

ANÁLISIS DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS: VARIABLES DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO Y SU INCIDENCIA EN LA MOVILIDAD DE LA CIUDAD DE SANTA MARTA

Fredy Armando Cuervo Lara

Ingeniero en transportes y vías. Profesor de Facultad de Ingeniería Universidad Cooperativa de Colombia Santa Marta

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: Esta investigación tiene por objetivo analizar las variables de operación de las intersecciones semaforizadas para determinar como la capacidad y nivel de servicio inciden en su eficiencia operativa, así mismo la incidencia en la calidad de aire de la ciudad de Santa Marta. Para cumplir con este objetivo fue necesario caracterizar las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Santa Marta, considerando parámetros de Volúmenes de tráfico, capacidad, saturación y nivel de servicio, una vez caracterizadas operacionalmente las intersecciones se determinan los elementos críticos en su funcionamiento, que generan demoras y cuellos de botella que culminan en congestión vehicular y deficiencias en la movilidad de la ciudad. El análisis de las variables se fundamenta en un modelo de causa efecto en cada intersección, definiendo a través de qué acciones se puede mejorar la operación y por ende lograr una operación fluida que minimice la combustión vehicular en estos puntos críticos del sistema de movilidad de la ciudad. Los resultados de este análisis muestran las deficiencias operativas del sistema de intersecciones semaforizadas y las variables que están incidiendo negativamente en la movilidad y en calidad de aire en la ciudad, los resultados obtenidos orientan de las acciones en cada intersección con la finalidad de contribuir a mejorar la movilidad y la calidad del aire en la ciudad.

Palabras clave: Movilidad; Intersección; semáforo; capacidad; nivel de servicio; calidad de aire

INTRODUCCIÓN

El estudio se realizó considerando que el sistema de movilidad de la ciudad de Santa Marta, está presentando deficiencias en la circulación de flujo vehicular, la percepción de usuarios del sistema de movilidad de la ciudad es que los semáforos generan demoras

excesivas que deben ser analizadas, estas consideraciones conducen a la necesidad de estudiar con profundidad las variables de tránsito asociadas con las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Santa Marta. La incidencia de la movilidad en la calidad de vida de las personas impacta un elemento esencial como es el aire, los efectos nocivos de la congestión vehicular en intersecciones generan mayor combustión en los vehículos y por ende hay mayor emisión de partículas contaminantes al aire. De estos análisis surge la pregunta de investigación, ¿cuáles son las variables de operación de las intersecciones semaforizadas que inciden en el flujo vehicular y generan incremento de emisión de partículas que empeoran la calidad de vida de las personas y la calidad del aire?

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la ciudad de Santa Marta, en el año 2022 y se aplicaron técnicas de ingeniería de tránsito para la caracterización física de las intersecciones, considerando parámetros de diseño geométrico, se realizó el análisis de operación de intersecciones semaforizadas de acuerdo al Highway Capacity Manual del Transport research Board (HCM., 2010), considerando variables de capacidad, flujo vehicular nivel de servicio y demoras. De igual manera se realizó un análisis comparativo con los reportes de calidad el aire en las diferentes zonas de localización de las intersecciones.

El estudio se realizó evaluando las 37 intersecciones semaforizadas de la red vial urbana de Santa Marta, localizadas en cuatro corredores de transporte de la red primaria, el enfoque inicial del estudio estaba centrado en la aplicación de métodos de ingeniería de tránsito para caracterizar la operación, posteriormente surgieron las necesidades de incorporar el análisis de su efecto en la calidad del aire en la ciudad

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN DE INTERSECCIONES

La caracterización de intersecciones de la ciudad se realizó considerando los siguientes elementos de análisis:

Estos elementos fueron analizados para tener una caracterización que permitiera identificar estas variables y relacionarlas con su efecto en la movilidad y en calidad del aire de la ciudad.

LOCALIZACIÓN DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DEL ESTUDIO

Las intersecciones analizadas se seleccionaron del sistema de intersecciones de la ciudad, el cual consta aproximadamente de 40 intersecciones semaforizadas, se consideraron elementos de relevancia en el tráfico y la conectividad de la ciudad para la caracterización

Las intersecciones seleccionadas fueron localizadas en los principales corredores viales de la red primaria de la ciudad

Corredor vial	Intersecciones
Avenida del Libertador	Av libertador con Av del ferrocarril Av. Del libertador con Cra 19 Av del libertador con Av. Del rio
Avenida del ferrocarril	Avenida del ferrocarril con Av del rio Avenida del ferrocarril con Cra 19
Avenida Santa Rita	Avenida Santa Rita con Cra 4ª. Avenida Santa rita con cra 19.

Tabla 3. Intersecciones de la ciudad caracterizadas

ANÁLISIS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS INTERSECCIONES

Para este análisis se consideraron variables de simetría de la intersección, ancho de carriles y su uniformidad, dotación de sobreebancho de carriles para giros, localización de señales de tránsito verticales y horizontales y su calidad,

estado de la calzada en la intersección. Para definir una valoración de estos parámetros se definió una escala de calificación desde 1 (menor valor de calidad) hasta 5 (mayor valor de calidad) de acuerdo con el cumplimiento de parámetros definidos en manuales de diseño y señalización. La tabla resume esta valoración.

Se pudo observar que tan solo una de las intersecciones logro una valoración promedio de parámetros de diseño geométrico superior al 75%, los parámetros con más baja valoración son señalización vertical y horizontal, dotación de sobreebanchos de carril de giros con valor inferior a 50%, en general la valoración de parámetros de diseño geométrico tuvo una valoración en las intersecciones de 66%. Considerando la importancia que tiene el diseño geométrico en la operación de intersección, es una valoración muy baja dado que de ahí se desprende el comportamiento del tráfico en la intersección.

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE LA INTERSECCIÓN

Las características de operación de la intersección fueron analizadas con aforos vehiculares y se realizó una clasificación por tipología de vehículos para determinar el peso de cada una en las intersecciones, los resultados de este análisis se observan en la tabla

En el análisis se observó como el transporte público en Busetas representa el 37.6% del tráfico en las intersecciones evaluadas, de igual forma se observa como el transporte particular esta cercano al volumen de transporte público, en corredores mixtos que combinan la operación de dos tipologías de tráfico con fines diferentes. Las motocicletas representaron el 16.3% del tráfico de las intersecciones, el cual viene en crecimiento y en algunas intersecciones como la de Av del ferrocarril con avenida del libertador representó el 21% del tráfico,

Elementos de análisis	Descripción
Diseño geométrico de la intersección	Se analizó simetría de la intersección, ancho de calzadas, calidad de diseño, dotación para el peatón.
Características de operación de la intersección	Tipo de flujo vehicular que atiende la intersección
Indicadores de operación de la intersección	Indicadores de capacidad, flujo vehicular, nivel de servicio, tipo de llegadas, demoras
Antecedentes de calidad de aire en las zonas	Revisión de estudios de monitoreo de calidad del aire en la zona de la intersección.

Tabla 1. Elementos de análisis de intersecciones semaforizadas

Intersección	Simetría	Uniformidad ancho de carriles	Dotación de sobreanchos	Señalización	Estado de la calzada	Valoración total
Av libertador con Av del ferrocarril	3.8	3.8	2.0	3.0	4	3.3
Av. Del libertador con Cra 19	4	4	2	3	3.5	3.3
Av del libertador con Av. Del rio	3	3.5	2	2	2	2.5
Avenida del ferrocarril con Av del rio	4	4	4.5	2	4	3.7
Avenida del ferrocarril con Cra 19	4	4	3	3	4	3.6
Avenida Santa Rita con Cra 4ª.	4	4	2	3	4	3.4
Avenida Santa rita con cra 19.	4	4	2	3	4	3.4
Promedio	3.8	3.8	2.5	2.6	3.5	3.3

Tabla 5 . Valoración de parámetros de diseño geométrico de intersecciones

Intersección	% vehículos carga	% vehículos Buses	% automoviles	% motos	% bicicletas
Av libertador con Av del ferrocarril	20	25	30	21	4
Av. Del libertador con Cra 19	4	48	30	17	1
Av del libertador con Av. Del rio	2	45	38	14	1
Avenida del ferrocarril con Av del rio	14	36	35	10	5
Avenida del ferrocarril con Cra 19	15	28	36	17	4
Avenida Santa Rita con Cra 4ª.	1	42	38	17	2
Avenida Santa rita con cra 19.	2	39	36	18	5
Promedio	8.3	37.6	34.7	16.3	3.1

Tabla 6. Características de operación vehicular por tipología de tráfico en la intersección

Intersección	Demora promedio vehículo en segundos	Tipo de llegada	Nivel de servicio
Av libertador con Av del ferrocarril	21	2	C
Av. Del libertador con Cra 19	14	3	B
Av del libertador con Av. Del rio	16	2	C
Avenida del ferrocarril con Av del rio	17	2	C
Avenida del ferrocarril con Cra 19	24	3	C
Avenida Santa Rita con Cra 4ª.	19	2	C
Avenida Santa rita con cra 19.	12	2	B

Tabla 7. Indicadores de la operación de intersecciones semaforizadas en Santa Marta.

lo cual es altamente representativo dado que esta modalidad está prestando servicio de transporte informal.

Con respecto al tipo de llegada 1 Este tipo representa la condición de llegada más adversa, es un pelotón denso que llega en el inicio de la fase de luz roja y contiene más del 80 por ciento del volumen del grupo de carriles. Este tipo de llegada es representativa de una red que experimenta muy mala cantidad de progresión como resultado de condiciones tales como sobre optimización de señales en la red.

La llegada tipo 2. se considera todavía desfavorable, consiste en un pelotón denso que llega a la mitad de la fase de luz roja, conteniendo de 40% a 80% del volumen del grupo de vías arribando totalmente fuera de la fase roja. Este tipo de llegada es representativa de una desfavorable progresión.

De acuerdo con TRB (Transport Research Board., 2010), el nivel de servicio se caracteriza de acuerdo con la demora por vehículo por parada, de acuerdo a la tabla de HCM

Nivel de servicio	Demora por parada por vehículo en segundos
A	Menos de 5
B	De 5.1 a 15
C	De 15,1 a 25
D	De 25,1 a 40
E	De 40.1 a 60
F	Más de 60

Tabla 8. Niveles de servicio intersecciones semaforizadas

Fuente Highway Capacity Manual

De acuerdo con la tabla anterior el nivel de servicio de las intersecciones oscila entre nivel C y B.

DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

La capacidad de las intersecciones semaforizadas se determinó considerando los tiempos de ciclo y sus fases de verde, amarillo y rojo, totalizando el tiempo del ciclo y calculando el total de vehículos evacuados en tiempo verde por hora, total de vehículos que arriban en tiempo rojo por hora, calculando la diferencia se obtiene el % de vehículos que no se evacuan en tiempo verde a pesar de arribar en tiempo rojo. En la siguiente tabla se observa la capacidad calculada por hora en intersección.

Se observa como las intersecciones analizadas presentan % de vehículos evacuados fuera del ciclo de arribo, lo que indica que las demoras que se presentan en la intersecciones generan tiempos adicionales de espera para los vehículos, lo cual se traduce en tiempos de viaje mas largos, interrumpidos y que generan mayor consumo de combustible.

En las rutas de transporte publico están localizadas las intersecciones semaforizadas en el mapa se pueden ver como se distribuyen en la ciudad.

De acuerdo con la configuración de las rutas de transporte público se aprecia como en las principales rutas se deben cruzar intersecciones semaforizadas en sus recorridos de origen a destino, en horas pico estas intersecciones presentan demoras que se acumulan en los recorridos, en la tabla se aprecia el análisis de las principales rutas, intersecciones y tiempos muertos acumulados que exceden el ciclo de la intersección

Item	Intersección 1	Intersección 2	Intersección 3	Intersección 4	Intersección 5
Tiempo en verde seg	47	59	32	50	60
Tiempo en amarillo seg	2	2	2	2	2
Tiempo en rojo seg	60	99	59	70	99
Total ciclo seg	109	160	93	122	161
Número de ciclos por hora	33.03	22.50	38.71	29.51	22.36
Total tiempo en verde por hora seg	1552	1328	1239	1475	1342
Total tiempo rojo por hora seg	1982	2228	2284	2066	2214
Total Vehículos evacuados en tiempo verde por hora	694	540	813	738	470
Total vehículos arribados a intersección en rojo	1189	878	1200	885	760
% de vehículos evacuados fuera del ciclo	41.67	38.46	32.26	16.67	38.24

Tabla 9. Análisis de capacidad en intersecciones semaforizadas.

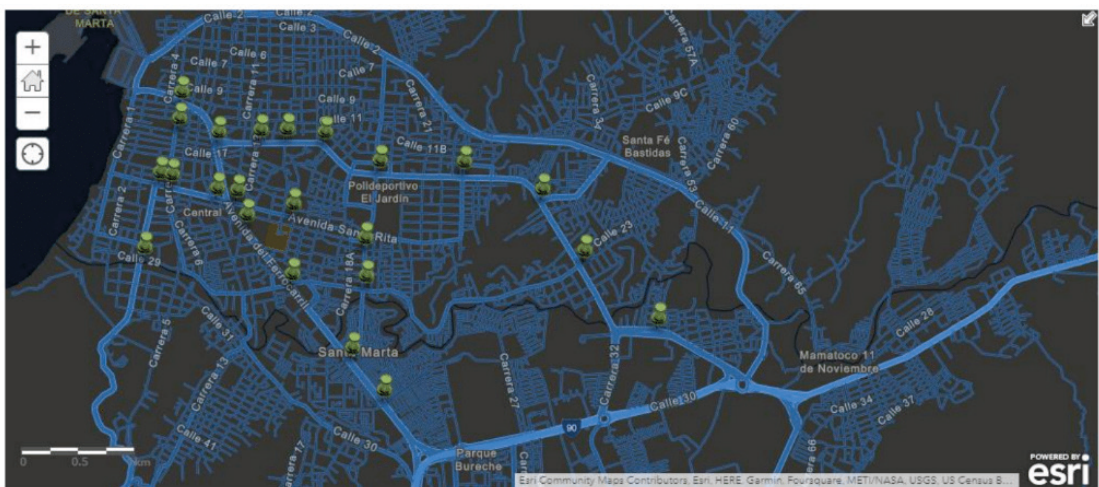


Figura 1. Localización de intersecciones semaforizadas en rutas de transporte público

Fuente: Arcgis 2023.

Ruta	Número de intersecciones semaforizadas	Tiempo promedio de viaje minutos	Tiempo muerto en intersecciones	% tiempo muerto en intersecciones
Rodadero-k4-c22- av libertador-bastidas	10	65	21	32.31
Don jaca- rodadero-k5 – libertador. Mercado -c11- Bastidas	7	95	16	16.84
Rodadero-k4-c22- av libertador-Bonda	13	108	25	23.15
Bonda – av libertador-c22-centro-mercado-Taganga	13	115	21	18.26

Tabla 10. Rutas de transporte publico colectivo y tiempos muertos en intersecciones semaforizadas

Fuente : Cálculos de autores basados en el sistema de transporte

VARIABLES DE OPERACIÓN DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS Y RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE SANTA MARTA

La ciudad de Santa Marta está localizada a nivel del mar, es una capital de departamento cuyo sistema de movilidad se basa en vehículos operados con combustibles fósiles; la contaminación primaria del aire proveniente de la operación vehicular Según Alcaldía de Santa Marta (2021), la información contenida en el decreto 034 de 2022 la contaminación proviene de 72.000 vehículos que circulan en la ciudad.

La operación vehicular en ciudades genera Material particulado emanado de vehículos Diesel , también se generan compuestos orgánicos volátiles como benceno, acetaldehído que generan el smog, estas sustancias están asociadas a algunos tipos de Cáncer. También se emiten óxidos de nitrógeno los cuales contaminan y son perjudiciales para las vías pulmonares, el monóxido de carbono cuya inhalación obstruye el oxígeno en la actividad cerebral. De igual forma la combustión de combustibles que tiene azufre genera Dióxido de azufre, cuyas diminutas partículas se respiran y son perjudiciales para el ser humano. Según ONU (2022) , la contaminación del transporte con combustible fósil es la responsable del 20% de gases efecto invernadero que generan calentamiento global.

De acuerdo con Manjarres (2005), se monitoreo calidad del aire en la ciudad de Santa Marta , en 5 estaciones establecidas de la siguiente forma: Estación 1. Calle 22 con Avda. del Ferrocarril, Estación 2. Avda. del Ferrocarril con calle 11, Estación 3. Avda. del Ferrocarril con carrera 1, Estación 4. Calle 22 con carrera 1, Estación 5. Calle 22 con carrera 5.

Los resultados de este estudio identificaron

que los promedios mensuales de material particulado en las diferentes estaciones de muestreo :

Estación	Julio	Septiembre	Diciembre
1	91.48	125.09	165.63
2	94.99	102.29	135.27
3	122.64	125.09	165.63
4	94.99	91.48	133.94
5	96.36	102.29	129.51

Tabla 11. Concentración de material particulado en microgramos por m3 en 2005

Se observó en este estudio que en la estación 3 Avenida del ferrocarril con cra 1, se presentaron las mayores concentraciones de material particulado. En esta intersección confluye actividad transportadora de carga y pasajeros, actividad portuaria.

De acuerdo con (Querol., 2012), la probabilidad de morir en un ciudad contaminada es 26% más alto que en una ciudad no contaminada, un estudio de la Sociedad American de Cáncer en 1995 evaluó efectos de contaminación atmosférica en 151 zonas metropolitanas en Estados Unidos, se asociaron los óxidos de azufre y la partículas finas PM25, se asociaron con todas las causas, causas cardiovasculares y cáncer de pulmón, por cada aumento de 1 microgramos por m3, se incrementó en 4% todas las causas, 6% causas cardiovasculares, 8% cáncer de pulmón. De igual manera los estudios de la Organización mundial de la salud, muestran la prevalencia de relación de la contaminación atmosférica con Tos y bronquitis en niños y adultos.

El análisis de calidad del aire en Colombia, tiene como referente los estudios realizados en Bogotá, según (Gaitan., 2009), las condiciones climáticas y de altura inciden en los efectos de calidad del aire, así como su altura sobre el nivel del mar. El inventario de contaminantes muestran como la industria y los vehículos aportan un alto contenido de contaminantes,

la flota vehicular supera 1.2 millones de vehículos y la edad promedio esta entre los 4 y 10 años en un alto porcentaje; adicionalmente el porcentaje de vehículos con combustible fósil es muy alto y los contaminantes de azufre también son elevados.

La movilidad de la ciudad no puede analizarse aisladamente, de acuerdo con (Carello.,2009), en su estudio de calidad de vida en Buenos aires, los aspectos sociodemográficos determinan las condiciones de calidad de vida de las personas en un entorno urbano, variables como la densidad de población , la proporción de la población por edades, la estratificación social, están relacionadas con las formas de movilidad en la ciudad y con la calidad del aire.

El impacto de la movilidad tiene que analizarse considerando variables de caracterización de la población que inciden en el uso de medios de transporte para movilizarse, en la ciudad de Santa Marta el transporte público colectivo representa el mayor volumen de viajes realizados por pasajero y el transporte en automóviles privados viene creciendo. Es así como la informalidad está incrementándose día a día en motocicletas, generando además inseguridad y alto nivel de infracciones por incumplimiento de normas de transito.

MEDIDAS PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN EN COLOMBIA

La actual situación de contaminación en ciudades Colombianas ha llevado a que en algunas de ellas se tomen medidas restrictivas de circulación de vehículos, según la autoridad Ambiental del valle de aburra (2018), cuando las condiciones ambientales de baja nubosidad y pocos vientos no favorece la dispersión de los contaminantes y se generan crisis ambientales en sectores de la ciudad. Considerando que es un área metropolitana las medidas se han ido implementando en los municipios que

hacen parte del área metropolitana para que se logre un cumplimiento de la restricción y así reducir la contaminación diaria.

Los entornos urbanos requieren de un monitoreo permanente de calidad del aire, de tal forma que se puedan tomar acciones preventivas de generación de contaminantes por tráfico vehicular.

CONTAMINANTES DERIVADOS DEL COMBUSTIBLE EN VEHÍCULOS

De acuerdo con Tobon (2006), en su estudio de Contaminación vehicular, los contaminantes que genera la gasolina son Monóxido de Carbono(CO), el cual en contacto con el ambiente se transforma en dióxido de carbono, los hidrocarburos quemados reaccionan en presencia de óxidos de nitrógeno y se convierten en ozono a nivel suelo; la gasolina también genera Oxido de Nitrógeno, el cual se forma del nitrógeno contenido en combustible y son nocivos para la salud.

Dado que un porcentaje alto de parque automotor de servicio público es de motores diesel, este combustible también genera contaminantes , entre los cuales se tiene: el dióxido de azufre SO₂ que se genera en la combustión del carbón, provoca smog y la lluvia acida, Material particulado (PM), corresponden a las partículas sólidas en suspensión en formas de humo, polvo o vapores, estas partículas a son muy nocivas para las vías respiratorias.

LA INCIDENCIA DE LAS DEFICIENCIAS EN LA OPERACIÓN DEL TRANSPORTE PUBLICO

Según (Tobon et a.,l 2006), Existen tres aspectos que influyen en el consumo de combustible para el transporte terrestre: la red de carreteras, los tipos de vehículos y la regulación del transporte.

El estado de la red de carreteras , la

conectividad de las vías principales y la red secundaria inciden en el consumo de combustible, el ideal de rendimiento de km por galón de combustible se empieza a disminuir a medida que la red vial no garantiza velocidades óptimas y fluidas en el tráfico. El mal estado de calzadas genera desaceleración en los vehículos y la necesidad de aplicar cambios de fuerza en el vehículo que aumentan el consumo de combustible. Actualmente la red principal de la ciudad de Santa Marta presenta el 60% de vías en mal estado, los principales corredores de transporte público son los que presentan mayor deterioro, en estos corredores están las intersecciones semaforizadas,

Los tipos de vehículos también tiene una incidencia directa en la contaminación, actualmente el transporte público colectivo de la ciudad se presta en vehículos tipo buseta, la antigüedad de la mayoría de vehículos supera los 10 años, lo cual está incidiendo en la calidad del servicio prestado y sus condiciones de operación ya presentan dificultades

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM., 2023), como autoridad ambiental Colombiana, se define que el Índice de Calidad del Aire -ICA es un indicador de la calidad del aire diaria que permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de las estaciones que pertenecen a un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire -SVCA. Este indicador asigna una escala numérica y de colores de acuerdo a su criticidad.

El Índice de calidad del aire ha sido adoptado a partir del documento Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –the Air Quality Index (AQI) documento EPA-454/B-09-001 de febrero de 2009.

Según el (IDEAM., 2023), el índice de calidad del aire se calcula para cinco contaminantes criterio contemplados en la

normativa nacional: Ozono (O₃), material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO) en tiempos de exposición que oscilan entre 1 hora y 24 horas; el cual permite establecer el estado de la calidad del aire de acuerdo al rango establecido para cada contaminante criterio, asociando rangos de valores a una tabla de colores

A continuación se presentan los promedios anuales de medición de pm₁₀ en las estaciones de la ciudad de Santa Marta

Se observan las características de la zona en donde están localizadas las estaciones de monitoreo, conforme a la normatividad colombiana, De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente (2017), los niveles máximos de PM₁₀ para 2018 son de 59 microgramos por m³, para el año 2030 el máximo nivel de PM₁₀ será 30 en nivel de exposición anual.

IMPLICACIONES EN POLÍTICAS PÚBLICAS Y PARA LA PRÁCTICA

Las implicaciones de los resultados de este estudio muestran que es necesario que los efectos de la movilidad urbana se consideren en la dimensión ambiental, dado que muchas veces los estudios de tránsito se concentran en el mejoramiento de fluidez del tráfico o en medidas operativas orientadas a mejorar la movilidad.

Las decisiones asociadas con la regulación del tráfico en las intersecciones de la ciudad deben considerar las variables que pueden impactar la calidad del aire, entre ellas el nivel de servicio de la intersección, las demoras, la capacidad y su relación con el volumen vehicular atendido.

Los estudios de demanda de transporte además de identificar potencialidad de demanda, proporciones de viajes transportados en cada modalidad de transporte, debe considerar todas las variables de impacto

Estación	PM 10 2022	PM10 2023	Características
AEROPUERTO	39.63	49.72	alta actividad de transporte aéreo, marítimo, terrestre, ferroviario
ALCATRACES	29.35	46.7	alta actividad de transporte marítimo, ferroviario
CARBOGRANELES	28.95	37.0	alta actividad transporte marítimo
CIENAGA KOICA	36.46	39.2	alta actividad transporte marítimo
COSTA VERDE	34.22	51.6	alta actividad transporte marítimo
DON JACA	27.69	35.11	alta actividad transporte marítimo, terrestre
JOLONURA	33.18	29.87	alta actividad transporte marítimo, terrestre
MARINA SANTA MARTA	33.77	39.89	alta actividad de transporte marítimo de pasajeros, transporte de pasajeros
PESCAÍTO	29.83	29.18	alta actividad de transporte marítimo de carga
PLAYITAS	31.47	36.23	alta actividad de transporte marítimo de carga
TAYRONA KOICA	20.56	16.39	alta actividad de transporte marítimo de pasajeros, transporte de pasajeros
Club Santa Marta	45.05	39.87	alta actividad de transporte marítimo de pasajeros, transporte de pasajeros
CORDOBITA	76.64	66.06	alta actividad de transporte de carga terrestre

Tabla 12. Medición de niveles promedio anuales de PM10

Fuente : Sistema SISAIRES. IDEAM 2023.

ambiental como la obsolescencia vehicular, el tipo de combustible empleado, las condiciones de operación y mantenimiento de vehículos. En el caso de Santa Marta es necesario que se realicen estudios profundos de edad de parque automotor, así como el análisis periódico de las intersecciones semaforizadas.

Las variables de diseño geométrico y estado de las intersecciones están generando demoras e interferencia con la óptima operación

de las intersecciones, este aspecto se debe corregir a través de un plan de rectificación y modernización de cada intersección semaforizada.

Es necesario modernizar la red tecnológica de semáforos para implementar regulación en función del volumen de tráfico y lograr reducir las pérdidas de tiempo en las intersecciones. Todas estas acciones contribuirán a mejorar la calidad del aire de la ciudad de Santa Marta.

REFERENCIAS

Decreto 034 de Alcaldía de Santa Marta 034. Restricciones a la circulación vehicular. (22 de febrero de 2022).

Manjarres, G., Linero, J. (2005). Composición y concentración de material particulado en el área de un sector de la ciudad de Santa Marta. Rev. Intropica. V2.23-33. Santa Marta

Carello, G. (2009). *Calidad de vida en la Ciudad de Buenos Aires: una propuesta de configuración de espacios homogéneos*. Red Población de Buenos Aires. <https://elibro-net.bibliograficas.ucc.edu.co/es/lc/ucc/titulos/24334>

EFE. (23 de febrero de 2018). Medellín eleva restricciones al tráfico por la contaminación ambiental: COLOMBIA CONTAMINACIÓN.. *EFE News Service*. <https://bbibliograficas.ucc.edu.co/login?url=https://www.proquest.com/wire-feeds/medellin-eleva-restricciones-al-trafico-por-la/docview/2007206842/se-2>

Gaitán, M. (2009). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá.. B - Universidad de los Andes Colombia. <https://elibro-net.bibliograficas.ucc.edu.co/es/lc/ucc/titulos/5704>

Instituto de hidrología, metrología y estudios ambientales.(2 de enero de 2023). Subsistema de calidad del aire <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire?inheritRedirect=true>

Instituto de hidrología, metrología y estudios ambientales. (3 de febrero de 2023). Contaminación y calidad ambiental. <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/>

Organización de las naciones Unidas. (2 febrero de 2022). Contaminación, automóviles y calidad del aire. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/contaminacion-automoviles-y-calidad-del-aire#:~:text=Los%20autom%C3%B3viles%20particulares%20generan%20el,las%20medidas%20de%20prevenci%C3%B3n%20adecuadas>.

Querol, X. (2012). *Bases científico-técnicas para un plan nacional de mejora de la calidad del aire*.. Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. <https://elibro-net.bibliograficas.ucc.edu.co/es/lc/ucc/titulos/41672>

Resolución 2254 de Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. Por la cual se adoptan la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.(1 de noviembre de 2017).

Tobón Orozco, D. F., Sánchez Gandur, A. F. & Cárdenas Londoño, M. V. (2006). Regulación ambiental sobre la contaminación vehicular en Colombia : ¿hacia donde vamos?. Borradores del CIE, (17), 1-21.

Transport Research Board.(2010).Highway Capacity manual. TRB.Estados Unidos