reportadas se tiene una fluctuación entre 23 y 29 víctimas fatales mensuales en periodo pre-pandemia. Por su parte, similar a lo que ocurre con la curva de las víctimas, en el año 2020 (durante pandemia), el número de fatalidades alcanza el punto mínimo en abril y en los meses siguientes tiende a aumentar paulatinamente.

Prestando especial atención al mes de abril, se tiene un cambio de 532 víctimas antes de la pandemia (promedio 2017-2019) a 129. Esto equivale a una reducción del **76% en la cantidad de víctimas** entre el promedio 2017-2019 y el 2020. Adicionalmente, en el caso de las fatalidades el cambio fue de 23 a 10, lo que es equivalente a una reducción del **57%** en la cantidad de fatalidades entre el promedio 2017-2019 y el 2020.

Teniendo en cuenta las restricciones definidas por el Gobierno Nacional y la Alcaldía de la ciudad de Santiago de Cali, a partir de la última semana de marzo el flujo vehicular y las dinámicas en las calles bajó drásticamente. Especialmente el mes de abril fue cuando se tuvo las restricciones más fuertes en la ciudad. Estas restricciones se vieron reflejadas en la disminución de la circulación vehicular en las calles de Santiago de Cali, y a su vez, trajo consigo una reducción del número de siniestros con víctimas y siniestros fatales. **Sin embargo, dado que la tasa de reducción de víctimas es más alta que la tasa de reducción de fatalidades, hay una tendencia al aumento de la severidad de los siniestros viales en la ciudad durante la pandemia.**

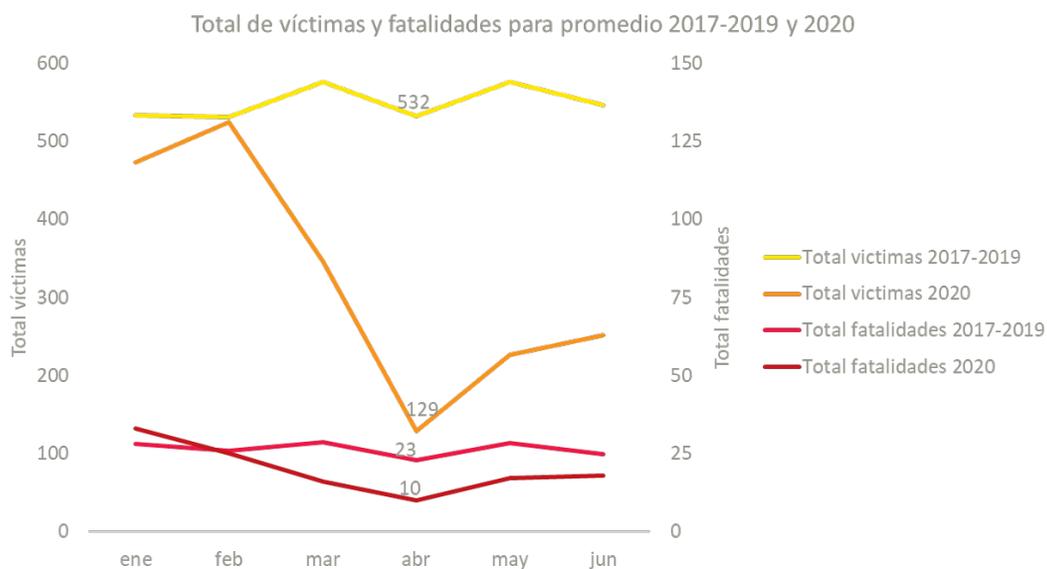


Figura 9 Total de víctimas y fatalidades para promedio 2017-2019 y 2020
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020



La severidad se define como la relación entre las víctimas fatales y el total de víctimas reportado para un determinado período de tiempo bajo análisis. Para el caso de Santiago de Cali, si bien se redujeron los números totales de víctimas y fatalidades con respecto al promedio de años anteriores, **hubo un notable aumento en la severidad, especialmente en los meses de abril, mayo y junio**. Esto quiere decir que **la probabilidad de que un siniestro con víctimas termine en fatalidad aumentó durante la pandemia**, y esto se asocia directamente con el hecho de que las vías se encontraban con menos tráfico era posible circular a mayor velocidad que la que correspondería a un día típico.

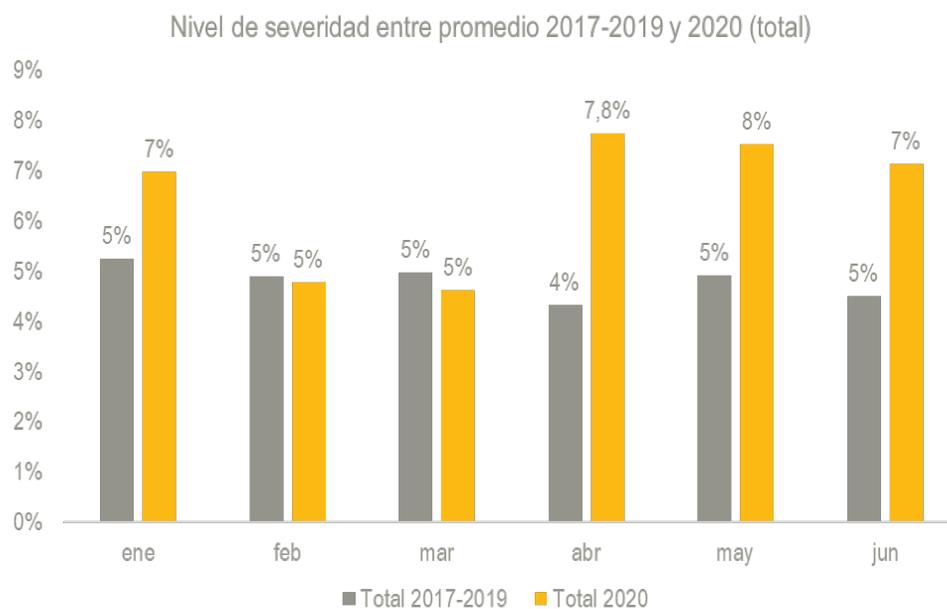


Figura 10 Nivel de severidad entre promedio 2017-2019 y 2020 (total)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

A partir del análisis, se pudo apreciar que la proporción de siniestros con víctimas que ocurrieron en vías arteriales aumentó de 66% a 69% en el periodo de la pandemia. Asimismo, **de los siniestros que contaban con georreferenciación, el 86% de las víctimas fatales ocurrieron en vías arteriales**.

Composición vehicular en pandemia

Durante la pandemia, la cantidad de registros de vehículos de las cámaras disminuyó en un 75%. Al mirar por tipo de vehículo registrado, se pudo observar que la cantidad de motocicletas registradas solo disminuyó en un 25% a pesar de que las actividades en los lugares de trabajo disminuyeron hasta un 70% en especial al inicio de la pandemia (COVID-19 Community Mobility Reports, 2020). Esto implica que durante la pandemia hubo un cambio modal hacia la motocicleta

que, probablemente, se sostenga en el tiempo. Esto es particularmente problemático debido a que las motos son las que mayor riesgo relativo tienen a largo plazo (ver sección del diagnóstico sobre riesgo relativo).

Al observar los conteos de vehículos en un día típico y en un día de pandemia, en todas las ubicaciones donde hay cámaras de detección, se puede observar que el cambio modal se debe al decaimiento drástico del uso de todos los modos de transporte (ver Figura 11). Al comparar un día de pandemia y un día antes de la pandemia, se observa que la distribución de flujos vehiculares cambia como se muestra en la Figura 12. Los volúmenes vehiculares se llegaron a reducir hasta a un 25% de un volumen típico.

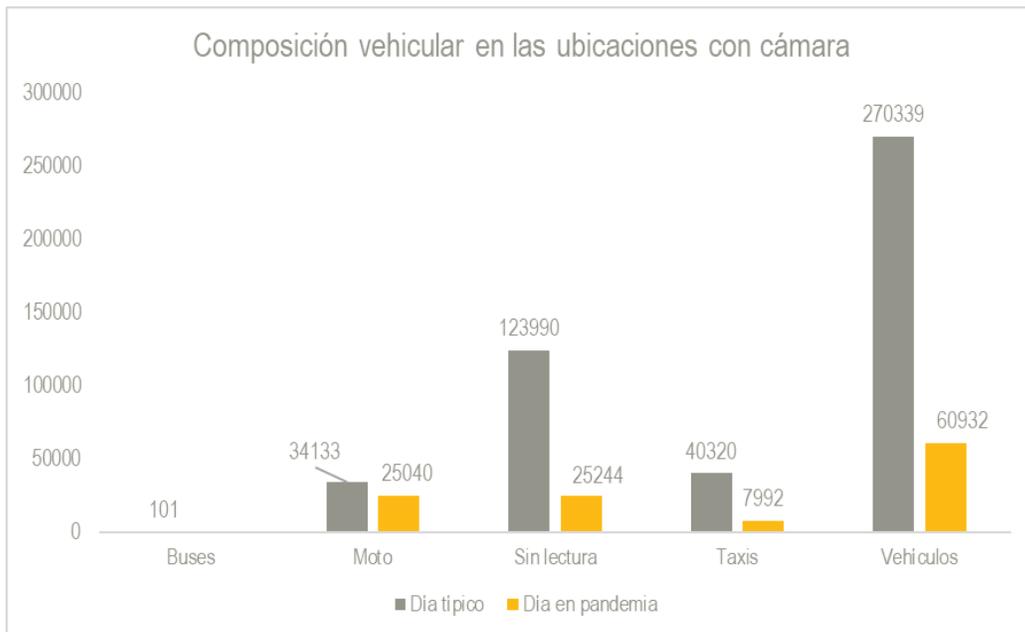


Figura 11 Composición vehicular en las ubicaciones con cámara
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

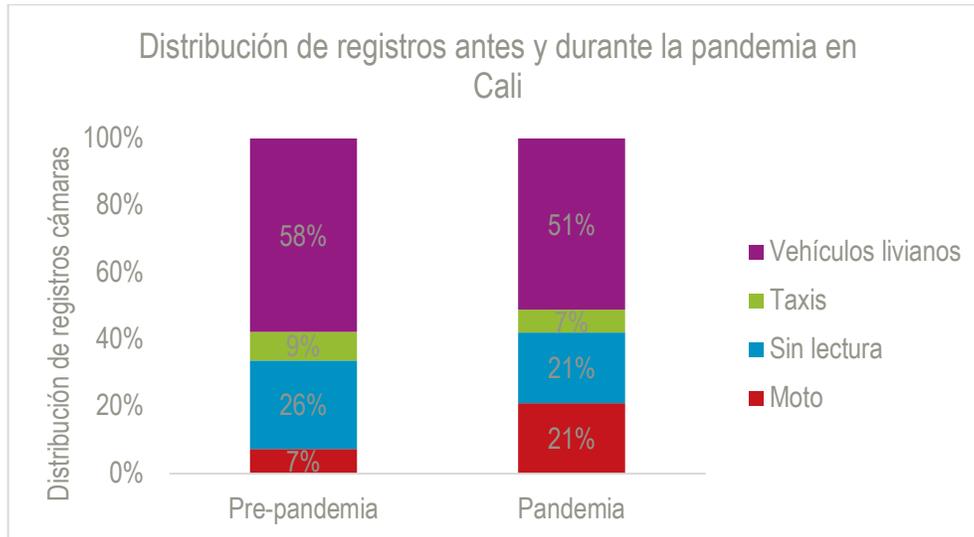


Figura 12 Distribución de registro antes y durante la pandemia en Santiago de Cali
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Sumado a lo anterior, el registro de vehículos nuevos también cambió durante la pandemia (Figura 13). La cantidad de motocicletas registradas en el parque automotor es mayor al de vehículos de cuatro ruedas. Esto implica que es posible que este cambio modal registrado durante la pandemia se mantenga durante el tiempo y que sean necesarias estrategias adicionales de gestión de la demanda para que más personas usen transporte público, bicicleta o caminen en lugar de los vehículos motorizados, en especial la moto.

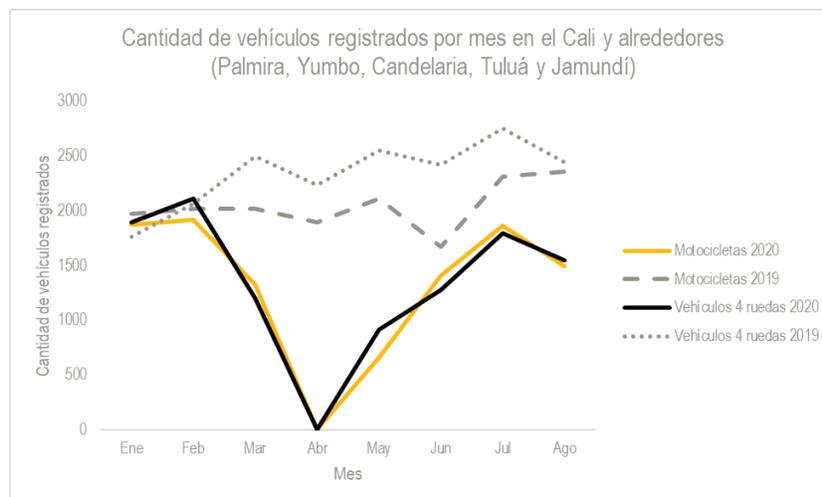


Figura 13 Cantidad de vehículos registrados por mes en Santiago de Cali y alrededores para 2019 y 2020.
Fuente: WRI con datos de Andemos, 2020

ANÁLISIS GEOGRÁFICO

Haciendo uso de los datos georreferenciados en vías arteriales de siniestros se procedió a hacer un análisis de la distribución espacial de los siniestros con víctimas en los periodos antes de la pandemia (2017-2019) y durante la misma (2020). Las dos herramientas usadas fueron *Hot Spot Analysis*, que crea clústeres según la significancia estadística para análisis a nivel ciudad y *Kernel Density* que permite evaluaciones a más detalle de la densidad de víctimas.

En la Figura 14 se pueden apreciar los clústeres de víctimas antes y durante la pandemia. Es de resaltar que, a nivel ciudad no hay clústeres estadísticamente significativos lo que puede implicar que los siniestros con víctimas en Santiago de Cali son geográficamente dispersos. **Este resultado resalta la necesidad imperativa de medidas lineales o a nivel de corredor para reducir la cantidad de víctimas por siniestros viales en la ciudad.** Un claro ejemplo de este tipo de medidas es la gestión de velocidad. Por otro lado, durante la pandemia sí se identificaron clústeres estadísticamente significativos, en especial, en la Avenida Sur Oriental. Esto puede estar asociado a las características de esta vía donde se tiene unas mayores velocidades operacionales que, en promedio, el resto de Santiago de Cali lo que hace necesario tomar este como crítico o prioritario.

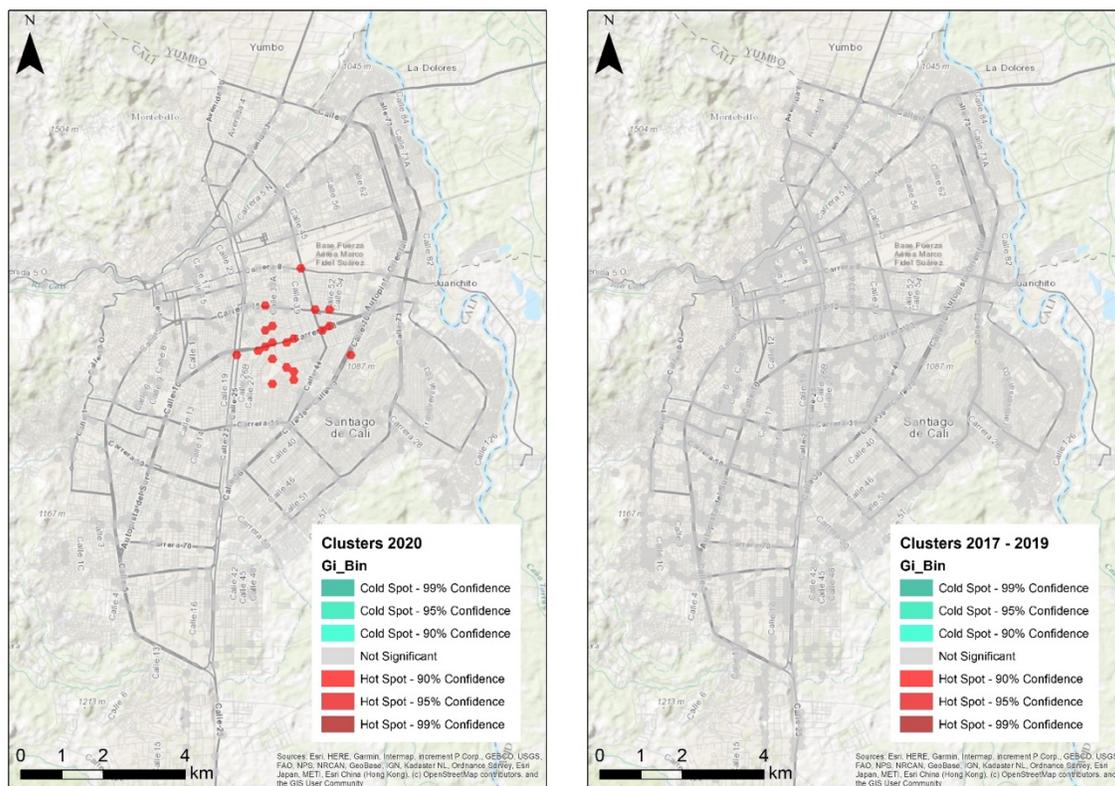


Figura 14 Distribución geográfica de fatalidades Santiago de Cali- Pandemia y 2017-2019
WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Por otro lado, al observar los resultados de los análisis con densidad Kernel, se puede apreciar que los puntos de alta concentración de víctimas en las vías con altas velocidades (ver sección de Potencial de vidas salvadas) como la Avenida Sur Oriental y la Avenida Simón Bolívar se han intensificado. En contraste, los puntos donde antes se encontraba una alta concentración en el centro, no fueron tan importantes durante la pandemia.

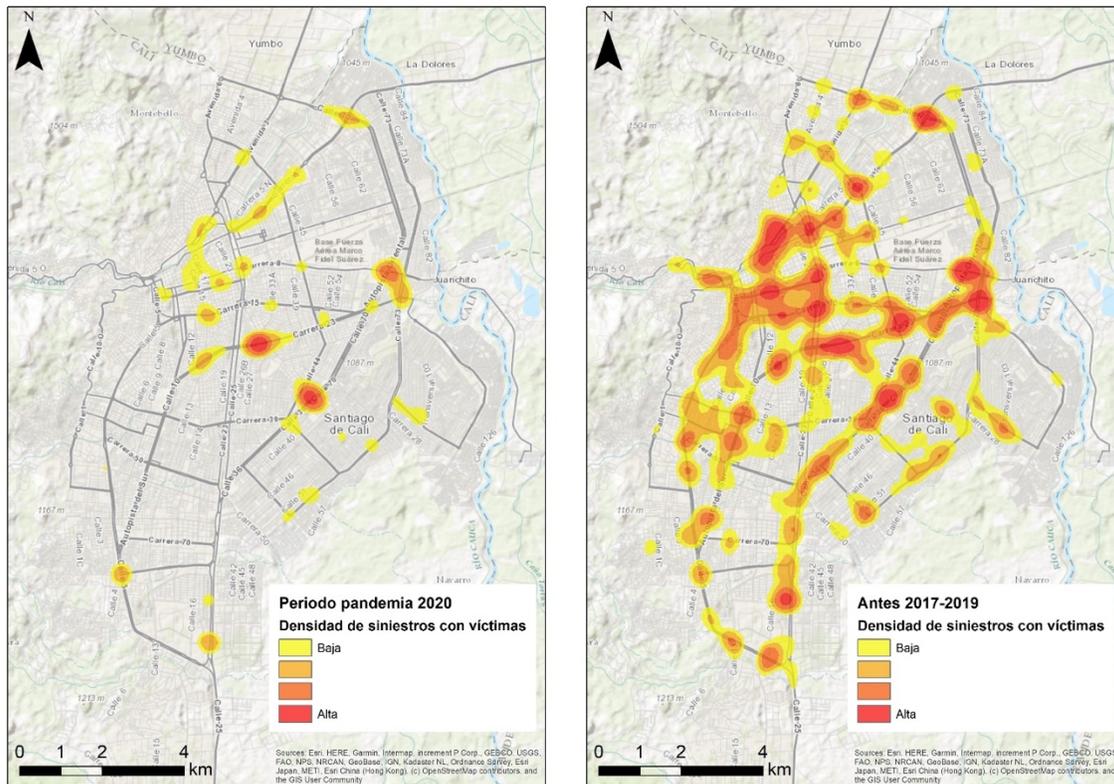


Figura 15 Puntos de alta concentración de víctimas en las vías con altas velocidades-Pandemia y 2017-2019
WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

SINIESTRALIDAD Y VELOCIDAD

La velocidad es el principal factor que incide en la cantidad y gravedad de los siniestros (Embarq Brasil, 2015). En el caso de Santiago de Cali, esto se puede apreciar con los datos de siniestralidad (2017-2019) y de viajes provenientes de la encuesta de movilidad (2015).

En la Figura 16 se puede apreciar la cantidad de siniestros con víctimas por hora. Como se puede apreciar, la relación entre siniestros con heridos y fatales es mayor en las horas de la noche. En estas horas, al tener poco tránsito en las vías es cuando mayores velocidades se pueden registrar en las vías. De hecho, al observar la Figura 16 con la curva de viajes totales en un día típico (2015) comparada a la de siniestros con víctimas (Figura 17) se puede apreciar que la curva de siniestros



es desproporcionadamente alta, con respecto a los viajes, en las horas valle y en horas de la noche. **Es decir, la probabilidad de tener un siniestro con víctimas por cada viaje realizado es mayor en las horas donde se pueden alcanzar altas velocidades.**

Al analizar la Figura 18, se puede apreciar el indicador de tasa de víctimas por cada 10.000 viajes realizados por modo. Este indicador fue calculado con los viajes por hora en cada modo (a pie, bicicleta y moto) en un día típico y la cantidad de víctimas (heridos y fallecidos) reportados en el periodo entre 2017 y 2019. En esta figura se puede ver que, para todos los modos, la tasa de víctimas es mayor en las horas de la noche y en las horas valle. Sin embargo, **son los motociclistas los que tienen mayor riesgo por viaje realizado en las horas de la noche y, un poco en menor medida, horas valle.** Esto implica que este actor se ve particularmente afectado por las altas velocidades que se pueden alcanzar en estas horas. Este resultado además puede ser aún más crítico si se considera que debido a la pandemia pudo haber un cambio modal hacia la motocicleta, como se encontró en la sección Composición vehicular en pandemia.

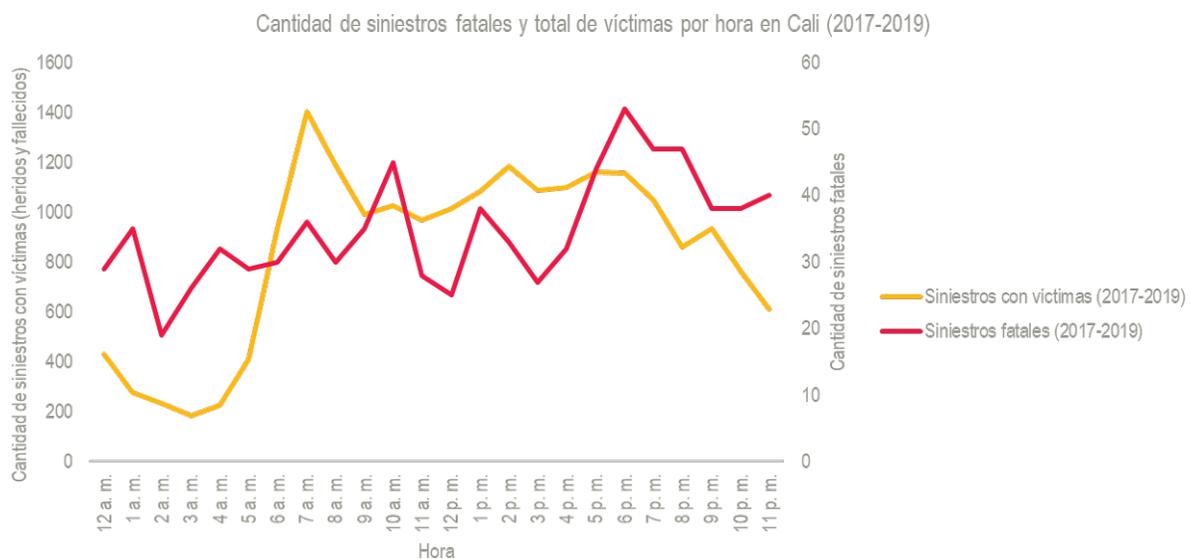


Figura 16 Cantidad de siniestros fatales y con víctimas por hora en la ciudad de Santiago de Cali (2017-2019)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

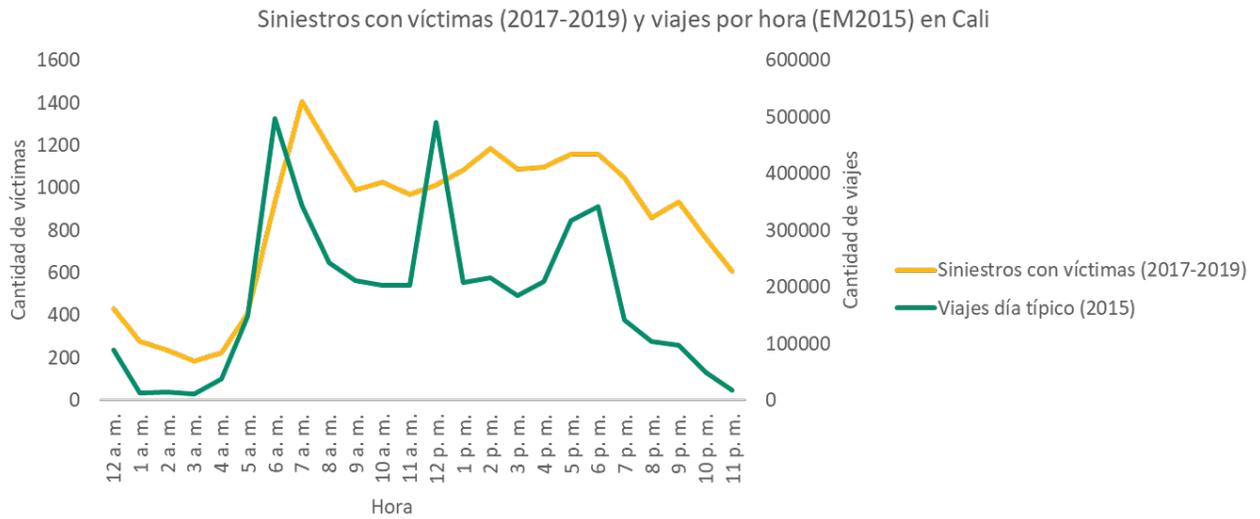


Figura 17 Siniestros con víctimas (2017-2019) y viajes en un día típico (2015)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

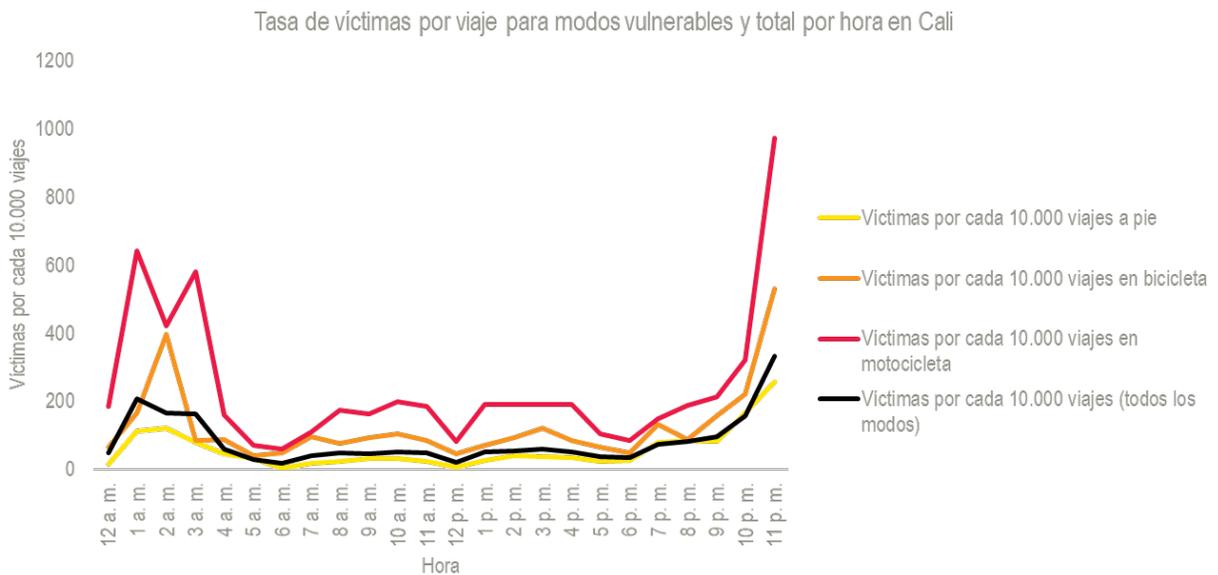


Figura 18 Tasa de víctimas por viaje en modos vulnerables y total por hora en Santiago de Cali
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020



VELOCIDAD EN SANTIAGO DE CALI

Para caracterizar las velocidades de viaje de la ciudad de Santiago de Cali, contamos con dos fuentes de información para el análisis:

- Estudio de velocidades para el Plan Integral de Movilidad Urbana

La ciudad de Santiago de Cali cuenta con un estudio de velocidades realizado con la metodología de vehículo flotante y que ha sido insumo para el PIMU - Plan Integral de Movilidad Urbana Visión 2030. Este estudio fue realizado en el año 2015 para toda la red vial arterial de la ciudad, y se emplea como una aproximación aceptada para calibrar las velocidades en el modelo de transporte de la ciudad. La metodología empleada consistió en realizar dos recorridos en la mañana, al medio día y en la tarde en los diferentes modos de transporte (automóvil, camiones, moto, MIO y transporte público), recolectando información con tecnología GPS.

El estudio de velocidades del PIMU es un insumo valioso para tomar decisiones de transporte en la ciudad. Sin embargo, una de sus limitaciones es la representatividad de los datos, ya que la muestra es bastante pequeña y presenta inevitablemente un sesgo asociado al comportamiento de la persona encargada de hacer los recorridos. Por este motivo, se decidió emplear la base de velocidades proveniente de las cámaras de monitoreo, permitiendo tener mayor representatividad e identificar velocidades puntuales en la red arterial de la ciudad de una gran cantidad de vehículos.

- Registros de velocidades de cámaras de monitoreo

Las cámaras de monitoreo se encuentran localizadas en 43 puntos distribuidos en la ciudad de Santiago de Cali (ver Figura 30), y capturan la velocidad de los diferentes vehículos las 24 horas del día, todos los días del año. Para el análisis de velocidades concerniente a este soporte técnico se trabajó con una base de datos con velocidades puntuales de las 43 cámaras a lo largo de 336 días específicos comprendidos entre los días 14 de julio de 2019 y 27 de junio de 2020.

Esta metodología ha permitido consolidar una robusta base de datos que garantiza representatividad estadística en los análisis realizados. Por medio del análisis de una base de datos con más de 159 millones de registros, se puede realizar una inspección detallada de los patrones de velocidad observados, discriminados por fecha, hora del día, carril utilizado, ubicación de la cámara (radar) y tipo de vehículo. Dentro del tipo de vehículo que los dispositivos



de detección pueden identificar se encuentran: vehículos (pequeños, medianos, y grandes), motocicletas, taxis y buses. Los datos corresponden en su mayoría a vías arteriales de la ciudad.

De esta forma, para cada día dentro del período de análisis y para cada periodo de interés en un día, es posible determinar:

- Velocidad promedio de los vehículos: es un valor útil para la comparación del comportamiento en materia de velocidad entre horas del día, tipo de vehículo, tipo de vía, entre otros.
- Velocidad del percentil 85 de los vehículos: Como indicador en seguridad vial es de uso común, indicando cuál es la velocidad que el 85% de los conductores NO exceden.
- Velocidad límite máxima recomendada: Es la velocidad de circulación máxima a la cual se considera seguro circular según el tipo de vía y la zona de la ciudad que se quiera reglamentar. **Para zonas residenciales, escolares y vías locales el límite de velocidad debería ser de 30 km/h y para cualquier vía arterial urbana se considera 50 km/h como el máximo límite de velocidad seguro** (OMS, 2018). Adicionalmente, el hecho de contar con una velocidad límite máxima para cada tipo de vía y zona implica necesariamente que es posible escoger límites de velocidad menores a la máxima recomendada si se considera necesario por las características operacionales y de infraestructura del lugar en mención.
- Porcentaje de vehículos que exceden una velocidad determinada. Para el análisis a lo largo de esta sección - considerando ubicaciones en toda la red vial arterial de Santiago de Cali - se toma **50 km/h como la máxima velocidad límite deseada**, siguiendo las recomendaciones que existen a nivel mundial para el límite máximo de velocidad en vías urbanas, de acuerdo con lineamientos de la Organización Mundial de la Salud y Naciones Unidas.

De esta forma, nos es posible conocer la proporción de conductores que circulan con exceso de las velocidades deseadas para múltiples períodos de análisis de interés, que son justamente las que se enfoca en un estudio de velocidad que tenga como objetivo una adecuada gestión. No obstante, es importante anotar que al obtener los datos por medio de cámaras de velocidad existe un sesgo, ya que los conductores tienden a disminuir su velocidad de marcha en los tramos donde se ubican las cámaras al conocer de su existencia y funcionamiento. Por lo cual, **los datos presentados en esta sección del estudio son de carácter conservador**, en el sentido de que, debido al sesgo de control, las velocidades promedio en estos tramos serían menores que las velocidades promedio de tramos con similares características donde no se encuentren estas cámaras.

De cualquier forma, en consideración al tamaño de la muestra utilizado para estos análisis, la información presentada se puede considerar lo bastante robusta y estadísticamente significativa para entender las variaciones geográficas y temporales de las velocidades promedio en la ciudad de Santiago de Cali.



Relación entre los indicadores

La velocidad promedio de un corredor no se asocia directamente con el límite de velocidad, pero tienen una relación matemática que se puede determinar.

Para partir de un ejemplo simple, si tenemos dos vehículos circulando en un corredor determinado cuyo límite de velocidad es 50kph, donde uno de ellos circula a 20 km/h y otro de ellos circula a 60 km/h, en materia de indicadores de desempeño tenemos lo siguiente:

- La velocidad promedio en el corredor es de 40 km/h.
- Uno de dos vehículos - el 50 % de conductores – circulan con exceso de velocidad.

A medida que se extiende el análisis a un número mucho mayor de vehículos, encontramos lo siguiente:

- La velocidad a la que un vehículo circula se ve influenciada por el tipo de vía, la presencia (o ausencia) de dispositivos de control de tránsito, el tipo de vehículo y el estilo de conducción de cada persona. Por ello, cada vehículo asume una velocidad de circulación diferente bajo determinadas circunstancias de tiempo, lugar y modo.
- Es importante anotar que la velocidad promedio se ve afectada por congestión y demoras en semáforos u otras maniobras. Entonces una velocidad promedio de 30 km/h por ejemplo, no quiere decir que un vehículo se mueve todo el tiempo a esa velocidad, ni que todos los vehículos sobre una vía lo hacen. Puede existir un instante en el ese vehículo circuló a 60 km/h - lo que lo hace potencialmente más peligroso - y otro instante en el que el vehículo estuvo detenido, lo que nos da como resultado un promedio de 30 km/h.
- Aproximadamente la mitad de los vehículos circulan a una velocidad por debajo de la velocidad promedio, y aproximadamente **la mitad de los vehículos circulan por encima de la velocidad promedio** (ver figura a continuación) en un punto de control dado.

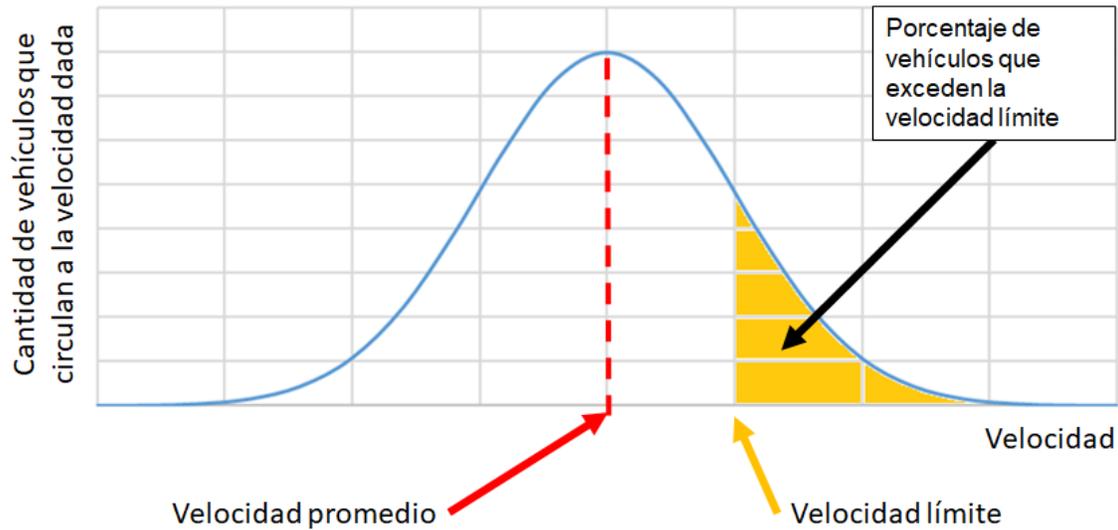


Figura 19 Explicación de la velocidad promedio y límite
Fuente: Elaboración propia

- Tener un promedio de velocidad por debajo del límite de velocidad deseado no quiere decir que todos los conductores cumplan con ese límite. Para que los operativos de control logren asegurar que ningún conductor exceda el límite de velocidad, **se tiene que lograr una reducción de la velocidad promedio muy por debajo del límite máximo deseado.** Al reducir el porcentaje de vehículos que excede la velocidad límite en una ubicación dada— que es el objetivo de un programa de gestión de la velocidad — necesariamente implica que se reduce la velocidad promedio de circulación o la dispersión estadística de la misma (ver Figura 19 y Figura 20).
- Teniendo velocidades promedio menores pero cercanas al límite de velocidad, implica que hay un porcentaje de conductores importante circulando a una velocidad mayor al límite esperado.
- La velocidad promedio ideal es aquella para la cual la mitad de vehículos circulan por encima de la velocidad promedio y el 100% de vehículos circulan por debajo del límite esperado de 50 km/h.
- Un operativo de control que busque reducir la cantidad de conductores que exceden el límite la velocidad, tendrá necesariamente como resultado aumentar la diferencia entre la velocidad promedio y la velocidad límite (en la gráfica a continuación, equivale a desplazar la curva hacia la izquierda y reducir el área sombreada hasta un mínimo razonable, porque la velocidad límite es estática) hasta un valor ideal de cero conductores excediendo el límite de velocidad.
- En el análisis estadístico de la velocidad promedio se observa una propiedad importante, un aumento en el valor promedio implica un aumento en su dispersión estadística (varianza) y viceversa. Lo que implica que al controlar las velocidades extremas de los vehículos por encima del promedio que circulan más rápido en las circunstancias de tiempo y modo en donde es posible circular a velocidades elevadas (vías arterias o con escasa presencia de intersecciones,

en horas de la noche y madrugada, etc.), se logra reducir el promedio de velocidad y su dispersión estadística, lo que conlleva la disminución del porcentaje de conductores que exceden el límite de velocidad deseado (ver Figura 20).

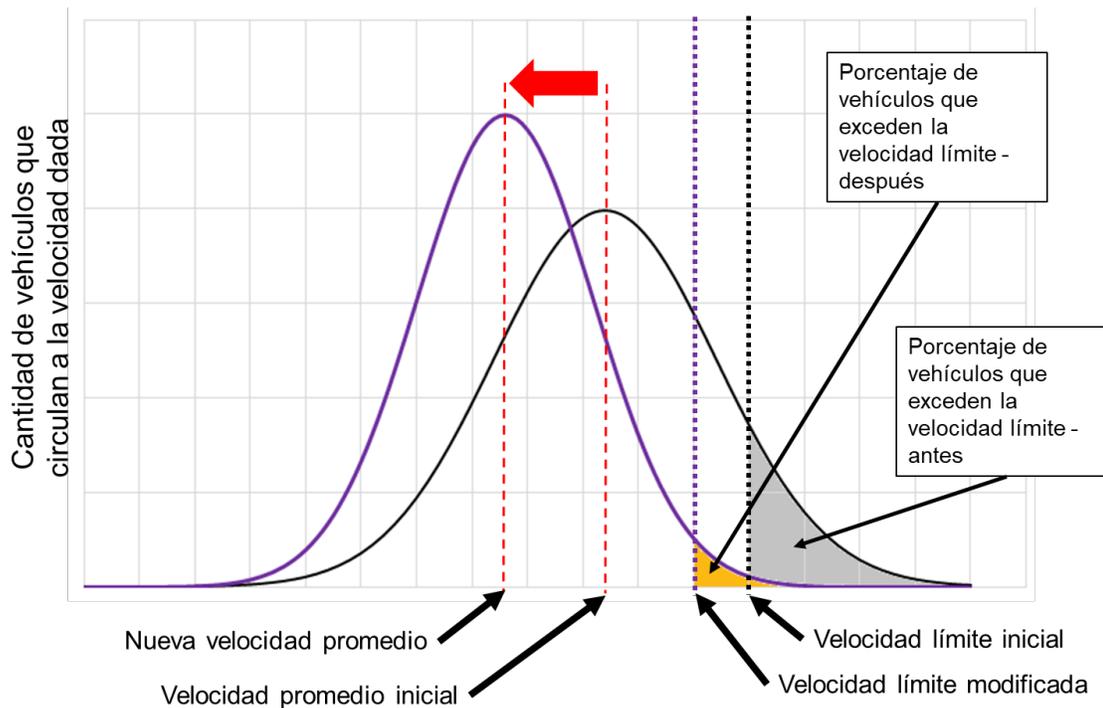


Figura 20 Explicación de cambio en la curva de velocidades promedio y velocidad límite
Fuente: Elaboración propia

Mediante este análisis preliminar de los datos de la velocidad, podemos estimar qué porcentaje de conductores se espera que circulen con una velocidad superior a 50 km/h para una velocidad promedio determinada, considerando las distribuciones de velocidad observadas de forma agregada en diferentes ubicaciones, fechas y horas del día en la ciudad de Santiago de Cali.

Según los datos de velocidad de las ubicaciones en Santiago de Cali donde se instalaron las cámaras de monitoreo, se encuentra que en promedio **solo el 5% de los vehículos exceden la velocidad límite deseada de 50 km/h**. Es importante resaltar que este porcentaje relativamente bajo se obtiene gracias a la fiscalización y control que las cámaras permiten realizar e involucra el sesgo de control, lo que quiere decir que los conductores reducen su velocidad al saber que se encuentran bajo vigilancia. Es razonable suponer que en ubicaciones donde no hay cámaras ese porcentaje de conductores excediendo el límite de 50 km/h sería mucho mayor, lo que evidencia la efectividad de este tipo de medidas de control en la gestión de la velocidad.

En la gráfica a continuación, se muestra cómo es la distribución de las velocidades en Santiago de Cali discriminadas por tipo de vehículo.

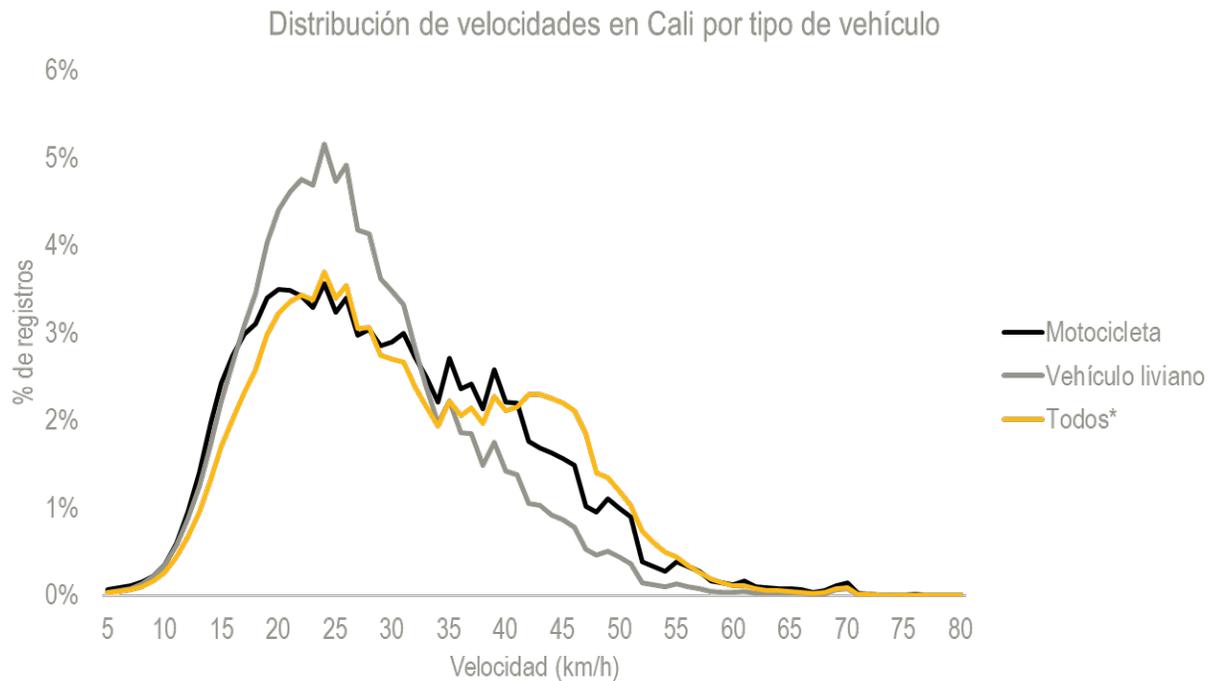


Figura 21 Distribución de velocidades en Santiago de Cali por tipo de vehículo
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

En la distribución promedio general de las velocidades **se encuentra un promedio general de velocidad de 30,6 km/h**, con desviación estándar de 13,1 km/h. Se observan dos valores de pico localmente focalizados sobre 41 km/h y 24 km/h, variaciones que son atribuibles al tipo de vehículo que es detectado por las cámaras, así como al tipo de vía en donde se encuentra ubicada una cámara determinada. Por ejemplo, las motocicletas tienen velocidades promedio mayores a las de los vehículos livianos.

Al conocer registros de la velocidad para cada día dentro del período de análisis, para cada unidad de análisis temporal (día y hora en este caso) y ubicaciones es posible conocer un valor de velocidad promedio. Así mismo, análisis de los datos desagregados para cada unidad de análisis permite conocer qué porcentaje de vehículos circulan por encima de una velocidad deseada. De esta forma, en la Figura 22 se relaciona el porcentaje de conductores que exceden la velocidad de 50 km/h con la velocidad promedio del tráfico a nivel de día, para varios días dentro del período de análisis. Se encuentra que la relación entre estos dos indicadores sigue una tendencia lineal claramente definida, que se puede comprobar mediante el ajuste de una ecuación de tipo lineal reflejado en el coeficiente R² de 0,76, que se puede considerar aceptable.

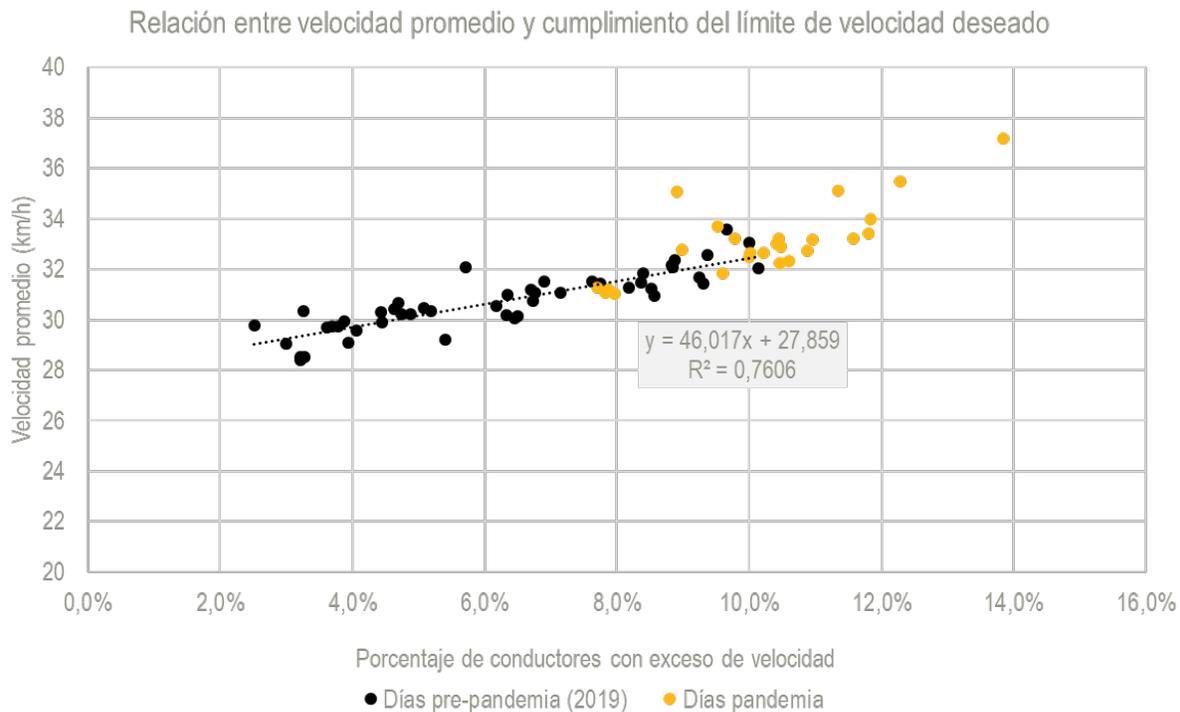


Figura 22 Relación entre velocidad promedio y cumplimiento del límite de velocidad deseado
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Con base en lo anterior, y asumiendo que las distribuciones actuales se mantienen, **se puede afirmar que para que ningún vehículo exceda el límite de velocidad esperado, el indicador global de velocidad promedio de la ciudad tendría que situarse alrededor de 28 km/h** (ver función lineal en la Figura 22). Para asegurarse que el 85% de los conductores circule dentro de los límites de velocidad esperados, el indicador global de velocidad promedio de la ciudad tendría que ser de 35 km/h (ver Tabla 1).

% conductores que circulan a más de 50 km/h	Velocidad promedio global (km/h)
0%	28
5%	30,6
15%	35

Tabla 1 Velocidad promedio global
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Vale la pena resaltar que debido al sesgo comportamental producido por la presencia de las cámaras de monitoreo, se registran valores de velocidad promedio del orden de 30 km/h, que aunque no se pueden considerar representativos para toda la ciudad, sí reflejan un patrón de comportamiento de los usuarios en las ubicaciones que se encuentran bajo vigilancia, que

evidencian un comportamiento en la conducción mucho más cercano al esperado, en función del cumplimiento de un límite de velocidad esperado de 50 km/h.

Velocidad en pandemia

Con base en la información disponible del punto anterior, se procede a efectuar análisis a nivel más puntual entre días que pueden ser considerados típicos en los períodos de julio de 2019 a febrero de 2020 (periodo pre-pandemia), y en el período comprendido entre mediados de marzo de 2020 y junio de 2020 (período de pandemia); donde se entiende que las condiciones del tráfico vehicular no responden a patrones de comportamiento considerados típicos o comunes a esperarse.

El día de la primera medición es el 14 de julio de 2019 y los días se cuentan a partir del mismo.

En la Figura 23, se observa la evolución de la velocidad promedio en los corredores donde hay cámaras de medición instaladas en la ciudad de Santiago de Cali. A partir del 25 de marzo de 2020, fecha del inicio del aislamiento preventivo obligatorio a nivel nacional, se observa el aumento en la velocidad promedio, denotando el inicio del período de pandemia que se extendió hasta mitad de abril aproximadamente. A partir de ese momento se observa una disminución paulatina de las velocidades promedio de vuelta a los valores típicos.

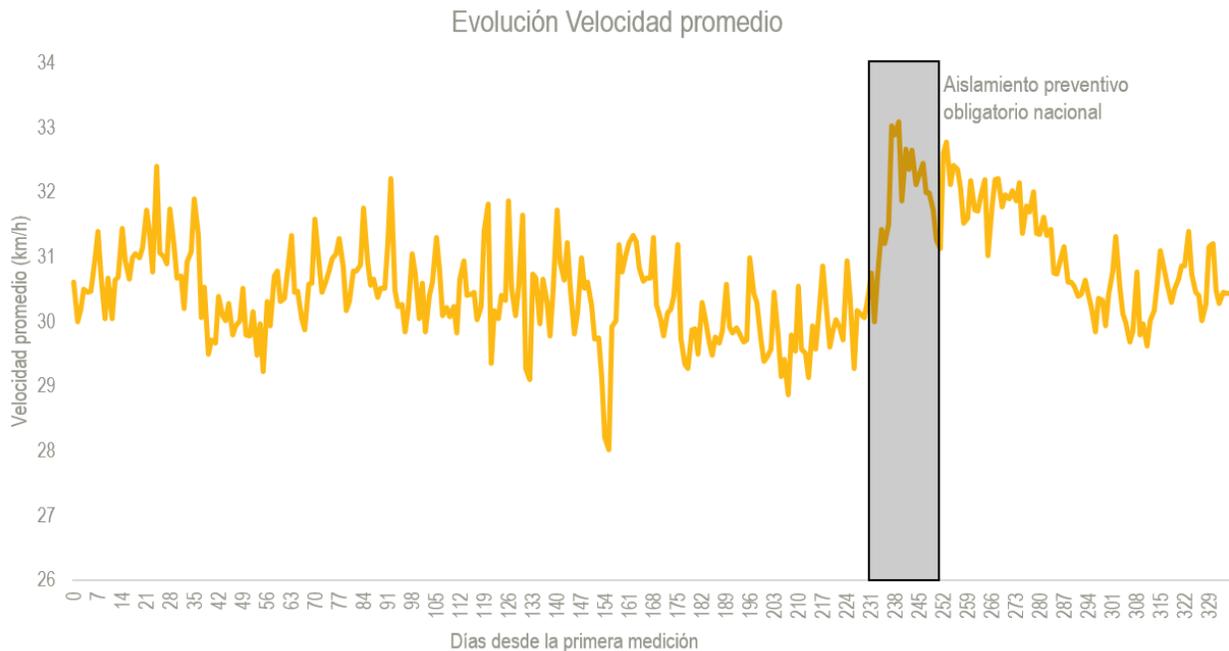


Figura 23 Evolución velocidad promedio
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020



Al discriminar el promedio de velocidad por mes, **se observa un alza pronunciada en el mes de abril de 2020**, reflejando el cambio global de velocidades por las condiciones de tráfico durante el período de aislamiento a nivel nacional.



Figura 24 Velocidad promedio por mes
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

En un día típico del año 2019 y en un día del período de pandemia (última semana de marzo) se compara la distribución horaria de velocidades. **Al comparar las velocidades horarias entre un día durante la pandemia y antes de la misma, la diferencia de velocidad promedio es de 2,1 km/h.** Se evidencia en esta figura una mayor prevalencia de altas velocidades en horas de la madrugada en el período entre 3 y 5 am especialmente, **con diferencias horarias de velocidad promedio de hasta 4 km/h en altas horas de la noche y la madrugada** (ver Figura 25).

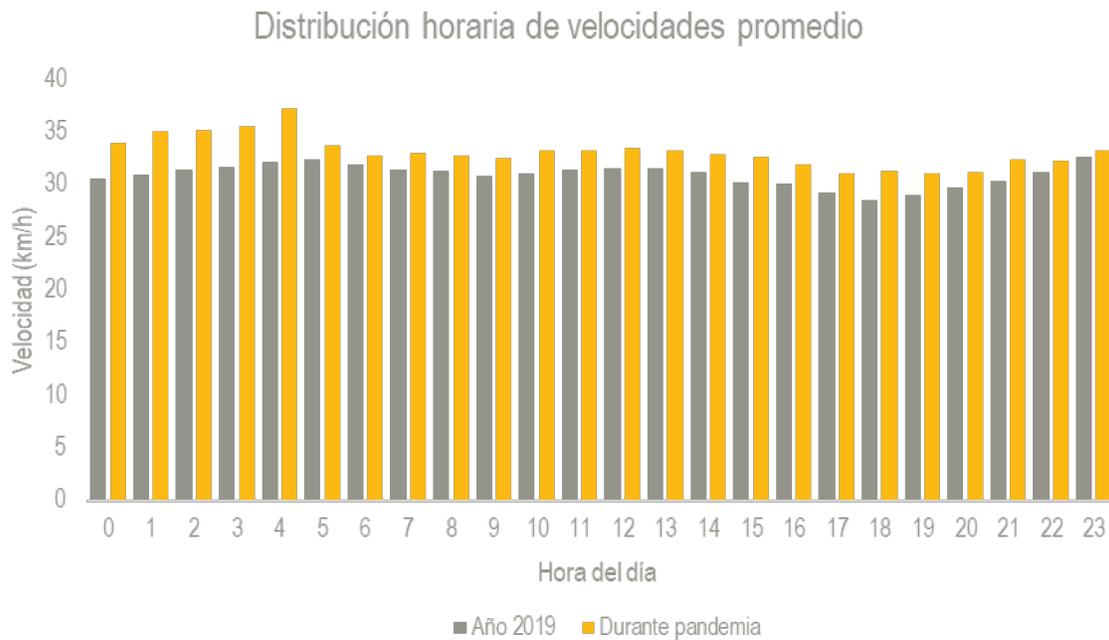


Figura 25 Distribución horaria de velocidades promedio-Pandemia y 2019
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

En las horas del final del día (período entre 17 y 20 horas) se observan menores proporciones de conductores excediendo la velocidad instantánea de recorrido deseada – 50 km/h en este caso de estudio. En las horas de la mañana se observa una mayor tendencia a acelerar por parte de los conductores en las diferentes vías de Santiago de Cali. **En un día de pandemia, el porcentaje de vehículos que exceden la velocidad de 50 km/h en ubicaciones monitoreadas puede llegar a ser del 10%** (ver Figura 26).

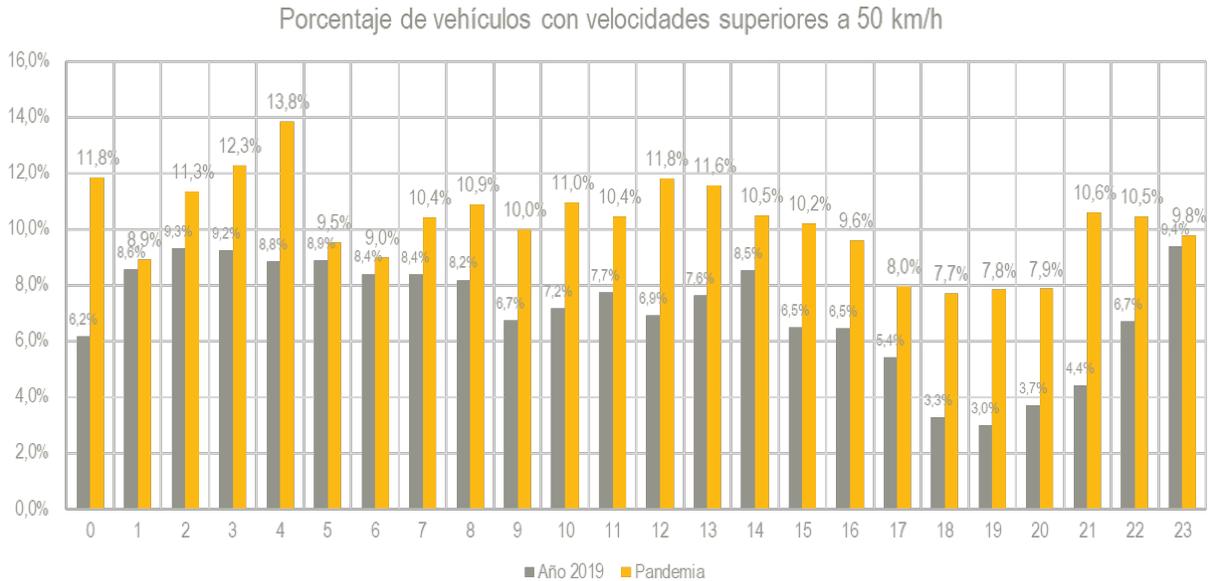


Figura 26 Porcentaje de vehículos con velocidades superiores a 50 km/h
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Velocidades promedio por tipo de vehículo

En la Figura 27 se comparan las diferentes velocidades promedio discriminadas por los tipos de vehículo que las cámaras de detección son capaces de identificar. Al comparar las velocidades promedio de un vehículo - discriminando entre tipos de vehículo - entre un día típico y un día de pandemia, se observan velocidades promedio notoriamente superiores en vehículos que no son identificados por las cámaras. Debido a la naturaleza misma de tecnología de detección utilizada en las cámaras, hay un porcentaje de vehículos cuyo tipo no logra ser plenamente identificado debido que los vehículos circulan a una velocidad tal que dificulta su detección por tipo o existen unas condiciones visuales del entorno que ocasionan que la imagen detectada por la cámara no alcance a ser procesada con total certidumbre por el sistema de identificación⁵. Cuando esto ocurre, el vehículo cuyo tipo no fue plenamente identificado se reporta en la base de datos como “Sin Lectura”.

⁵ Mediante conversación con personal de la Secretaría de Movilidad de Santiago de Cali, pudimos conocer de forma muy general esta información sobre el funcionamiento técnico de las cámaras de detección de vehículos.

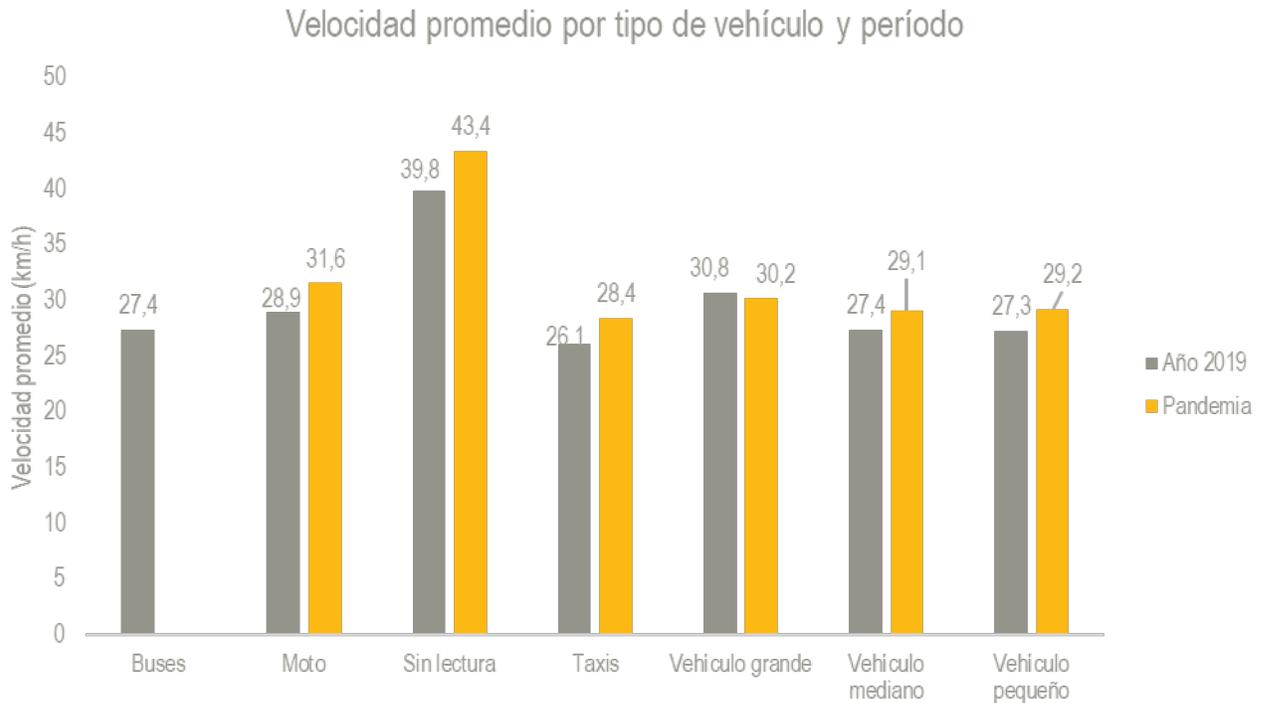


Figura 27 Velocidad promedio por tipo de vehículo y período
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

En la Figura 28 que detalla la distribución de los vehículos identificados por tipo en un día típico, se observa que los vehículos cuyo tipo aparece como no identificado (“Sin Lectura”) pueden llegar a ser hasta una cuarta parte del total de vehículos que son identificados por medio de una cámara. Estos vehículos que se registran como “Sin Lectura” (ver Figura 27) al contar con una proporción importante y con una velocidad promedio mayor, ocasionan que el promedio global de velocidades aumente en comparación con el de solo vehículos (ver Figura 21).

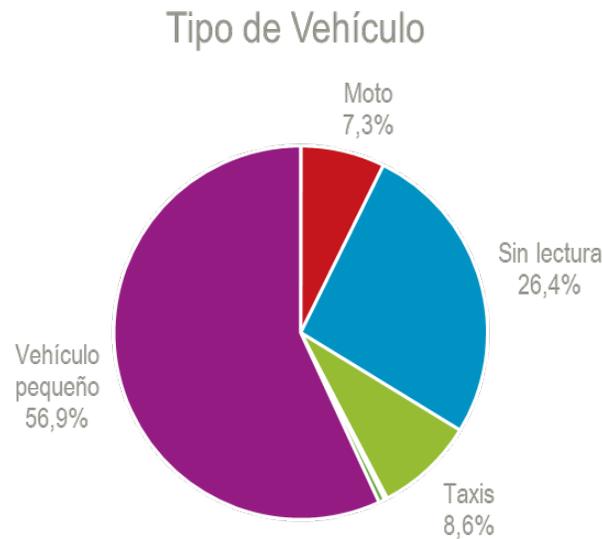


Figura 28 Tipo de Vehículo detectado por las cámaras.
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Identificación de placas

De todos los vehículos detectados por cámara, **se tiene un porcentaje global de identificación de placas de alrededor de 77%**. Al discriminar el análisis por tipo de vehículo (ver Figura 29), se encuentra que, para los vehículos de servicio público, la identificación de las placas se logra de forma plena. Las motos son los vehículos que menor porcentaje de identificación de placas tienen por medio de la cámara. Cabe anotar aquí que para muchos vehículos cuyo tipo no se logra identificar, la identificación automatizada de las placas si es posible. Por otro lado, aunque un número de placa no se logre detectar de forma automatizada, se puede recurrir a una verificación manual de las imágenes para aumentar este porcentaje de identificación para propósitos de control y sanciones.



Identificación de placas por tipo de vehículo

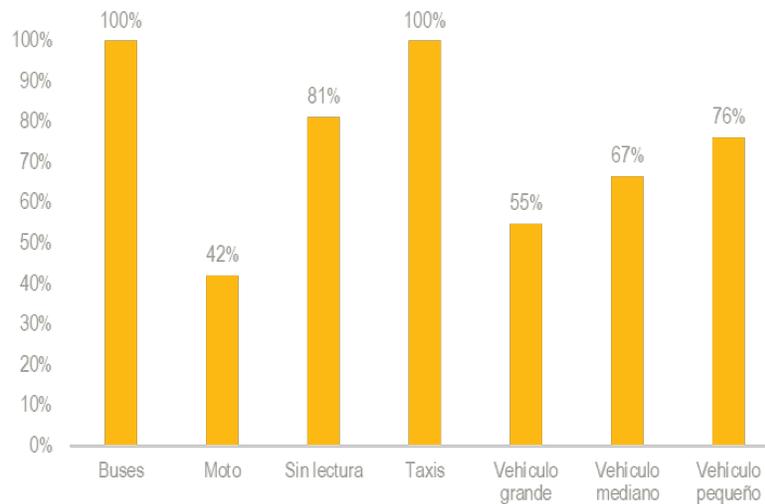


Figura 29 Identificación de placas por tipo de vehículo
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

IMPACTOS DE GESTIÓN DE VELOCIDAD EN SANTIAGO DE CALI

Cámaras

En 2012 y 2013 fueron instaladas 43 cámaras que se ubicaron debido al alto registro de siniestros analizada en 10,146 intersecciones durante 2010-2012. En 2012 se instalaron 19 cámaras de fotodetección y en 2013 se instalaron 19 adicionales. Hoy en día la ciudad cuenta con un total de 43 dispositivos (ver Figura 30).

Haciendo un análisis de comparación de la tasa anual de siniestros en las ubicaciones de las cámaras se puede observar que entre el promedio del año 2010-2011, y el promedio del año 2014-2019 hubo una reducción en todos los tipos de siniestros, pero considerablemente una reducción en fatalidades (ver Tabla 2). Como nota aclaratoria, se deja por fuera los años 2012 y 2013, ya que son los años que se instalaron las cámaras.

Tipo de siniestro	Promedio 2010-2011 (eventos por año)	Promedio 2014-2019 (eventos por año)	Cambio
Solo daños	593	363	-39%
Con heridos	331	226	-32%
Fatalidades	18	8	-57%

Tabla 2 Promedio de siniestros antes de las cámaras de velocidad (2010-2011) y después (2014-2019)
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

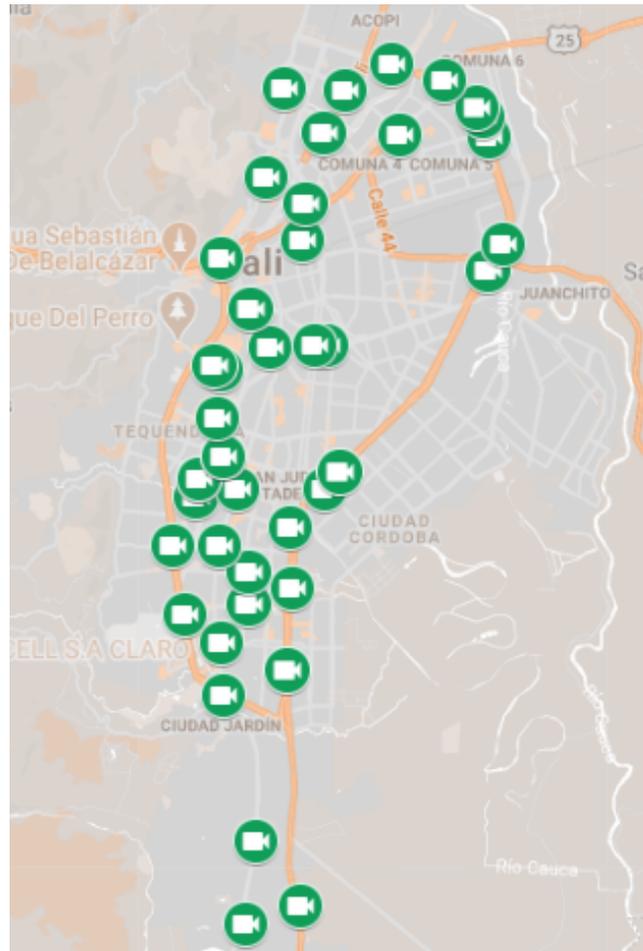


Figura 30 Ubicación de las cámaras de velocidad
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

La efectividad de la instalación de cámaras como medida de control de la velocidad puede verse analizando los datos de velocidad registrados. A partir de datos obtenidos por medio de las 43 cámaras de velocidad instaladas en la ciudad, se analizaron las velocidades horarias para un mes típico en la ciudad. Por medio de los más de 19 millones de observaciones tomadas en septiembre de 2019, puede observarse el comportamiento de la velocidad promedio y del percentil 85 de la velocidad por horas para la ciudad. Como puede verse en la Figura 31, las velocidades promedio y del percentil 85 se mantienen constantes a lo largo del día. Contrario a lo que se ve en otras ciudades⁶ y seguramente en ubicaciones sin cámaras, en donde se presentan picos de velocidad a las horas de la noche debido a la disminución del flujo, la gran mayoría de vehículos alrededor de las cámaras no supera los límites de velocidad en Santiago de Cali (ver Figura 31).

⁶ Ver Programa de gestión de velocidad para Bogotá, por ejemplo.

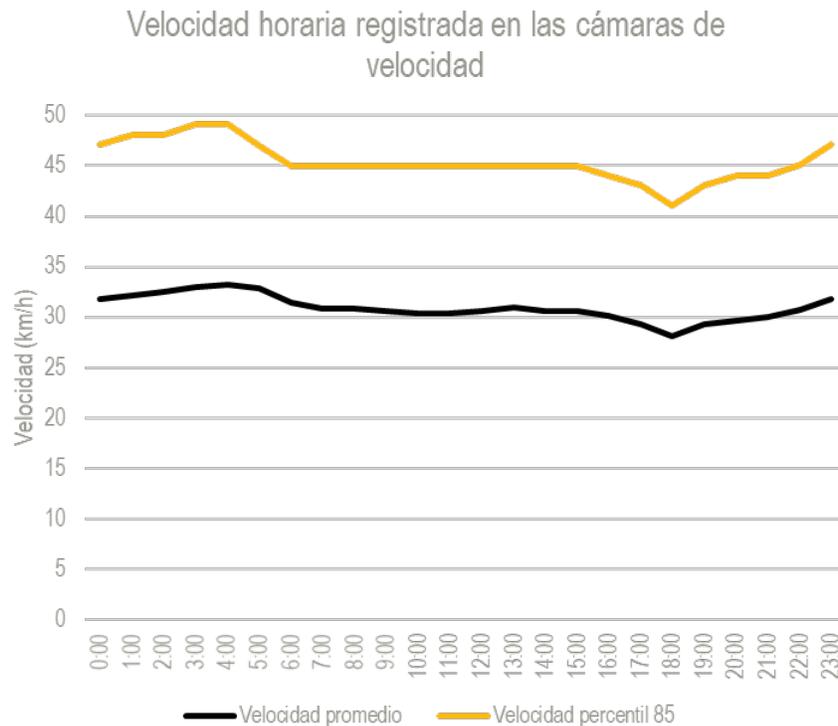


Figura 31 Velocidad horaria a partir de datos de las cámaras de velocidad
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Sin embargo, es importante anotar que los datos de velocidad de las cámaras de velocidad están sesgados hacia valores menores y no reflejan la velocidad operativa de la ciudad, debido a que los conductores tienden a reducir su velocidad al acercarse a las cámaras y después acelerar. Diferentes estudios (Høye, 2014) (Oliveira, Friche, Costa, Mingoti, & Caiaffa, 2015)) han mostrado que, alrededor de las cámaras de velocidad, se presentan las menores velocidades vehiculares y las mayores proporciones de vehículos transitando bajo el límite de velocidad permitido. No obstante, estos estudios muestran que este efecto se reduce a medida que aumenta la distancia de las cámaras: la mayor velocidad promedio y el mayor número de vehículos excediendo el número de velocidad se encuentra en ubicaciones a 200 metros después de las cámaras. Esto significa que parte de los conductores desaceleran al estar bajo la cámara y aceleran después, lo que hace necesario mantener los controles a lo largo de los corredores para incrementar las mejoras en seguridad vial.

LÍMITE DE VELOCIDAD Y CONGESTIÓN EN SANTIAGO DE CALI

En el imaginario colectivo se cree que reducir el límite de velocidad va a tener una influencia negativa en la capacidad de transporte de la vía y por ende aumentaría la congestión vehicular.



Para entender por qué lo anterior no resulta cierto en todos los casos, se explican las tres variables macroscópicas del flujo vehicular bajo las cuales se fundamenta este análisis:

- **Flujo:** definido como la cantidad de vehículos que circulan por unidad de tiempo a lo de un punto de control en un corredor vial de interés.
- **Velocidad:** definida como la velocidad promedio de los vehículos que circulan a lo largo de un punto de control en un corredor vial de interés.
- **Densidad:** definida como la cantidad de vehículos que se encuentran en un segmento de longitud de control en un corredor vial de interés.

Según la teoría del flujo vehicular que se estudia en ingeniería de tránsito, la relación entre la velocidad y el flujo de una vía se puede expresar de forma parabólica. Lo anterior quiere decir que:

- En condiciones de flujo mínimo (poco tránsito de vehículos en la vía), la velocidad de los vehículos será la máxima posible por las condiciones de la vía y el entorno, lo que se conoce como velocidad a flujo libre (punto A en Figura 32).
- A medida que aumenta el número de vehículos en circulación (es decir, aumenta el flujo), la velocidad promedio de una vía disminuye gradualmente (punto C en Figura 32).
- Gradualmente se llega a una velocidad de circulación para la cual se tiene el flujo máximo q_m , que es el número máximo de vehículos que pueden circular en la vía en condiciones de flujo estable (parte superior de la curva) es decir, sin congestión vehicular (punto E en Figura 32).
- Si se excede la cantidad de vehículos que se pueden admitir en un corredor bajo condiciones de flujo estable, se pasa a una zona de flujo inestable (parte inferior de la curva en Figura 32), lo que quiere decir que tanto la velocidad como el flujo disminuirán gradualmente a causa de la congestión vehicular (punto D en Figura 32) que se empieza a generar.
- En el peor escenario, se llegará a un punto de colapso del tráfico por la congestión en que tanto la velocidad como el flujo llegan a cero porque una vía se encuentra saturada de vehículos que no se mueven (punto B en Figura 32).

Lo anterior implica que bajo condiciones de flujo estable y en transiciones a hora pico (cuando el flujo de tráfico aumenta pero se encuentra aún por debajo del flujo máximo) al reducir la velocidad promedio de circulación podría mejorar el flujo de la vía. Es decir, más vehículos por hora podrían circular a lo largo de un corredor dado. Por otra parte, en condiciones de flujo inestable las velocidades promedio serán de por sí lo bastante reducidas debido a la congestión vehicular como para representar un factor de riesgo en términos de seguridad vial.

El flujo libre debería esperarse que coincida con la velocidad de diseño de la vía, que en el caso de Santiago de Cali debe ser de un rango de 60-80km/h, y por lo tanto, este flujo máximo se debe conseguir a velocidades en el rango de 30-40 km/h dependiendo del tipo y condición de la vía bajo consideración. Esto implica, que al pasar de un límite de 60km/h a 50km/h o similar, se estaría moviendo en la gráfica de cerca al punto A al punto C y que, por ende, se debería esperar una mejora en el flujo de las vías en Santiago de Cali.

Lo anterior quiere decir que al disminuir la velocidad de circulación de un flujo estable representa **dos beneficios inmediatos importantes** para la ciudad:

- Se disminuye el riesgo de ocurrencia de siniestros graves en el tránsito y por ende **se reduciría el número potencial de víctimas lesionadas o fallecidas en tránsito**, de acuerdo con lo que expresa el modelo potencial de reducción de víctimas (ver sección 0).
- **Se aumenta la capacidad de transporte** de vehículos en un corredor, es decir, podemos transportar a más vehículos y personas a lo largo de una hora determinada, de una forma más organizada y segura.

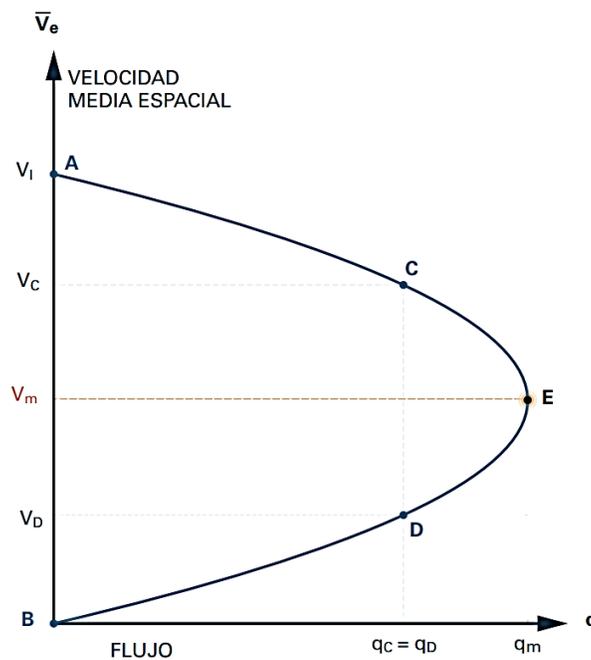


Figura 32 Relación entre el flujo y la velocidad de la vía. V_l = velocidad a flujo libre; V_m = mitad de la velocidad de flujo libre; q_m = flujo máximo u óptimo de la vía.
Fuente: Cal y Mayor y Cárdenas Grisales, 2007.

Modelos de microsimulación

La ciudad de Santiago de Cali cuenta con varios modelos de microsimulación construidos por contratistas para diferentes proyectos viales. Estos modelos fueron empleados en el presente estudio con el objetivo de comprobar lo que dice la teoría y evaluar el impacto en los tiempos de viaje promedio en la hora de máxima demanda de todos los vehículos al cambiar el límite de velocidad máximo, pasando de 60 a 50 km/h.

De acuerdo a los resultados obtenidos después de la evaluación de los escenarios, se determinó que con un límite de 50 km/h los tiempos de viaje se reducen en la mayoría de tramos analizados, llegando a presentar reducciones de hasta un 21%. En sólo dos de los diez tramos por sentido evaluados se reportó aumento en el tiempo de viaje al reducir el límite de velocidad a 50 km/h, pero estos resultados no son estadísticamente significativos.



Modelo	Sentido	Límite máximo:		Diferencia
		50 km/h	60 km/h	
CL 70 N Av 3N - CL 70 CR 27	N-S	482,0	502,8	-4%
	S-N	326,6	348,3	-6%
CL 36, CR 29 - CR 42B	N-S	234,3	236,7	-1%
	S-N	284,7	359,1	-21%
CL 36, CR 46 - CR 66	N-S	168,2	183,7	-8%
	S-N	322,9	319,7	1%
CL 34 N, Av 3N, CL 25, CR 1	N-S	176,4	173,7	2%
	S-N	132,8	133,5	-1%
Av. Suroriental, CL 13 - CR 36	N-S	205,9	212,0	-3%
	S-N	63,4	72,3	-12%

Tabla 3 Tiempos de viaje promedio y su diferencia entre escenarios, según límite máximo de velocidad
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

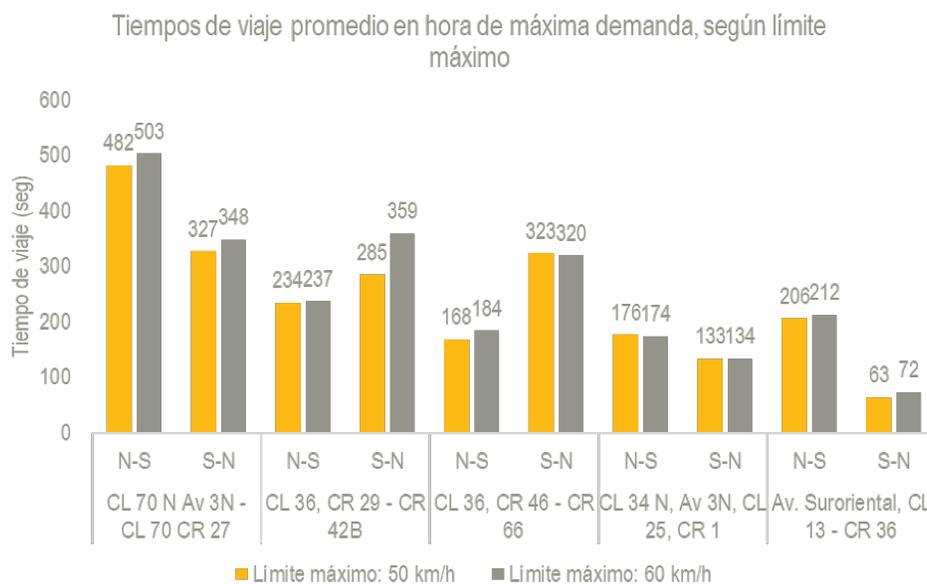


Figura 33 Tiempos de viaje promedio en hora de máxima demanda, según límite máximo de velocidad
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020

Esto quiere decir que al reducir el límite de velocidad a 50 km/h los tiempos de viaje de los caleños no se verán afectados de forma significativa, y en algunos puntos se llega incluso a tener mejores condiciones de flujo con esta medida, como se mostró anteriormente. Este resultado está asociado a que al tener menos velocidades pico y un tránsito más fluido se puede lograr mayor densidad de tránsito en las vías (es decir, el paso ordenado de más vehículos en las vías en una hora determinada) y, por ende, mejor flujo. Además, estos resultados son conservadores debido a que no se tiene en cuenta el potencial impacto positivo en la congestión vehicular por cuenta de los siniestros viales que se evitarán con la reducción del límite. Un estudio de San Pablo, Brasil asegura que el impacto en la congestión vehicular al ocurrir un siniestro vial puede darse en ambos sentidos de la vía y llegar a durar hasta 3 horas para normalizarse (Instituto Cordial, 2020).



POTENCIAL DE VIDAS SALVADAS EN SANTIAGO DE CALI CON LA GESTIÓN DE VELOCIDAD

Como antecedente en el territorio nacional, para priorizar y estimar los efectos potenciales de la acción de la gestión de velocidad en Bogotá –en ese caso reducir el límite de 60km/h a 50km/h y hacer control con fuerza policial- se usaron datos georreferenciados de velocidad y de siniestralidad en las vías arteriales para todos los corredores. Los datos de velocidad, en ese caso, corresponden a registros usando tecnología wifi-bluetooth con los que se podían estimar los promedios de velocidad, percentil 85 y distribución de los datos de velocidad para cualquier segmento de la red arterial. Junto a estos datos, se usaron los datos reportados en la red arterial de víctimas. Con estos datos se hizo una estimación del potencial de reducción de víctimas, donde resultaron prioritarios los corredores con mayor tasa de víctimas y mayores velocidades registradas (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019).

Ahora bien, mientras en Santiago de Cali antes de la pandemia no existía una concentración de fatalidades en una zona puntual, y por lo tanto, se aconseja una estrategia global; esta estrategia global debe contemplar unos pasos y priorizaciones con el objetivo de controlar la gestión de velocidad de acuerdo a los recursos locales y disponibilidad del personal de control. Asimismo, la priorización de corredores ha sido efectivo en otros lugares del mundo, como Bogotá, para conocer cómo mejorar las acciones de la gestión de velocidad entendido como un proceso continuo de la ciudad. Por tal motivo, a continuación, se realiza un estudio de cuáles son los corredores arteriales que deben priorizarse. Para ese motivo en Santiago de Cali se adaptó la metodología mencionada anteriormente de acuerdo a los datos disponibles y al contexto local. Primero, se identificaron las víctimas de siniestros de tránsito en la red arterial y luego se recolectaron datos de velocidad en los corredores con mayor concentración de víctimas. De esta forma, se procedió a encontrar el potencial de reducción de víctimas con la siguiente fórmula que corresponde al modelo desarrollado para establecer la relación entre las víctimas y la velocidad promedio (Greibe, 2005).

$$F_1 = F_0 \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^{3,6}$$

Donde:

F1 es el número de fatalidades después

F0 es el número de fatalidades antes

V1 es la velocidad promedio después

V0 es la velocidad promedio antes

3,6 es el exponente estimado de múltiples estudios para el impacto de la velocidad en la cantidad de eventos con fatalidades. Este coeficiente toma el valor de 2 para estimar cambio en heridas.

Esta relación se puede ver gráficamente así:

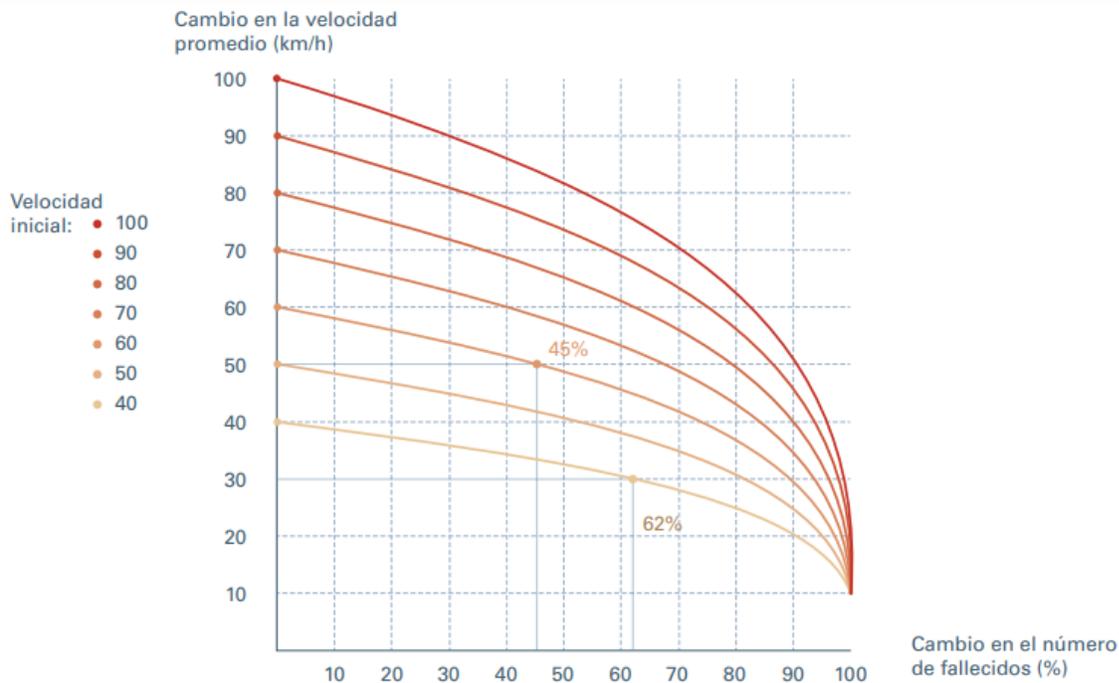


Figura 34 Cambio en la velocidad promedio según fórmula de Greibe, 2005
Fuente: WRI Ross Center, 2017 con datos de Greibe (2005).

Datos y metodología

Antes de iniciar el análisis de datos se tomó la red vial arterial de la ciudad de Santiago de Cali, y los tramos viales se agruparon en corredores completos, de inicio a fin, por toda la ciudad. Es importante considerar la red en estas unidades, ya que la medida de gestión de velocidad – cambio de límite de velocidad- es recomendable que se aplique en toda la extensión del corredor y no por tramos. De esta forma se facilita el proceso de socialización y comunicación con la ciudadanía, y además se optimiza la organización de los operativos de control.

Siniestralidad

Para encontrar los corredores con mayor prioridad de implementación de la estrategia de gestión de velocidad se contó con los datos de siniestralidad entre los años 2017 y 2019 georreferenciados. Luego se seleccionaron los diez corredores con mayor cantidad de siniestros con víctimas. Para lograr esto, se tomaron específicamente los puntos georreferenciados ubicados en un radio de 60 metros de los corredores arteriales primarios y un radio de 50 metros de los corredores arteriales secundarios.

Posteriormente, se asignó cada siniestro al corredor arterial más cercano. Asimismo, se contó con todos los siniestros en vías arteriales para hacer la estimación del potencial total de reducción de



víctimas de la medida una vez esté completamente implementada. La cantidad total de siniestros con víctimas (2017-2019) en vías arteriales fueron 14,162, de los cuales 652 fueron con fallecidos. Cabe resaltar que 986 (5% del total) siniestros con víctimas -133 (20% del total) con fallecidos no contaban con georreferenciación por lo que el potencial de reducción en heridas y, en especial, de fatalidades puede ser mayor.

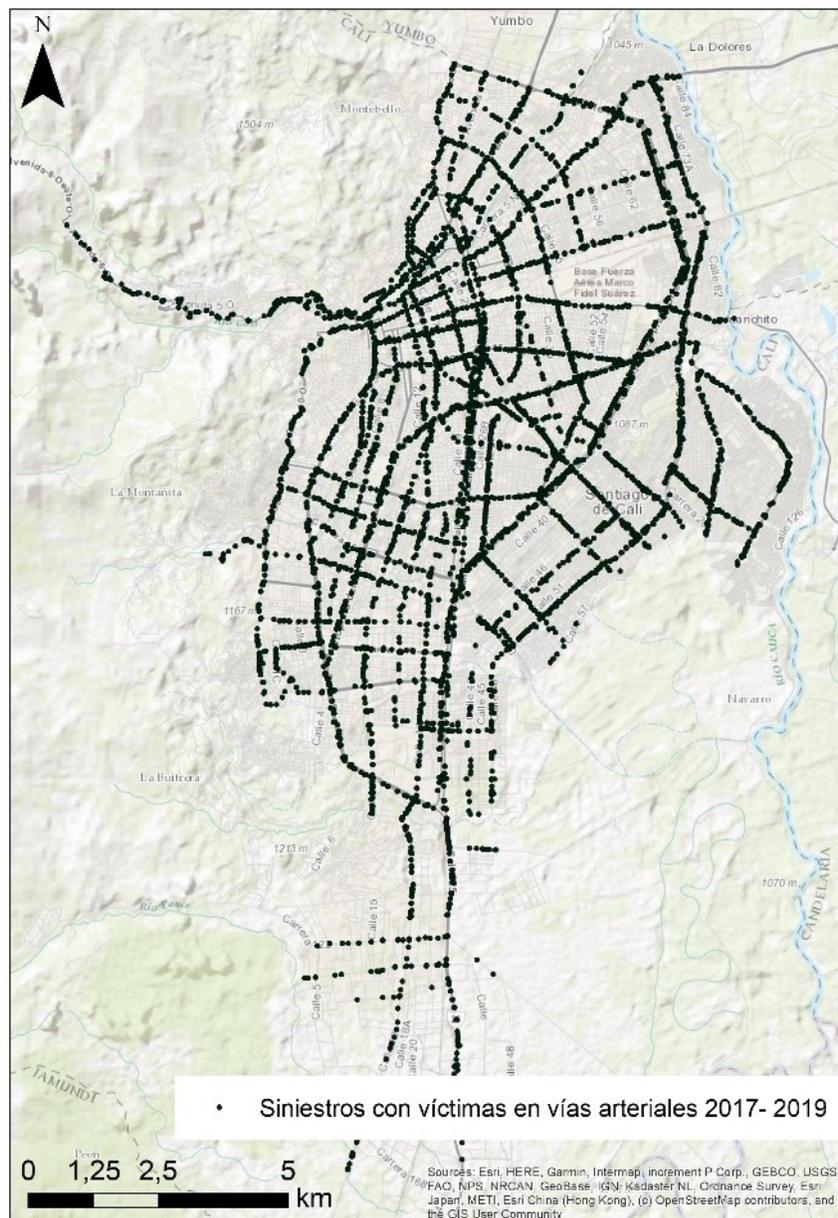


Figura 35 Siniestros con víctimas georreferenciados en la red arterial de Santiago de Cali 2017-2019
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020



Velocidad

Para la identificación de los tramos prioritarios se seleccionaron los 10 corredores viales con mayor cantidad de siniestros con víctimas para estudiar su velocidad promedio. Por medio de la plataforma de consulta “Google API Distance Matrix”, se consultaron los registros de tiempo de viaje a lo largo de diferentes horas del día en tramos seleccionados a conveniencia, con lo cual se llevó a cabo un análisis de variación geográfica y temporal de las velocidades promedio de recorrido del tráfico automotor a lo largo de los corredores priorizados.

Estos datos de velocidad promedio de Google API se complementaron con los recolectados por las cámaras de velocidad, que guardan del orden de 19 millones de datos mensualmente. Se utilizaron los datos del mes de septiembre por considerarse como mes típico. La razón por la que se usan las dos fuentes de datos es porque Google API no tiene el sesgo de ser control de velocidad y, por lo tanto, las velocidades promedio allí registradas son más confiables, sin embargo, en esta fuente no se pueden obtener las distribuciones de las velocidades (por ejemplo, para identificar la proporción de vehículos a más de 50km/h) mientras que en los datos de las cámaras sí es posible.

De esta manera, con los datos de las distribuciones de velocidad de las cámaras se estimó la velocidad después de una gestión de velocidad asumiendo una distribución de velocidades igual en los datos de las cámaras y el resto de la ciudad, que en este caso tiene sentido por la relación lineal entre los excesos de velocidad y la velocidad promedio. De esta manera, se utiliza la siguiente relación para estimar los cambios de velocidad.

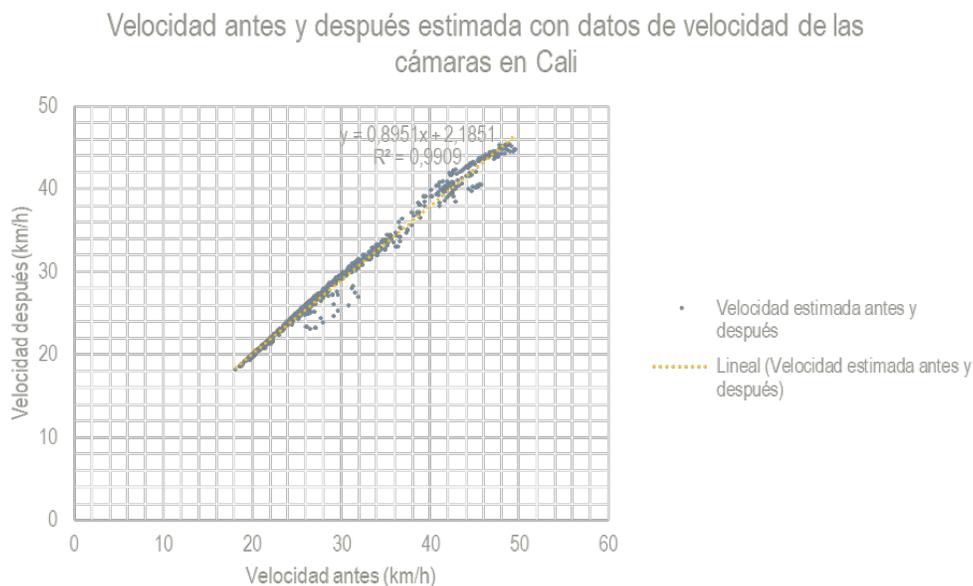


Figura 36 Relación entre la velocidad antes de gestión de velocidad y la estimada después según las distribuciones de velocidad en Santiago de Cali

Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020



Finalmente, por medio de la herramienta digital Google API Distance Matrix, podemos conocer las velocidades promedio generales para diferentes vías arteriales de la ciudad de Santiago de Cali (ver Figura 37). Se observa a partir de la gráfica lo siguiente:

- Se halló en la Autopista Sur una velocidad promedio mayor a 50 km/h, lo que quiere decir que más de la mitad de conductores exceden la velocidad límite deseada en este corredor.
- En 9 de los 10 corredores con mayor cantidad de víctimas de Cali hay velocidades promedio por encima de 28 km/h y de 30,6 km/h, lo que permite suponer que existen porcentajes considerables de conductores que exceden la velocidad límite deseada en todos ellos.
- Al analizar la velocidad promedio en diez corredores priorizados (ver sección siguiente - Resultados en corredores), se encontró en todos los casos que la velocidad promedio en horas de la noche (comprendido como el período entre 8pm y 6 am) es mayor que la velocidad promedio en horas del día. La diferencia promedio es de **2,7 km/h**, con diferencias de hasta 4,5 y 4,6 km/h en la Avenida 3 Norte y la Autopista del Sur respectivamente (ver Figura 38).

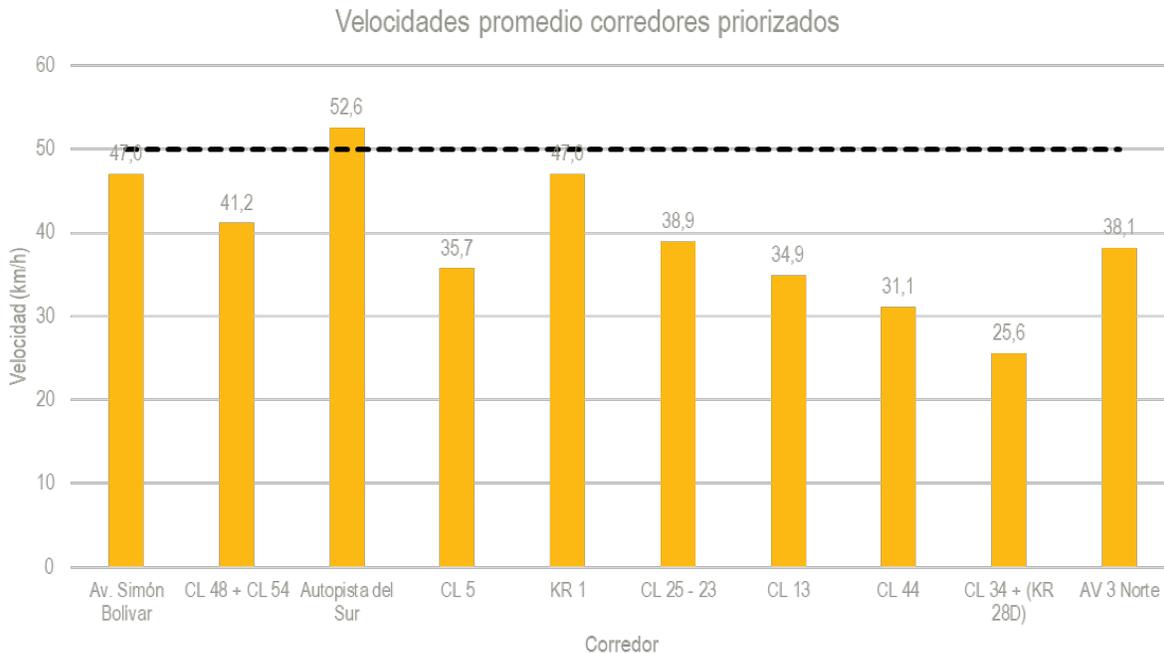


Figura 37 Velocidades promedio corredores priorizados
Fuente: WRI con datos de Google API, 2020



Velocidades promedio en el día y la noche

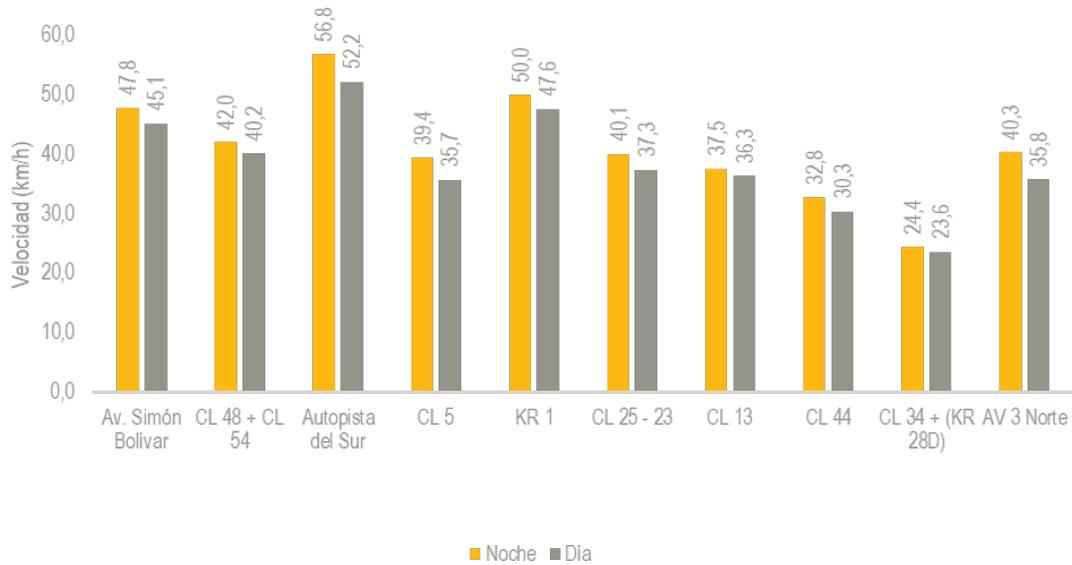


Figura 38. Velocidades promedio diferenciadas entre día y noche para corredores priorizados.
Fuente: WRI con datos de Google API, 2020

Resultados en corredores

De acuerdo al análisis de siniestralidad, los 10 corredores seleccionados se organizaron teniendo en cuenta el indicador de siniestros con víctimas por kilómetro. De esta forma se obtuvo que los corredores más críticos en términos de siniestralidad fueron la CL 25-23, la Autopista Sur-Oriental y la Avenida Simón Bolívar.

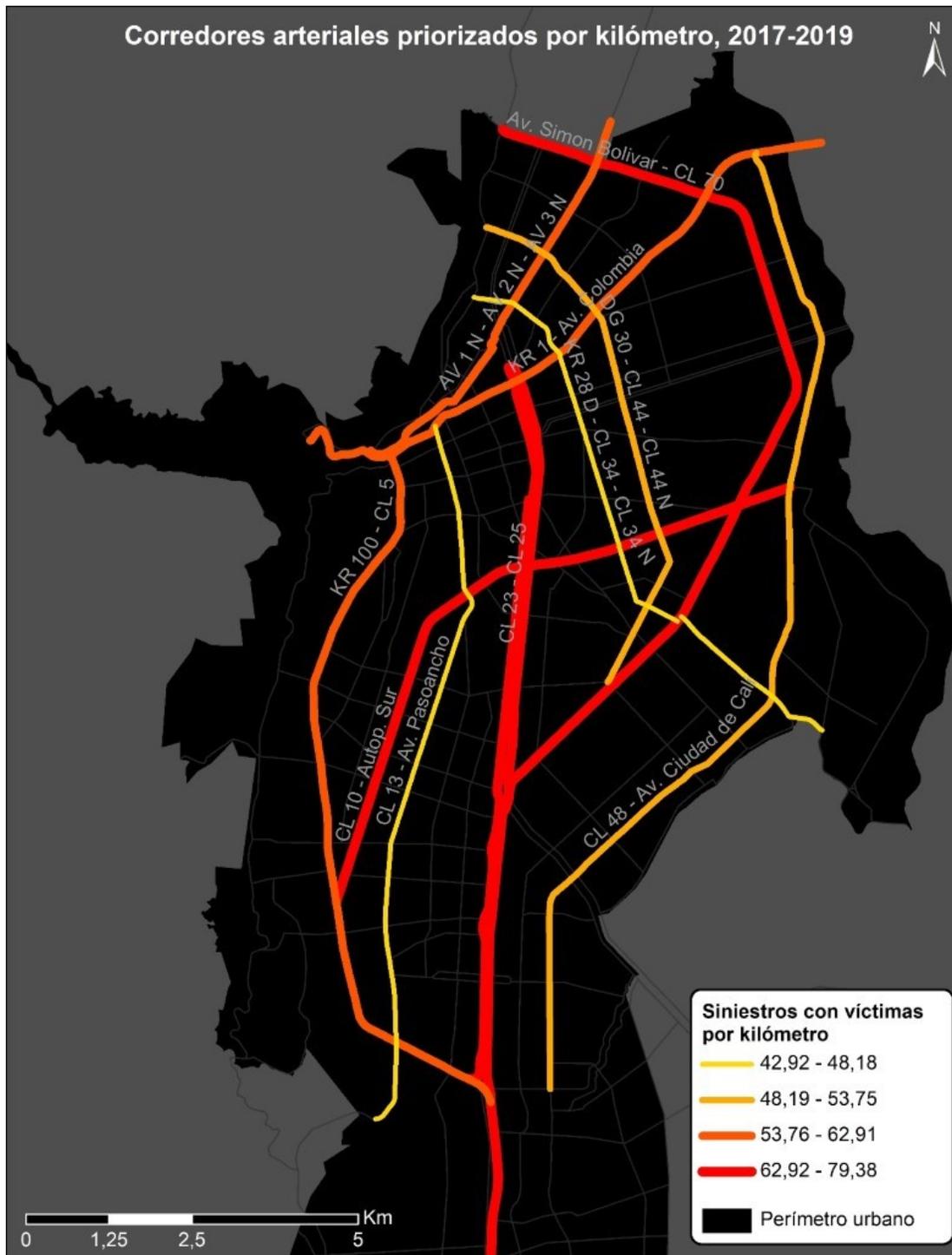


Figura 39 Tasa de siniestralidad en corredores priorizados
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad, 2020



Integrando el análisis de siniestralidad y de velocidad, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

<i>CORREDOR</i>	<i>LONG. (KM)</i>	<i>VELOCIDAD PROMEDIO CORREDOR (G. API)</i>	<i>SINIESTROS CON VÍCTIMAS (SV)</i>	<i>FATALIDAD ES (F)</i>	<i>SINIESTROS CON VÍCTIMAS /KM</i>	<i>FATALIDADE S/KM</i>
CL 25 - 23	6.8	39	542	30	79.4	4.4
AUTOPIST A SUR- ORIENTAL	10.3	53	785	50	76.4	4.9
AV. SIMÓN BOLÍVAR	21.9	47	1663	87	75.8	4.0
CL 5	11.3	36	710	47	62.9	4.2
KR 1	9.9	47	612	21	61.8	2.1
AV 3 NORTE	6.5	38	381	15	58.9	2.3
CL 44	8.1	31	435	14	53.8	1.7
CL 48 + CL 54	15.8	41	821	33	51.8	2.1
CL 13	10.8	35	522	17	48.2	1.6
CL 34 + (KR 28D)	9.0	26	387	12	42.9	1.3

*Tabla 4 Longitud, siniestralidad y velocidad en los diez corredores con mayor cantidad de víctimas reportadas
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad y Google API, 2020*



Priorización segmentos corredor crítico

Posteriormente, al evaluar ambos análisis (siniestralidad y velocidad) se identificó el **potencial de mejora** haciendo uso el modelo de potencias (Greibe, 2005).

Prioridad	CORREDOR	Δ VEL	Δ SV	Δ F	Δ SV/KM	Δ F/KM
1	AUTOPISTA SUR-ORIENTAL	14	353.1	22.5	34.4	2.2
2	AV. SIMÓN BOLÍVAR	10	638.2	33.4	29.1	1.5
3	KR 1	10	234.6	8.1	23.7	0.8
4	CL 25 - 23	6	152.9	8.5	22.4	1.2
5	CL 48 + CL 54	7	255.3	10.3	16.1	0.6
6	AV 3 NORTE	6	103.6	4.1	16.0	0.6
7	CL 5	5	170.4	11.3	15.1	1.0
8	CL 13	4	119.7	3.9	11.0	0.4
9	CL 44	3	76.8	2.5	9.5	0.3
10	CL 34 + (KR 28D)	1	38.0	1.2	4.2	0.1

Tabla 5 Cambio potencial en velocidad y víctimas en cada corredor seleccionado
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad y Google API, 2020

Resultados a nivel ciudad

Utilizando la misma metodología anterior, se hizo el análisis del potencial a nivel ciudad usando el total de víctimas en la red arterial (14,162 con heridos y 654 con fallecidos) y la distribución de velocidad de todas las cámaras y las velocidades promedio provenientes de Google API.

Usando una velocidad promedio, durante todo el día y todos los sentidos, de 40,4 km/h antes y una velocidad de 36,5 km/h se estima que se **reduciría la cantidad** de heridas en un 18,2% y de fatalidades en un 30,5% lo que es equivalente a **2,587 heridas y 199 fatalidades menos**. A continuación, se muestra una estimación de un análisis de sensibilidad del impacto de esta medida para un escenario de bajo impacto (cambio de solo 5% en la velocidad) y para alto impacto (15%).

Cabe resaltar que, incluso en el escenario pesimista, la reducción estimada va a ser superior a la meta del Plan de Seguridad Vial de Santiago de Cali del 7.65% anual.



	<i>Cambio en heridas</i>	<i>Cambio en Fatalidades</i>	<i>% de reducción anual</i>
Bajo impacto (5% cambio velocidad)	1,381	110	11%
Mejor estimación (10% cambio de velocidad)	2,587	199	20%
Alto impacto (15% cambio velocidad)	3,930	290	29%

*Tabla 6 Estimación de un análisis de sensibilidad del impacto
Fuente: WRI, 2020*

ANÁLISIS ECONÓMICO

Los siniestros viales implican altos costos económicos para la sociedad, que van más allá de las pérdidas humanas y económicas que sufren las familias (Banco Mundial, 2017). Al afectar la salud y la vida de las personas, los siniestros viales son una barrera al desarrollo económico y social, en cuanto reducen la productividad laboral, la capacidad de educarse y la capacidad de ahorrar e invertir (Banco Mundial, 2017), especialmente si suceden en los jóvenes. Según la Organización Mundial de la Salud, estos siniestros representan el 3% del Producto Interno Bruto (PIB) en India e Indonesia, el 1,7% en México, el 1,2% en Brasil y el 1,1% en Turquía (WRI, 2016). En Colombia, se estima que estos costos pueden llegar a representar el 3.1% del PIB (Bhalla & Esteban Diez - Roux, 2013).

Utilizando diferentes metodologías de valoración económica de los siniestros viales, se realizó un análisis de los costos económicos directos y en bienestar en los que ha incurrido la ciudad de Santiago de Cali a causa de los siniestros viales. También, se analizaron los beneficios económicos y los costos que traería para la ciudad la implementación de medidas de gestión de la velocidad.

En la Tabla 7 y la Tabla 8 se presentan los resultados del análisis.

Costos totales de la siniestralidad 2017-2019 (millones de COP, precios constantes)				
	2017	2018	2019	Total
Pérdidas en bienestar	\$ 761.847,2	\$ 838.293,8	\$ 749.928,4	\$ 2.350.069,3
Transacciones directas	\$ 454.402,1	\$ 439.431,1	\$ 417.962,4	\$ 1.311.795,6
Total	\$ 1.216.249,3	\$ 1.277.724,9	\$ 1.167.890,7	\$ 3.661.864,9

*Tabla 7 Pérdidas directas y en bienestar asociados a la siniestralidad
Fuente: WRI con datos de Banco Mundial, Secretaría de Movilidad de Cali, Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, 2020*



Beneficios gestión de la velocidad en la red arterial		
	Logros en tres años	Beneficios asociados (millones de COP, precios constantes)
Reducción en muertos	199,2	\$ 244.240,4
Reducción en heridos graves	802,8	\$ 239.092,8
	Total	\$ 483.333,2
Análisis costo-beneficio de la gestión de velocidad en diez corredores con mayor siniestralidad		
	Logros en tres años	Beneficios asociados (millones de COP, precios constantes)
Reducción en muertos	105,8	\$ 129.753,1
Costos asociados		\$ 17.371,4
Razón costo/beneficios		0,13

Tabla 8 Beneficios de la gestión de la velocidad en la red arterial de la ciudad y en los diez corredores priorizados y análisis costo-beneficio de la gestión de la velocidad en los diez corredores priorizados
Fuente: WRI con datos de Banco Mundial, Secretaría de Movilidad de Cali, Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, 2020

A continuación, se desarrollan las metodologías utilizadas para obtener los costos directos y en bienestar que ocasionó la siniestralidad en Santiago de Cali entre 2017 y 2019 y el análisis costo-beneficio de la implementación de la estrategia de gestión de velocidad en la ciudad.

Costos directos y en bienestar de la siniestralidad

Por medio de la metodología de valor estadístico de la vida desarrollada por Bhalla et al. (2013), se establecieron los costos económicos en los cuales ha incurrido la ciudad debido a las pérdidas humanas ocasionadas por siniestros viales. Esta metodología relaciona la disponibilidad a pagar para evitar lesiones con el PIB per cápita, para así obtener las pérdidas económicas asociadas a muertes y lesiones en las vías.

Para las muertes, los autores calculan que el valor estadístico de la vida asciende a 70 veces el PIB per cápita nacional⁷ por cada fatalidad para los países en desarrollo. A partir de este cálculo, puede estimarse que las pérdidas económicas asociadas a **las muertes por siniestros viales ocurridas entre 2017 y 2019 en Santiago de Cali han representado una pérdida cercana a \$1.187,54 miles de millones de pesos a precios constantes** (correspondientes a \$384,98 miles de millones en 2017, \$423,61 miles de millones en 2018 y \$378,95 miles de millones en 2019).

⁷ De acuerdo con Boiteux and Baumstark, se recomienda utilizar el ingreso nacional para evitar distorsiones en la toma de decisiones de inversión pública causadas por las diferencias en ingresos regionales (Bocarejo, y otros, 2011). Los datos del PIB per cápita fueron tomados del Banco Mundial (2020).



Para los heridos graves, los autores calculan que el valor estadístico de la vida asciende a 17 veces el PIB per cápita. Dado que los datos de víctimas no fatales no están discriminados por nivel de gravedad, se estimó el número de lesionados graves a partir de la relación entre la tasa de muertos en siniestros viales por cada 100.000 habitantes y la tasa de hospitalizaciones por siniestros viales por cada 100.000 habitantes presentadas en el estudio de Bhalla et al. (2013). Los resultados de la estimación arrojaron que en Santiago de Cali se presentaron aproximadamente 1,301, 1,418 y 1,245 heridos graves entre 2017 y 2019, con **pérdidas económicas asociadas cercanas a los de \$1.162,52 miles de millones de pesos a precios constantes** (correspondientes a \$376,866 miles de millones en 2017, \$414,68 miles de millones en 2018 y \$370,97 miles de millones en 2019). Los resultados de las pérdidas en bienestar ocasionadas por los muertos y heridos graves en siniestros viales se presentan en la Tabla 9.

Pérdidas en bienestar asociadas a la siniestralidad (millones de COP, precios constantes)				
	2017	2018	2019	Total
Muertos	\$ 384.980,5	\$ 423.610,9	\$ 378.957,6	\$ 1.187.549,0
Heridos graves	\$ 376.866,7	\$ 414.682,9	\$ 370.970,8	\$ 1.162.520,4

Tabla 9 Pérdidas en bienestar asociados a la siniestralidad
Fuente: WRI con datos de Banco Mundial, Secretaría de Movilidad de Cali, 2020

Adicionalmente, se calcularon los costos directos en los que ha incurrido la ciudad debido a los siniestros con muertes y heridos, como gastos administrativos, gastos médicos y gastos asociados a los daños a la propiedad. A partir de los datos presentados por Bocarejo et al. (2011) actualizados a precios de 2017, 2018 y 2019, se estimaron los costos transaccionales directos ocasionados por los siniestros con muertes y con lesionados en los que ha incurrido Santiago de Cali entre 2017 y 2019. Los valores actualizados se presentan en la Tabla 10.



		2017	2018	2019
Siniestros con muertos		316	351	303
<i>Valor unitario siniestro con muertos (millones de COP)</i>				
	2010	2017	2018	2019
Aseguradoras	25,8	34,0	35,1	36,4
Administración de justicia	18,19	24,0	24,8	25,6
Costos médicos	1,5	2,0	2,0	2,1
Costos daños a la propiedad	14,4	19,0	19,6	20,3
		2017	2018	2018
Siniestros con heridos		6.988	6.475	5.974
<i>Valor unitario siniestro con heridos (millones de COP)</i>				
	2010	2017	2018	2019
Aseguradoras	25,8	34,0	35,1	36,4
Administración de justicia	15,8	20,8	21,5	22,3
Costos médicos	0,9	1,2	1,2	1,3
Costos daños a la propiedad	4,1	5,4	5,6	5,8

*Tabla 10 Costos directos de los siniestros con muertos y heridos
Fuente: WRI con datos de Bocarejo et al., 2011*

El estimado de los costos directos arrojó que, durante estos tres años, **la ciudad ha tenido que pagar \$1.158,52 miles de millones de pesos** por costos administrativos (\$716, 54 miles de millones por gastos de aseguradoras y \$441,97 miles de millones por administración de justicia), \$25,78 miles de millones por costos médicos y \$127,48 miles de millones por costos asociados a daños a la propiedad, para **un total de \$1.311,79 miles de millones de pesos para siniestros con muertes y heridos** (Ver Tabla 11).



	Costos directos por siniestros con víctimas fatales (millones de COP, precios constantes)			
	2017	2018	2019	Total
Aseguradoras	\$ 10.751,6	\$ 12.329,4	\$ 11.018,5	\$ 34.099,6
Administración de justicia	\$ 7.580,3	\$ 8.692,7	\$ 7.768,5	\$ 24.041,5
Costos médicos	\$ 625,1	\$ 716,8	\$ 640,6	\$ 1.982,5
Costos daños a la propiedad	\$ 6.000,9	\$ 6.881,5	\$ 6.149,9	\$ 19.032,3
Total costos directos siniestros con fatalidades	\$ 24.958,0	\$ 28.620,5	\$ 25.577,5	\$ 79.156,0
	Costos directos por siniestros con heridos (millones de COP, precios constantes)			
	2017	2018	2019	Total
Aseguradoras	\$ 237.760,9	\$ 227.444,5	\$ 217.243,1	\$ 682.448,5
Administración de justicia	\$ 145.605,5	\$ 139.287,7	\$ 133.040,4	\$ 417.933,6
Costos médicos	\$ 8.294,0	\$ 7.934,1	\$ 7.578,2	\$ 23.806,3
Costos daños a la propiedad	\$ 37.783,7	\$ 36.144,3	\$ 34.523,1	\$ 108.451,1
Total costos directos siniestros con heridos	\$ 429.444,2	\$ 410.810,6	\$ 392.384,9	\$ 1.232.639,6
	2017	2018	2019	Total
Total transacciones directas asociadas a la siniestralidad	\$ 454.402,1	\$ 439.431,1	\$ 417.962,4	\$ 1.311.795,6

Tabla 11 Pérdidas directas asociadas a la siniestralidad
Fuente: WRI con datos de Bocarejo et al., Secretaría de Movilidad de Cali, 2020

Sumando los costos económicos y los costos directos asociados a los siniestros viales con heridos y fatalidades, se obtuvo que **la ciudad ha tenido pérdidas en bienestar cercanas a \$3.661,86 miles de millones de pesos a precios constantes entre 2017 y 2019 debido a la falta de seguridad vial (ver Tabla 12). Para los siniestros de 2019, esta pérdida es**



cercana a los \$1.167,89 miles de millones de pesos, equivalente al 2,8% del PIB de la ciudad en 2019⁸.

Costos totales de la siniestralidad 2017-2019 (millones de COP, precios constantes)				
	2017	2018	2019	Total
Pérdidas en bienestar	\$ 761.847,2	\$ 838.293,8	\$ 749.928,4	\$ 2.350.069,3
Transacciones directas	\$ 454.402,1	\$ 439.431,1	\$ 417.962,4	\$ 1.311.795,6
Total	\$ 1.216.249,3	\$ 1.277.724,9	\$ 1.167.890,7	\$ 3.661.864,9

Tabla 12 Pérdidas directas y en bienestar asociados a la siniestralidad

Fuente: WRI con datos de Banco Mundial, Secretaría de Movilidad de Cali, Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, 2020

Beneficios y costos económicos de la gestión de velocidad

Como ya se analizó, la gestión de la velocidad a lo largo de la red arterial de la ciudad permitiría salvar aproximadamente 199 vidas en los próximos tres años, es decir 66 vidas al año, a la vez que disminuiría los heridos en un valor cercano a los 2.587 para el mismo periodo. Aplicando la metodología de valor estadístico de la vida descrita anteriormente, se calculó que **los beneficios económicos de esta política serían cercanos a \$483,33 miles de millones de pesos en los siguientes tres años** (correspondientes a \$244,24 miles de millones de pesos por las vidas salvadas y a \$239,09 miles de millones de pesos por la disminución aproximada de 802 en el número de heridos graves), equivalentes a \$161,1 miles de millones de pesos al año⁹.

Sin embargo, es importante considerar que la gestión de velocidad es un proceso de larga duración, cuya implementación puede estar sujeta a restricciones presupuestales y administrativas. **Suponiendo que esta medida se aplicara en sus primeras fases en los diez corredores con mayor siniestralidad de la ciudad¹⁰, los cálculos indican que se salvarían alrededor de 105 vidas en los próximos tres años**, es decir alrededor de 35

⁸ Las pérdidas por siniestros viales en el año 2019 son mayores a la inversión de COP \$1.084,0 miles de millones de pesos que se realizó para construir el Túnel de la Línea (COP \$897 miles de millones de pesos) y las obras anexas (COP \$187 miles de millones de pesos). Este cálculo fue realizado a partir del COMUNICADO DE PRENSA No. 114., 2020: Todo está listo, verificó Comisión de la Contraloría General que visitó obras del Túnel de La Línea, que se entregarán el viernes 4 de septiembre. (Contraloría General de la República, 2020.)

⁹ Esta cifra es superior a los presupuestos para 2020 de la Secretaría de Bienestar social (COP \$104,4 miles de millones de pesos) y de la Secretaría de Seguridad (COP \$68,4 miles de millones) (Departamento administrativo de Hacienda, 2019)

¹⁰ Estos corredores son la Avenida Simón Bolívar (21,9 km), la Calle 4 (15,8 km), la Autopista Sur-Oriental (10,3 km), la Calle 5 (11,3 km), la Carrera 1 (9,9 km), la Calle 25 (6,8 km), la Calle 13 (10,8 km), la Calle 44 (8,1 km), la Calle 34 (9,0 km) y la Avenida 3 Norte (6,5 km).



vidas al año. **Esto generaría beneficios económicos de \$129.753,12 millones de pesos en los próximos tres años**, es decir \$43.251,04 millones de pesos cada año¹¹ (Ver Tabla 14).

Beneficios de la gestión de la velocidad en la red arterial de toda la ciudad		
	<i>Disminución en tres años</i>	<i>Beneficios asociados (millones de pesos, precios constantes)</i>
Muertos	199,2	\$ 244.240,4
Heridos graves	802,8	\$ 239.092,8
Total		\$ 483.333,2

Tabla 13 Beneficios de la gestión de la velocidad en la red arterial de la ciudad
Fuente: WRI con datos de Banco Mundial, Secretaría de Movilidad de Cali, 2020

Se calculó que estos beneficios serían mucho mayores a los costos en los que incurriría la ciudad implementando las medidas de gestión de velocidad. A partir de datos suministrados por la Secretaría de Movilidad de Santiago de Cali y la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, se estimaron los costos en los que tendría que incurrir la ciudad para cambiar la señalización y aumentar el número de cámaras en estos diez corredores, así como divulgar a la ciudadanía de la gestión de la velocidad a través de medios de comunicación. Estimando un costo para implementación, reemplazo y remoción de señalización horizontales y verticales de \$2.181.302 pesos por kilómetro a partir de los datos de Bogotá (ver Anexo 2), adecuar los 110,4 kilómetros de los diez corredores tendrían un costo cercano a los \$240,92 millones de pesos en precios de 2019¹². Adicionalmente, actualizando a precios de 2019 los costos de cada cámara de velocidad a partir de los datos suministrados por la Secretaría de Movilidad de Santiago de Cali, duplicar el número de cámaras en estos corredores, pasando de 21 a 42, tendría un costo de \$10.967 millones de pesos. Los costos de divulgación de la estrategia de gestión de la velocidad se estiman en \$6.650 millones, basado en los costos de Bogotá. De esta manera, **la implementación de esta medida tendría costos aproximados de \$17.858,8 millones de pesos, el 13,7% de los beneficios económicos asociados a la disminución de muertos en las vías** (ver Tabla 14). En el Anexo 1 se incluyeron otros escenarios modelados como parte de un análisis de sensibilidad. En este, se modificaron los supuestos utilizados para calcular el valor económico de

¹¹ Este valor equivale a los costos de construir 10,3 km de corredores troncales asociados al SITM MIO, 206,9 km de ciclo-infraestructura o dos sedes educativas oficiales nuevas. Estos valores fueron calculados a partir del Informe de gestión de Metro Cali S.A., vigencia 2019 (Metro Cali, 2019) y del Plan municipal de infraestructura educativa (Secretaría de educación municipal, 2019).

¹² Para Cali, se cuenta con un presupuesto estimado de remoción y reemplazo de señales verticales para la Avenida Sur-Oriental cercano a \$12,204,000.00, equivalentes a \$ \$1.184.854 pesos por kilómetro (ver Anexo 3). *Se decide dejar los costos estimados de Bogotá ya que incluyen señalización horizontal la cual es altamente recomendada.*



la vida y el potencial de reducción de muertos y heridos debido a las medidas de gestión de velocidad.

Beneficios y costos de la gestión de la velocidad en los 10 corredores priorizados		
	<i>Disminución de muertos en tres años</i>	<i>Beneficios asociados (millones de pesos, precios constantes)</i>
Beneficios asociados a la gestión de velocidad en 10 corredores priorizados	105,8	\$ 129.753,1
Costos asociados		\$ 17.858,8
Razón costo/beneficios		0,13

Tabla 14 Análisis costo-beneficio de la gestión de la velocidad en los diez corredores priorizados
Fuente: WRI con datos de Secretaría de Movilidad de Cali, Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, 2020

Es importante mencionar que este estudio únicamente considera los costos asociados a los siniestros viales y a la gestión de velocidad en términos de vidas y salud. Otro estudio podría analizar con mayor detalle los costos en términos de tiempo perdido y cambio en el consumo de combustible debido a la gestión de la velocidad. Sin embargo, es importante mencionar algunas precisiones sobre estos dos aspectos.

La gestión del límite de velocidad únicamente afecta a los vehículos que se desplazan a velocidades mayores al límite de velocidad establecido. Reducir la velocidad de un corredor de 60km/h a 50km/h únicamente aplica para los desplazamientos que se realizan a velocidades mayores a 50km/h, y significan un aumento en los tiempos de los recorridos de máximo 12 segundos para distancias menores a 10 kilómetros. Por el contrario, la gestión de velocidad no modifica los tiempos de viaje para los recorridos que se realizan a menos de 50km/h. Incluso, hay casos en los que la gestión de velocidad puede mejorar los tiempos de viaje, como lo muestran los resultados de las modelaciones hechas para Cali, porque se mejora el flujo vehicular y se disminuyen las demoras ocasionadas por colisiones en las vías.



CONCLUSIONES

- En la ciudad de Cali cada día que pasa fallece una persona en promedio aproximado por causa de los siniestros viales, y los usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y usuarios de motocicleta) son los más afectados por el flagelo de la inseguridad vial. Entre 2017-2019 el 96% de las víctimas fatales fueron usuarios vulnerables, y cerca del 70% del total de fatalidades sucedió con involucramiento de al menos una motocicleta. Teniendo presente estas cifras, es necesario considerar estrategias enfocadas hacia la seguridad de los motociclistas.
- El modo con mayor riesgo por viajes realizados es la motocicleta. Sin embargo, el riesgo de cada viaje realizado a pie y en bicicleta es muy alto si se compara con otras ciudades como San Pablo o Bogotá.
- El tránsito en Santiago de Cali disminuyó 75% en tiempo de aislamiento, sin embargo, la cantidad de fatalidades en la vía no disminuyó en la misma medida. Esto implica que la gravedad o severidad de los siniestros aumentó durante la pandemia. Una posible causa es el aumento en velocidades promedio visto en la pandemia. Asimismo, se observó un cambio modal hacia la motocicleta (por mayor uso y ventas de motos) durante la pandemia que puede implicar cambios en la composición vehicular a largo plazo. Es fundamental complementar las medidas de gestión de velocidad con medidas de gestión de la demanda hacia modos más sostenibles como el transporte público, la bicicleta o caminar. En estos dos últimos, la infraestructura inclusiva y que priorice a los peatones y ciclistas puede ser fundamental y a su vez ayudar con la gestión de velocidad, como por ejemplo estrechamientos de calzadas o infraestructura ciclista en carriles vehiculares.
- Antes de la pandemia, los siniestros con víctimas en Santiago de Cali eran dispersos. Esto implica que, en comparación con otras ciudades, una estrategia de tratamiento de puntos de alta concentración de víctimas no va a ser tan eficiente para la ciudad. Sin embargo, la mayoría de víctimas fatales se presentan en vías arteriales lo que resalta la necesidad de tomar medidas como la gestión de velocidad para poder atacar el problema de manera eficiente. Durante la pandemia sí se identificaron puntos críticos o clústeres de víctimas en la Autopista Sur-Oriental.
- El análisis por siniestralidad y velocidad indica que el corredor con mayor potencial de reducción de siniestros con víctimas por kilómetro es la **Autopista Sur-Oriental** seguido de la Av. Simón Bolívar.
- El promedio de velocidad proveniente de las cámaras es de 30.6 km/h mientras que el estimado con Google API fue de 40.4 km/h incluyendo horas de la noche y horas valle. Esto implica que las cámaras son efectivas en Santiago de Cali para reducir los picos velocidad.
- Es de destacar que en los corredores donde no se estima un alto potencial de reducción de víctimas puede que sí sea efectiva la medida ya que esta metodología es **conservadora** por usar como estimador la velocidad promedio registrada que puede ser mayor en las calles debido a limitaciones de los datos de Google API y de las cámaras. Asimismo, en estos corredores debe estudiarse si se deben tratar como corredores comerciales y hacer medidas adicionales para reducir la siniestralidad.
- Es necesario una estrategia como la gestión de velocidad en la ciudad que permitiría alcanzar mejores resultados de seguridad vial, y beneficiaría en gran medida a los diferentes actores



viales, especialmente a los usuarios vulnerables. El programa de gestión de velocidad se enfocaría en toda la ciudad y complementaría las estrategias de los corredores arteriales con zonas de calles comerciales y zonas 30 (zonas con velocidades de máximo 30 km/h).

- Entre 2017 y 2019, la siniestralidad generó pérdidas por vidas y heridos cercanas a \$3.661,86 miles de millones de pesos a precios constantes. Sólo en 2019, la cifra asciende al 2,8% del PIB de la ciudad. Implementando medidas de gestión de velocidad en los corredores con mayor siniestralidad, la ciudad obtendría beneficios cercanos a \$129.753 millones de pesos, 7 veces mayores a los costos de las medidas.



ANEXOS

Anexo 1. Análisis de sensibilidad

Los resultados del análisis económico presentado son consistentes con las metodologías utilizadas internacionalmente para estimar el número de vidas perdidas y heridos reducido por la gestión de velocidad, así como los beneficios económicos asociados a este. Sin embargo, hay una incertidumbre inherente a estas predicciones, por lo que un análisis de sensibilidad permite estimar cómo cambian estos impactos si cambian los valores utilizados en los análisis.

Para cuantificar el nivel de incertidumbre sobre los valores presentados en el análisis económico, se estimaron diferentes escenarios, cambiando los valores usados en las siguientes variables:

- Vidas salvadas por la gestión de la velocidad
- Valor estadístico de la vida

A continuación, se presentan los resultados de los escenarios.

Cambios en el potencial de la gestión de velocidad de salvar vidas

Los efectos de la gestión de la velocidad están sujetos a la acogida que tengan estas medidas por parte de la ciudadanía. Por esto, para analizar los cambios en los beneficios de la gestión de la velocidad, se asumieron dos escenarios. En el primero, hay una gran acogida de parte de la ciudadanía de las medidas de gestión de la velocidad, logrando una reducción de la velocidad promedio en 15%, que resulta en una reducción de 290 víctimas mortales en toda la ciudad. En el segundo, la acogida no es tan grande, logrando una reducción de la velocidad promedio en sólo 5%, que disminuye el potencial de reducción de muertes a 110. En la siguiente tabla se presentan los beneficios económicos de la reducción de víctimas de acuerdo a cada escenario.

Beneficios esperados de la gestión de velocidad (escenarios)		
	<i>Vidas salvadas</i>	<i>VSL (millones de pesos, precios constantes de 2019)</i>
Bajo impacto (5% de reducción de la velocidad)	110	134.904,0
Alto impacto (15% de reducción de la velocidad)	290	355.656,0

Tabla 15 Beneficios esperados de la gestión de velocidad
Fuente: WRI, 2020

Como puede verse, los beneficios económicos asociados a la reducción en muertes en ambos escenarios son bastante más altos que los costos de implementación de las medidas de gestión de la velocidad (estimados en COP \$17.371,4 para los diez corredores con mayor siniestralidad). En

este sentido, el análisis costo-beneficio arroja que implementar las medidas de gestión de la velocidad traería grandes beneficios en bienestar para la ciudad de Santiago de Cali.

Cambios en la metodología del valor estadístico de la vida

A partir de la metodología del capital humano (Bocarejo, y otros, 2011) para estimar los costos humanos de los siniestros viales, se calculó la producción que hubiese tenido una víctima de haber cumplido su esperanza de vida. Esta metodología estima el costo de las fatalidades en siniestros viales por medio de la diferencia entre la esperanza de vida al nacer y la edad promedio de los fallecidos, multiplicado por el PIB per cápita nacional.

Considerando que la edad promedio de las fatalidades en la ciudad de Santiago de Cali durante el 2019 fue de 48,16 años (ANSV, 2020) y que la esperanza de vida es de 76,35 años (Banco Mundial, s.f.), las personas fallecidas en siniestros viales dejan de vivir en promedio 28,34 años. Multiplicando por el valor del PIB per capita para este año (17,52 millones de pesos en precios constantes), se obtiene que los costos de cada fatalidad ascienden a COP\$496,94 millones. Esto significa que los beneficios obtenidos de la gestión de velocidad en toda la ciudad serían cercanos a COP\$98.967,37 millones en los siguientes tres años. Con estos cálculos, los costos de implementación de las medidas de gestión de velocidad sumarían alrededor del 17% de los beneficios obtenidos.



Anexo 2. Costo de implementación de señales en Bogotá

En la ciudad de Bogotá implementaron la reducción del límite de velocidad con la finalidad de reducir las víctimas en el tránsito. A continuación, se muestran los costos totales y por kilómetro de la medida en los 10 primeros corredores implementados.

Corredores	Longitud (Km)	Costo COP	COP/km
AK 68 - AC 100	18.1	\$ 8,261,189	\$ 456,419
Av. Boyacá	32.5	\$ 27,320,325	\$ 840,625
Av. Ciudad de Cali	21.8	\$ 38,661,983	\$ 1,773,485
AC 80	10.2	\$ 16,821,939	\$ 1,649,210
Av. de las Américas	8.1	\$ 18,313,297	\$ 2,260,901
Av. NQS (AK 9 - AK 30 - Autopista Sur)	27.1	\$ 174,003,296	\$ 6,420,786
Av. Primero de Mayo	13.1	\$ 1,428,000	\$ 109,008
Av. Suba	10.7	\$ 9,111,921	\$ 851,581
Av. Villavicencio	11	\$ 8,445,213	\$ 767,747
AC 13	9.7	\$ 20,582,008	\$ 2,121,856
Total	144.2	\$ 314,687,982	\$ 2,182,302

Tabla 16. Costos de implementación de señales (señal vertical, horizontal y remoción de señales antiguas). Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá.



Anexo 3. Costo de implementación de señales Av. Sur-Oriental

ITEM	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO DIRECTO	SUBTOTAL
1	UND	Fabricación, suministro e instalación de Señal Reglamentaria, Preventiva o informativa de 60 cm, reflectivo Alta Intensidad Tipo IV o superior, en lámina galvanizada C-16, pedestal en ángulo SR - SP cumpliendo con normatividad vigente.	10.00	\$ 294,333.33	\$ 2,943,333.33
2	UND	Retiro, suministro e instalación de Tableros para Señales Verticales. (Incluye señal adosada, Dúplex y todos los tamaños)	58.00	\$ 159,666.67	\$ 9,260,666.67
SUBTOTAL					\$ 12,204,000.00

Tabla 17 Costos de implementación de señales. Fuente: Secretaría de Movilidad de Cali.



TRABAJOS CITADOS

- Alcaldía de Santiago de Cali. (2018). *Plan Local de Seguridad Vial 2018-2021*. Santiago de Cali: Grupo de Investigación en Tránsito, Transporte y Viás-GITTV.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2019). *Programa de Gestión de Velocidad Bogotá Documento Soporte*. Bogotá.
- ANSV. (2020). *Cifras definitivas año 2019*. Obtenido de Observatorio Nacional de Seguridad Vial: <https://ansv.gov.co/observatorio/indexc990.html?op=Contenidos&sec=76>
- Archer, J., Fotheringham, N., Symmons, M., & Corben, B. (2008). The Impact of Lowered Speed Limits in Urban and Metropolitan Areas. *Monash University Accident Research Centre*(276), 71.
- Baldasano, J. M. (2010). 'Air pollution impacts of speed limitation measures in large cities: The need for improving traffic data in a metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 44(25), 2997–3006.
- Banco Mundial. (2017). *The High Toll of Traffic Injuries: Unacceptable and Preventable*. World Bank.
- Banco Mundial. (s.f.). *Esperanza de vida al nacer, total (años) - Colombia*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.DYN.LE00.IN?locations=CO>
- Bhalla, K., & Esteban Diez - Roux, A. T. (2013). *The costs of road injuries in Latin America*. Inter - American Development Bank.
- Bocarejo, J. P., Ramos, J. P., Velásquez, J. M., Tafur, L. E., Correa, M. E., & Restrepo, M. I. (2011). *Fortalecimiento de la Seguridad Vial en el Transporte Urbano: El caso de Bogotá*. Informe 3 – Valoración Económica de los Accidentes, Impacto de los BRT y Recomendaciones., Universidad de los Andes, Bogotá.
- COVID-19 Community Mobility Reports. (2020). Obtenido de <https://www.google.com/covid19/mobility/>
- Declaración de Estocolmo. (2020). *La Declaración de Estocolmo 2020*.
- Declaración de Estocolmo. (2020). *Tercera Conferencia Ministerial Mundial sobre Seguridad Vial: Alcanzar los objetivos mundiales para 2030*. Recuperado el 2020, de <https://www.roadsafetysweden.com/contentassets/b37f0951c837443eb9661668d5be439e/stoekholm-declaration-spanish.pdf>
- Embarq Brasil. (2015). *Impactos da Reducao dos Limites de Velocidade em Áreas Urbanas*. Obtenido de <https://wricidades.org/research/publication/impactos-da-redu%C3%A7%C3%A3o-dos-limites-de-velocidade-em-%C3%A1reas-urbanas>
- Greibe, P. (2005). *Hastighedens betydning for trafiksikkerheden – danske og udenlandske studie*. Obtenido de <http://asp.vejtid.dk/Artikler/2005/09%5C4422.pdf>



- Hidalgo, D. (2020). *Proyectos de Ley para la Seguridad Vial*. Obtenido de La Silla Llena: <https://lasillavacia.com/silla-llena/red-cachaca/proyectos-de-ley-la-seguridad-vial-77061>
- Høyve. (21 de Dec de 2014). Speed cameras, section control, and kangaroo jumps-a meta-analysis. *Accid Anal Prev.*, 73(200).
- Instituto Cordial. (2020). *Velocidades médias e segurança viária em São Paulo Aplicações de dados do Uber Movement*.
- Islam, M. T., El-Basyouny, K., & and Ibrahim, S. E. (2014). The impact of lowered residential speed limits on vehicle speed behavior. *Safety Science*(Elsevier, 62), 483–494.
- Movilidad Bogotá. (2018). *La Secretaría de Movilidad implementó medidas para mejorar la movilidad y la seguridad vial en varias localidades de Bogotá*. Obtenido de https://www.movilidadbogota.gov.co/web/Noticia/la_secretar%C3%ADa_de_movilidad_imple ment%C3%B3_medidas_para_mejorar_la_movilidad_y_la_seguridad_vial
- Nitzsche, E., & and Tscharaktschiew, S. (2013). Efficiency of speed limits in cities: A spatial computable general equilibrium assessment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*(56), 23–48.
- Observatorio Nacional de Seguridad Vial. (2019). *Observatorio Nacional de Seguridad Vial*. Obtenido de <https://ansv.gov.co/observatorio/indexc990.html?op=Contenidos&sec=76>
- OECD/ITF. (2018). *Speed and Crash Risk*. Obtenido de <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/speed-crash-risk.pdf>
- Oliveira, D. F., Friche, A. A., Costa, D. A., Mingoti, S. A., & & Caiaffa, W. T. (2015). Do speed cameras reduce speeding in urban areas? *Cadernos de Saúde Pública*, 31(1), 208-218.
- OMS. (2018). *Global Status Report on Road Safety*. Obtenido de https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/sustainable-safe.pdf?_ga=2.68519697.1604063829.1544214055-944463655.154352829
- Pucher, J., & and Buehler, R. (2010). Walking and cycling for healthy citie. *Built Environment*, 36(4), 391–414.
- WRI. (2016 de 2016). *Ciudades más seguras mediante el diseño* (Vol. 1).
- WRI. (2018). *Sostenibilidad y Seguridad*. Obtenido de https://wrimexico.org/sites/default/files/Sostenibilidad%20y%20seguridad%20WRI_0.pdf