

**DEMANDA E INVERSIÓN, UN ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA
IMPLEMENTACIÓN CICLO INFRAESTRUCTURA EN BARRANQUILLA**



AUTOR

MELANYS MARÍA LOZADA MOURAD

TUTOR

RICARDO FUENTES BORRERO

INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

BARRANQUILLA

2022

AGRADECIMIENTO

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida quiero extender mi profundo agradecimiento a Dios, por haberme colocado en el camino de padres amorosos que con esfuerzo han logrado sacarme adelante y por ellos mi primer gran motivo, les quiero agradecer completamente la vida que me han dado. Gracias papitos por ser esa luz y esa motivación que he necesitado cada día de mi vida. Gracias a aquellos que, junto a mí, caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención va especialmente a mi prometido por apoyarme a lo largo de mi carrera, por ser fuente valiosa de aprendizaje para mí y recordarme lo capaz que soy, a mis hermanos porque nunca dudaron de mí y a todas aquellas personas que llevo en mi corazón.

Le agradezco a mi asesor de tesis, al ing. Ricardo Fuentes Borrero por su paciencia, por su orientación, ayuda y conocimientos, los cuales fueron pilares para culminar esta tesis.

Mil gracias a todos, no podría sentirme más feliz con la confianza puesta en mi persona.

CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROBLEMA	11
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	12
1.4. JUSTIFICACIÓN Y CONTRIBUCIONES	13
1.5. HIPÓTESIS.....	14
2. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	15
2.2. MARCO TEÓRICO	22
3. METODOLOGÍA.....	25
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	26
4. CASO DE ESTUDIO	27
5. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADO	34
5.1. VOLUMENES EN EL TIEMPO	42
5.2. COSTOS Y ESTIMACIONES.....	42
6. DISCUSIÓN.....	53
7. CONCLUSIONES.....	57
8. REFERENCIAS.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Volúmenes en hora de máxima demanda (HMD)	35
Tabla 2. Resultados aforos de bicicletas (volumen horario promedio) antes y después de implementar ciclorruta.	39
Tabla 3. Volumen promedio antes y después de ciclorruta	40
Tabla 4. Km intervenidos por corredor	42
Tabla 5. Costo por km intervenido más costo adicional en HMD y volumen promedio.....	45
Tabla 6. Estimación de costos (inversión total de los corredores intervenidos)	46
Tabla 7. análisis de costos y demanda	50
Tabla 8. Características significativas de cada intersección intervenida	54

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Factores y componentes relevantes en los estudios de bicicletas. (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020).....	17
Figura 2. Comportamiento parque automotor en la ciudad de Barranquilla para los años 2014-2015. (Díaz Rodon , 2015)	21
Figura 3. <i>Asignación de viajes por motivo de trabajo en Barranquilla.</i> Fuente: (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020)	29
Figura 4. Bicicleta por cada 1000 habitantes por zona de transporte.	30
Figura 5. Viajes diarios generados según zona de transporte.	30
Figura 6. Viajes diarios atraídos según zonas de transporte.	32
Figura 7. Antes y después de implementación de proyecto de ciclo infraestructura	33
Figura 8. Volumen de ciclistas en hora de máxima demanda por proyecto antes y después de CR.	38
Figura 9. Variación de volumen de ciclista en HMD promedio por corredor	38
Figura 10. Volumen de ciclistas promedio por hora por proyecto antes y después de la ciclorruta.	41
Figura 11. Variación de volumen de ciclista por hora promedio por corredor.	41
Figura 12. Volumen de bicicletas en el tiempo en los corredores.	42
Figura 13. km intervenidos por corredor.....	43
Figura 14. Costos por generar un ciclista adicional en HMD por corredor	47
Figura 15. Costo por generar un ciclista adicional en cada hora por corredor.....	47
Figura 16. Costo por generar un ciclista adicional en HMD por corredor (sin corredores que sufrieron disminución)	48
Figura 17. Costo por generar un ciclista adicional en cada hora por corredor (sin corredores que sufrieron disminución)	49
Figura 18. Ciclistas adicionales por fase implementada y su evolución respecto al costo.....	51

Figura 19. Curvas de demanda según infraestructura disponible 51
Figura 20. Curvas de demanda según infraestructura disponible 52

RESUMEN

La movilidad sostenible es una de las metas principales en los objetivos de desarrollo sostenible 2030, destacando la promoción de los medios de transporte con cero emisiones especialmente en zonas urbanas, como por ejemplo la bicicleta, como una gran solución de transporte. Las experiencias en distintas ciudades demuestran que la presencia de infraestructura, su ancho y el estado del pavimento son fundamentales para generar demanda. En la presente investigación se estudió la demanda ciclista tras una serie de inversiones en ciclo infraestructura en la ciudad de Barranquilla, logrando identificar variaciones en la demanda distintas además de lograr estimar el costo promedio de generar un ciclista adicional. Mediante el análisis de aforos de ciclistas antes y después de implementar alrededor de unos 20 km de ciclo-infraestructura se pudo identificar que la elasticidad de la demanda depende de factores como las conexiones entre orígenes destino, condiciones socioeconómicas de la zona y la directividad del trazado del ciclo ruta, y no solamente de la existencia de la infraestructura como tal. La ciudad de Barranquilla invirtió unos \$ 411.269.310 pesos (COP) habilitando 9,23 km de ciclo rutas adicionales compuestas por 6 corredores, algunos donde aumento la demanda y otras en los que no; Se estima que la inversión logro aumentar en promedio la cantidad de ciclistas en 22,5 por hora por corredor. Se encontró que los costos de generar un ciclista adicional en el periodo de vida del proyecto resultaron ser superiores para la calle 47 con \$270 pesos, mientras que para la calle 44 fue de \$89 pesos, para la calle 34 de \$23 pesos y por último la carrera 22 con un costo de \$2 pesos. Se planteó una ecuación exponencial para comprender la relación entre la infraestructura disponible y la demanda, con buenos resultados de ajuste.

Palabras Clave: Ciclo infraestructura, demanda ciclista, espacio público.

ABSTRACT

Sustainable mobility is one of the main goals in the 2030 sustainable development goals, highlighting the promotion of zero-emission means of transport especially in urban areas, such as cycling, as a great transport solution. Experiences in different cities show that the presence of infrastructure, its width and the condition of the pavement are essential to generate demand. In the present research we studied the cyclist demand after a series of investments in infrastructure cycle in the city of Barranquilla, managing to identify variations in demand in addition to managing to estimate the average cost of generating an additional cyclist. By analyzing cyclists' capacity before and after implementing about 20 km of cycle-infrastructure it was possible to identify that the elasticity of demand depends on factors such as connections between destination origins, socioeconomic conditions of the area and the directivity of the route cycle path, and not only the existence of the infrastructure as such. The city of Barranquilla invested about \$ 411,269,310 pesos (COP) enabling 9.23 km of additional cycle routes composed of 6 riders, some where demand increases and others where not; It is estimated that the investment managed to increase on average the number of cyclists by 22, Five an hour per runner. It was found that the costs of generating an additional cyclist in the life of the project were higher for 47th Street with \$270 pesos, while for 44th Street it was \$89 pesos, for 34th Street \$23 pesos and finally the 22nd Street with a cost of \$2 pesos. An exponential equation was proposed to understand the relationship between available infrastructure and demand, with good adjustment results.

Keywords: Cycle infrastructure, cyclist demand, public space.

1. INTRODUCCIÓN

La bicicleta es un medio de transporte que cuenta con muchos beneficios para la salud y movilidad sostenible (Pucher, Dill, & Handy, 2010), las políticas públicas que dictan el desarrollo de infraestructura urbana en la mayoría de las ciudades del mundo han estado direccionadas en proveer espacios más cómodos y ágiles para la circulación de vehículos motorizados, por lo que es común encontrar ciudades que no cuentan con un espacio destinado para su circulación segura de actores viales vulnerables como los son los ciclistas y que apenas empiezan a dar sus primeros pasos en aprovechar las ventajas de la bicicleta. Es cierto que, la construcción de ciclo-rutas en corredores viales de centros urbanos implica modificaciones de la infraestructura existente y que esto puede generar factores negativos en el tráfico vehicular y peatonal si no se implementa de manera adecuada.

En Europa la bicicleta representa el transporte principal para un 7% de la población y en zonas de los países bajos este número asciende al 28% (Strömberg & Karlsson, 2016). Sin embargo, es común encontrar en países en vía de desarrollo como India grandes retos para el uso de la bicicleta, cuyo uso se ha reducido a la población de menor ingreso debido a la importancia que ha cobrado el vehículo motorizado y el poco desarrollo que tuvo la infraestructura destinada (Basu & Vasudevan, 2013). Sin embargo, los transportes constituyen un eslabón estratégico para la satisfacción de necesidades sociales y económicas, de forma que cuando estas se transforman, los transportes presentan nuevas facetas (Fernández Fernández & Olmedillas Blanco, 2002). En el transporte, la inversión en ciclo-infraestructura en la ciudad de Barranquilla ha representado nuevas facetas por aquellos espacios que se han destinado para facilitar la movilización del ciclista pensando en su seguridad, así como generar más demanda en el uso de la bicicleta.

Pese a que en la ciudad no se ha completado en un 100% las inversiones para la construcción de la ciclo infraestructura, la alcaldía de Barranquilla se ha trazado una meta que contemplan unos 80 km de infraestructura ciclista al finalizar el 2023. Cuando se trata de invertir, la incorporación de métricas y herramientas adecuadas es importante debido a los atributos de las zonas donde frecuentan los ciclistas ya que de este modo los procesos deliberativos en planificación no existirían, más cuando las percepciones de los usuarios ciclistas se tienen en cuenta, por lo tanto, las decisiones de inversión se fortalecen, (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020) y los efectos negativos tales como la baja demanda en las ciclорrutas por la presencia del tráfico mixto, invasión de aceras, seguridad y la planificación deficiente mejoran; y aunque los factores o componentes para medir la movilidad en bicicletas este dividido por tipo de ciclista según su propósito de viaje se puede unir todo con un mismo fin. Por lo tanto, las herramientas que brinden buena información sobre dónde invertir podrían ayudar a cerrar las brechas de desigualdad para promover el uso de modos de transporte sostenible que están fácilmente disponibles para la mayoría de los habitantes (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020)

En la presente investigación se realiza un análisis de la demanda de ciclistas antes y después de implementar el proyecto de ciclo infraestructura en el caso de la ciudad de Barranquilla, estimando los impactos de este y los costos de incrementar la demanda. En primer lugar, se presentan los objetivos y planteamiento del problema. En segundo lugar, se hace una revisión de la literatura académica y las experiencias a nivel nacional e internacional en lo respecta a la implementación de ciclo infraestructura. En tercer lugar, se presenta la metodología a utilizar la cual es análisis de aforos vehiculares y costos unitarios, junto con los detalles del caso de estudio que es Barranquilla, Colombia. En cuarto lugar, se realiza un análisis de aforos

completo en distintos corredores y se calculan distintas relaciones de demanda y los impactos económicos de la intervención. Por último, el documento presenta una discusión sobre los resultados del proyecto concluyendo sobre los impactos en la demanda y los posibles factores que influyeron en las diferencias en el cambio de esta.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROBLEMA

Los estudios sugieren que los viajes en bicicletas se correlacionan positivamente con los atributos del entorno construido, como la infraestructura para bicicletas, la seguridad del tráfico, la comodidad, el atractivo del entorno, la densidad de empleo y el uso del suelo. En países o ciudades en vía de desarrollo como la ciudad de Barranquilla, los pocos carriles para bicicletas que existen se encuentran en las zonas de mayor ingreso, es decir, áreas de mayor densidad de empleo en comparación a las zonas de bajos ingresos, lo cual es preocupante considerando que estos últimos son quienes más utilizan la bicicleta para movilizarse.

Los espacios que se han adecuado para las ciclorrutas en la ciudad de Barranquilla han tenido motivaciones políticas, destinando las mismas a fines recreativos (Arellana, Saltaín, Larrañaga, & González, 2020). No obstante, la mayoría de los ciclistas que usan este medio como parte de su transporte habitual son de bajos recursos y estos espacios no son adecuados para ellos, debido a factores de tiempo, distancia, clima y seguridad, así como también el estrés vehicular que existe en la ciudad; lo que dificulta el acceso a sus respectivas oportunidades laborales, por lo tanto, proyectos que aumenten la disponibilidad de ciclo-infraestructura podría favorecer las condiciones de circulación para los ciclistas habituales e incluso atraer nuevos ciclistas.

La presente investigación realiza un análisis de aforos de ciclistas en distintos puntos de la ciudad, antes y después de la inversión en carriles destinados a ciclistas y/o adecuaciones a la red vehicular para hacer la misma más amena para ciclistas, realizando una revisión de distintos corredores, sus características y el volumen de ciclistas en distintos cortes de tiempo, así como el

efecto de las restricciones por COVID-19. Se trabajará con información de la Secretaría de Tránsito y Seguridad Vial de Barranquilla, realizando un análisis de la demanda de ciclistas enfocándose en el efecto de mejorar el factor infraestructura.

La implementación de medidas que buscaban estimular el uso de la bicicleta fue muy popular en el mundo con los confinamientos por la pandemia global en el año 2020, como producto de ello muchas ciudades redistribuyeron el espacio vial disponible para incluir ciclo-infraestructura, apuntando al factor infraestructura como el principal condicionante de la demanda.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar si existe una relación entre el incremento de ciclistas y el incremento de km de ciclo-rutas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analizar la evolución de la demanda en cada uno de los corredores implementados.
- ✓ Estimar cuánto cuesta generar un ciclista adicional en la ciudad (\$/ciclista) si solo se interviene el factor infraestructura.
- ✓ Estimar el impacto de la inversión en ciclo infraestructura en la demanda de ciclistas en la ciudad de Barranquilla.

1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto de la ampliación de la red de ciclo-infraestructura en la demanda de ciclistas en la zona urbana de la ciudad de Barranquilla?

1.4. JUSTIFICACIÓN Y CONTRIBUCIONES

La presente investigación se enfocará en estudiar la implementación de inversiones en ciclo-infraestructura para analizar los efectos que ocasiona ampliar la red de ciclo-infraestructura en ciudades no ciclistas, como Barranquilla, además de estudiar efectos marginales como el costo de generar un ciclista adicional para la ciudad. La ciclo-inclusión, es uno de los temas más chocantes y relevantes para las ciudades de Latinoamérica considerando todos los retos a nivel de seguridad ciudadana, circulación en tráfico mixto, invasión de área para ciclistas y malos procesos de planificación, a los que se han enfrentado los usuarios vulnerables como peatones y ciclistas.

En ciudades como Barranquilla, Colombia, el transporte es un ejemplo clásico de la industria con externalidades, entre las que cabe destacar los costos derivados de la congestión, accidentes y medio ambientales, generando fallos en el mercado (Fernández Fernández & Olmedillas Blanco, 2002) y esto se puede relacionar al mal análisis de la Meso escala y la Microescala como lo menciona (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020) en su investigación. Además, de las faltas de métricas para la buena planificación de infraestructura de vías para ciclistas, lo que genera dificultades inherentes para la normal circulación de actores vulnerables.

Es complejo generar una infraestructura que beneficie de manera equitativa tanto a los ciclistas como al tráfico motorizado, debido a que las características que requiere cada modo son opuestas, por lo que en algunos sectores se deberá segregar y en otros integrar el tráfico mixto de los ciclistas. La separación también puede ser inapropiada desde la perspectiva de la planificación del transporte cuando el acceso a actividades específicas y destinos circundante es el objetivo principal del uso de la bicicleta (P. Ej.; ir al trabajo, ir de compras) porque

generalmente la separación limita la accesibilidad del modo de bicicleta (DiGioia, Edison Watkins, Xu, & Rodgers, 2017)

Los problemas de planificación urbana y del transporte son recurrentes en ciudades en vía de desarrollo, en las cuales existen muchos casos que generan problemas para los actores viales vulnerables. Por ejemplo, bahías de parqueo que ocupan tanto espacio que incluso los vehículos parquean en paralelo por detrás de los que ya están estacionados, generando congestión en la vía y riesgos para ciclistas que circulan en tráfico mixto, ya que deben cambiar de carril o realizar maniobras peligrosas, como indica (Díaz Rodon , 2015) en sus investigaciones.

Teniendo en cuenta todos los retos históricos que se le han presentado a los ciclistas para su convivencia en vía pública, el presente trabajo de grado analiza una serie de inversiones que han sido ejecutadas en distintos corredores con condiciones particulares; en específico su efectividad en cuanto a la atracción de demanda, sea por demanda redirigida o generada.

1.5. HIPÓTESIS

Teniendo en cuenta el impacto que se quiere generar con la inversión de ciclo infraestructura en la ciudad de Barranquilla para atraer más ciclistas y sus costos se plantearon las siguientes hipótesis:

- ✓ La demanda de ciclistas aumentará con la ampliación de la red para bicicletas
- ✓ El costo de generar ciclistas adicionales en zonas residenciales será mayor al costo de generar ciclistas adicionales en zonas comerciales e institucionales
- ✓ La demanda de ciclistas será creciente en el tiempo posterior a la implementación de ciclo-infraestructura

CAPITULO II

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Primero para evaluar lo que es importante para el usuario ciclista de acuerdo con las condicionantes de viaje, hay que tener claro que la relevancia del transporte en la economía más que por la magnitud de su contribución a la producción nacional, se explica por la dependencia que tiene la sociedad actual de la movilidad de personas y bienes. Los individuos demandan transporte para desplazarse de sus lugares de residencia a los de trabajo, a los de ocio o a visitar amigos y familiares. Generalmente, el transporte no se demanda como actividad final, sino como medio para satisfacer otra necesidad. (De Rus, Campos, & Nombela, 2003).

Según la literatura, las medidas de movilidad se clasifican por cuatro características que son claves, que corresponden a: el tipo de método, el uso del sistema de información geográfica (SIG), la inclusión de la perspectiva del usuario y la escala de medición. Es por esto que, la perspectiva de planificación de que las ciudades deben planificar para lo que quieren (P. Ej. viajes activos, ciudades saludables), no para lo que se tiene (P. Ej. monocultivo de automóviles), está básicamente en desacuerdo con el objetivo económico común de satisfacer la demanda existente. Sin embargo, en el caso de ciudades en vía de desarrollo donde el ciclismo existe, pero cuenta con poco apoyo, el abastecimiento tradicional de la demanda aún puede ser una perspectiva valiosa. (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020)

Se han encontrado que los índices de movilidad en los estudios de tránsito de bicicletas se basan principalmente en variables de microescala en un 83% en vez de las variables de meso-escala las cuales miden las características del entorno construido de la zona de estudio. Las

variables del tráfico (densidad de la población, densidad de empleo son ejemplos de variables de meso-escala a diferencia de las variables de microescala que describen características tales como las intersecciones de carreteras o las condiciones de segmentos de calles (corresponden a ancho de carril para bicicletas, presencia de Bermas, capacidad del pavimento y estética del pavimento), la demora promedio del tiempo de parada, la distancia de cruce de la intersección y las características de la señal de tráfico (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020)

Distintos autores han concluido que la provisión de infraestructura si tiene un efecto sobre la demanda de ciclistas. En estimaciones en Australia encontraron que las mujeres prefieren utilizar infraestructura segregadas del flujo motorizado teniendo en cuenta que tienen una mayor propensión al riesgo, por lo que proporcionar infraestructura destinada es fundamental para incentivar a los grupos minoritarios a utilizar este medio de transporte. Ahora bien, el impacto de esta infraestructura no es fácil de estimar. Dentro de los resultados de los investigadores se indica que las mujeres prefieren viajes con menor cantidad de esfuerzo físico, por lo que es más probable que vivan más cerca de su trabajo. Su estudio muestra que quizá la infraestructura segregada en vía en corredores principales puede que no sea suficiente para atraer conductores inexpertos. (Garrard, Rose, & Sing Kai, 2008)

Bach en el 2006, explica que las medidas de movilidad en bicicletas se basan típicamente en los cinco factores que se mencionan a continuación para el diseño de la infraestructura para bicicletas:

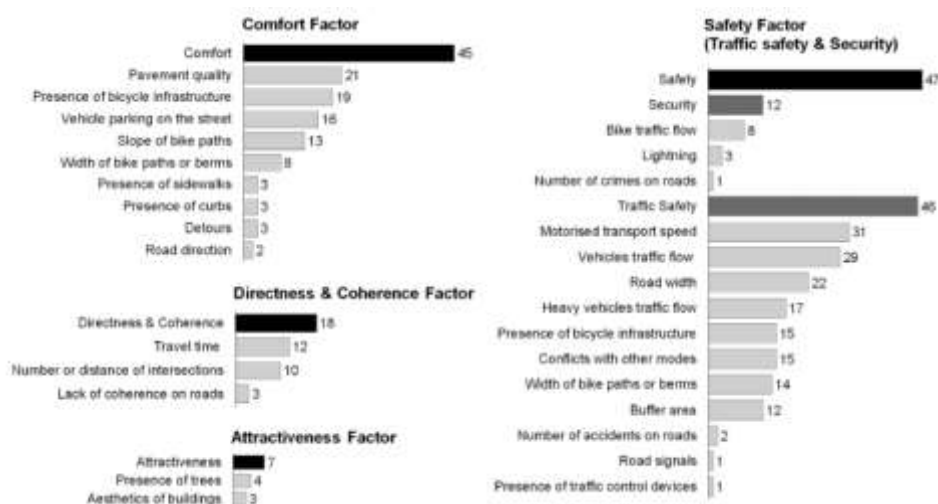
- ✓ Comodidad
- ✓ Franqueza
- ✓ Coherencia
- ✓ Atractivo

✓ Seguridad

Acorde a la revisión de la literatura realizada por los investigadores (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020) se encontraron una serie de artículos que mencionaban los factores propuestos por Bacht, distribuyéndolos como sigue:

Figura 1.

Factores y componentes relevantes en los estudios de bicicletas. (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020)



Fuente: elaboración propia.

Según el estudio y como se puede observar en la ilustración 1, la comodidad y la seguridad son los factores más relevantes para construir los índices de movilidad en bicicleta. Alrededor del 96% de los estudios incluyeron dicho componente, mientras que dentro de los factores que incluyen comodidad y seguridad se destacan las condiciones y calidad del pavimento, así como el ancho de carriles o bermas; tales componentes se consideran importantes para la demanda. La directividad y la coherencia se consideran como un solo factor puesto que tratan sobre el tiempo de viaje, las distancias y la coherencia en sí de esto. En dicha revisión de literatura un 33,9% de estudios incluyen el factor de coherencia. En cuanto al atractivo, solo se encontró que el 13,2%

considera este factor, pero no es el menos importante, hay que destacar que la visibilidad de los ciclistas es importante, como también la limpieza de la misma ciclorruta.

Por otra parte, para que andar en bicicleta sea un modo de transporte viable y saludable, los viajeros que elijan el modo deberían poder hacerlo sin el miedo o la realidad de peligro excesivo asociado con su elección. La seguridad de los usuarios de carreteras no motorizadas es responsabilidad de múltiples partes incluido el usuario y otros viajeros, pero también los planificadores e ingenieros de transporte a través del diseño de las instalaciones (AASHTO, 2010); (DiGioia, Edison Watkins, Xu, & Rodgers, 2017)

Si bien los vehículos de motor no son la única amenaza para la seguridad de los ciclistas, las colisiones con vehículos de motor son la principal causa de miles de usuarios de carreteras no motorizadas. El tratamiento de seguridad para que se reduzca el número o la gravedad de colisiones entre un vehículo motorizado y un usuario no motorizado generalmente aborda uno o más de los siguientes objetivos:

- ✓ Aumentar la separación de bicicletas y vehículo de motor en el tiempo de los usuarios no motorizados.
- ✓ Aumentar la visibilidad de los usuarios no motorizados.
- ✓ Mejorar las líneas de visión entre los modos.
- ✓ Reducir el número de interacciones entre modos (número de calzadas).
- ✓ Reducir la velocidad de vehículos de motor.

Durante las últimas décadas, se han realizado muchos estudios para evaluar los posibles impactos en la seguridad de los tratamientos para bicicleta. Sin embargo, las investigaciones sobre seguridad en bicicletas realizadas no han sido suficientes para respaldarla hasta la fecha. Aumentar la visibilidad de las bicicletas y vehículos les da a los usuarios más tiempo de

reaccionar y evitar una colisión. La reducción de la velocidad de los vehículos de motor aumenta el tiempo de reacción de los automovilistas y ciclistas, lo que reduce la frecuencia de colisiones.

Se ha demostrado que el aumento de la complejidad visual en el entorno de la carretera reduce la velocidad de los vehículos motorizado, agregando complejidad al entorno; es por eso que, en Auckland, Zelanda se están diseñado espacios para minimizar la separación entre los usuarios de la carretera en un esfuerzo por reducir la velocidad de los vehículos motorizados (DiGioia, Edison Watkins, Xu, & Rodgers, 2017)

Por otra parte, estudios realizados en Dublín señalan que las vías ciclistas segregadas del tráfico vehicular son las más preferidas, a partir de una estrategia de preferencias declaradas en 64 escenarios en 11 tipos de encuesta y un modelo logit multinomial (Caulfield, Brick, & McCarthy, 2012). En dichos estudios se encontró que los factores más importantes son la segregación del flujo (75%) y la conectividad (56.4%), características que la infraestructura debe poseer. Adicionalmente, los ciclistas mostraban una reacción negativa a las infraestructuras bus-bici y la “no” existencia de ciclорrutas. Un patrón claro es que, aunque muchos de los usuarios se sientan seguros en las ciclорrutas, aún siguen prefiriendo velocidades menores en la circulación del flujo motorizado. No obstante, hay ciclistas más experimentados que prefieren sus atajos en vez de la hacer uso de las ciclорrutas, por lo que son indiferentes a las velocidades del flujo motorizado evitando hacer recorridos largos lo que les permite llegar a su destino a un menor tiempo.

En pequeñas ciudades como Boulder, Colorado, la cantidad de ciclistas aumento del 3.8% en 1980 al 8,8% en 2006 producto de un ambicioso programa de expansión de ciclорrutas y medidas complementarias, aunque en otras zonas como en Davis, California, bajo del 28% al 14% entre 1980 y 2000, aunque esta reducción se explica por el aumento de la distancia entre

zonas residenciales y laborales (Pucher, Dill, & Handy, 2010). En el caso de Dinamarca y países bajos se encontró que es muy posible que los ciclistas escojan su ruta de viaje dependiendo de la calidad de la infraestructura, e incluso llevando a generar cambios modales de auto a bicicleta, aunque estos sean realmente marginales (2-3%) en el caso de Delft, que ya es una ciudad con ciclismo consolidado (Goeverden, Sick Nielsen, Harder, & Nes, 2015)

La literatura indica que los carriles para bicicletas parecen ser algo beneficiosos para la seguridad, aunque los resultados fueron mixtos y la mayoría de los estudios no fueron estadísticamente significativos. Los carriles para bicicletas fomentan la obediencia a las leyes de tránsito y reducen los conflictos (Hunter, Stewart, Stutts, Huan, & Pein, 1999); (DiGioia, Edison Watkins, Xu, & Rodgers, 2017)

Según la literatura, al parecer las pistas para bicicletas de un solo sentido parecen ser más seguras para las intersecciones que las pistas para las bicicletas de dos direcciones. También se encontró que las pistas para bicicletas y carriles tienen implicaciones de seguridad en algunos estudios (DiGioia, Edison Watkins, Xu, & Rodgers, 2017). Los caminos de usos múltiples parecen estar asociados con tasas de accidentes más altas para los ciclistas en general, posiblemente debido al espacio limitado compartido por los usuarios de los senderos incluidas las mascotas (Aultman-Hall, Nov.1999); (DiGioia, Edison Watkins, Xu, & Rodgers, 2017)

Figura 2.

Comportamiento parque automotor en la ciudad de Barranquilla para los años 2014-1015. (Díaz Rodon , 2015)



Fuente: elaboración propia.

El incremento mostrado en la ilustración 2, según la secretaría de movilidad de la ciudad, los vehículos matriculados en barranquilla incrementaron en un 7.15 %, esto quiere decir que, la implementación de la ciclo-infraestructura ha sido un poco tediosa debido a que, en una encuesta de percepción ciudadana, para los barranquilleros el tema de tiempo de traslado según sus percepciones, han aumentado con respecto al 2013.

En países bajos y Dinamarca han implementado con éxito medidas sostenibles ya que lograron introducir políticas de inversión para ciclistas y peatones antes de que todo el ciclismo desapareciera. (PETTINGA, 2009); (Díaz Rodon , 2015), ya que por ejemplo Estados Unidos ha optado es por implementar soluciones no sostenibles, esto corresponde a ampliación de vías que vuelven a congestionarse por el poder adquisitivo que tienen las personas que habitualmente prefieren adquirir un automóvil. La implementación y éxito de la ciclo infraestructura requiere de culturización, no solo de los planificadores urbanos u organizaciones de transporte público.

Como se ha evidenciado en distintas experiencias alrededor del mundo el estudio de los diversos factores que influyen la demanda ciclista no ha generado un estándar concluyente sobre sus efectos absolutos sobre la demanda, debido a que esta depende de la cultura, el tejido urbano y factores socioeconómicos, por lo que se han registrado intervenciones exitosas y otras no tanto.

En consecuencia, teniendo esto en cuenta el presente estudio contempla los antecedentes a nivel mundial para establecer una serie de conclusiones tras implementar un desarrollo de infraestructura destinada a ciclistas que busca fomentar la demanda en una ciudad no ciclista.

2.2. MARCO TEÓRICO

Investigadores han desarrollado distintos modelos que buscan explicar las decisiones de viaje, comparando las utilidades de distintos modos y/o rutas de viaje. La infraestructura y espacio disponible para la circulación de distintos tipos de transporte depende de las prioridades del diseño urbanístico histórico de las ciudades. Históricamente el desarrollo clásico de infraestructura ha estado enfocado en el vehículo motorizado, dejando a la bicicleta rezagada y con poca disponibilidad de espacio. Ahora bien, para crear espacios para la bicicleta y los usuarios vulnerables, es importante analizar la rentabilidad social de la infraestructura ya que de ella va a depender la demanda de viajes y la factibilidad de futuros proyectos. Estos cambios en la distribución de espacio público no deben afectar considerablemente a los usuarios que encuentran más atractivo los modos de transporte tradicionales, que contaminan el medio ambiente, generan congestión y ruido. La infraestructura, la iluminación, el clima, el tiempo invertido de viaje y otros factores son condicionantes que pueden afectar la preferencia de un nuevo ciclista o uno habitual, por lo que es conveniente pensar en construir trayectos que impliquen la menor cantidad de tiempo, ya que el tiempo de viaje le supone una pérdida de utilidad del usuario.

Las utilidades de los usuarios están ligadas a los tiempos de viaje, y así mismo las decisiones de viaje dependen de esas utilidades derivadas de cada modo, por ende, el usuario escogerá aquel modo que mayor utilidad le reporte.

Ahora bien, la decisión de viaje y la elección modal de desplazamiento dependen de una serie de condiciones monetarias y temporales, que incorporan la existencia de valoraciones subjetivas de los atributos de los modos de transporte, los cuales permiten explicar las fluctuaciones en demanda generada tras un cambio en la oferta de transporte (Caride Estevéz, Gimenez Fernández, & Gonzalez Martínez, 2005). (Thurstone, 1927) Desarrolló en primer lugar estos conceptos en términos de estímulos psicológicos, dando lugar a un modelo probit binario relativo a si los encuestados pueden diferenciar el nivel de estímulo recibido. En 1960, Marschak interpretó los estímulos como una utilidad y proporcionó una formulación a partir de la maximización de la utilidad. (Ortúzar Salas, Monzón de Cáceres, Robusté Antón, Román García, & González Marrero, 2005).

La elección modal se puede analizar utilizando modelos de elección discreta. Una de las ventajas que presentan estos modelos surge de su intención por describir la relación causal entre las características socioeconómicas y del sistema de transporte con el viaje realizado. (MCFADDEN & DOMENCICH, 1975), plantearon que, si se expresa la demanda agregada de un viaje como una frecuencia dividiéndola por el tamaño de la población, se puede interpretar la frecuencia de ese viaje como la probabilidad de que un individuo escogido de forma aleatoria de la población elija realizar ese viaje. (Duhau, Etchegoyen, Fiorioli, Ichaso, & Lev, 2017)

El Logit (o Logit Multinomial, MNL) por ejemplo, es el modelo de elección discreta más utilizado. Se obtiene suponiendo que cada en_j distribuye según una distribución de Gumbel, o valor extremo tipo I (Gumbel, 1958), independiente e idéntica (es decir, con la misma varianza):

$\epsilon_{nj} \sim \text{Gumbel iid}$. Su desarrollo se inicia con los trabajos de (Luce, 1959), que desarrolla la fórmula logit a partir de la «independencia de alternativas irrelevantes», y (Marschak, 1960), que muestra que esta propiedad lleva a modelos consistentes con la teoría de la maximización de la utilidad aleatoria. (Ortúzar Salas, Monzón de Cáceres, Robusté Antón, Román García, & González Marrero, 2005)

Si una variable ϵ se distribuye según una distribución de Gumbel de parámetro de localización η y parámetro de escala μ , su función de distribución es:

$$F(\epsilon) = \exp[-e^{-\mu(\epsilon-\eta)}], \mu > 0$$

El conjunto de la modelización de la demanda del transporte puede interpretarse como una secuencia de elecciones jerarquizadas, como se describe en (Bates, 2000). El individuo decide el momento del viaje, la ruta, el modo, el destino, la frecuencia o la supresión del viaje. (Ortúzar Salas, Monzón de Cáceres, Robusté Antón, Román García, & González Marrero, 2005)

El modelo logit fue utilizado por investigadores como (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020), para conocer parámetros de utilidad de cada uno de los factores externos para los ciclistas. En esta investigación no se utilizó el modelo logit para predecir viajes ya que se analizaron resultados de conteos vehiculares directamente que reflejan las decisiones de viaje de los usuarios, sin embargo, se tuvo en cuenta la teoría en la formulación y análisis de los factores influyentes en la demanda y sus cambios. Esto con la finalidad de entender el comportamiento de la demanda e integrar las investigaciones aplicables en el tema de interés.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de tesis abarca varios tipos de investigación. De acuerdo al nivel de profundización correspondería a una investigación descriptiva y explicativa. Por otra parte, según el tipo de datos empleados corresponderá a una investigación cuantitativa y cualitativa.

El efecto de invertir en ciclo-infraestructura, requiere de una investigación descriptiva ya que de esta manera se podrá entender la naturaleza del fenómeno, y para entender las razones de algún fracaso o éxito se requerirá de una investigación explicativa puesto que permitirá realizar un análisis de causa y efecto en la inversión de ciclo-infraestructura, de acuerdo a las ciclorrutas que se han construido en la ciudad; de esta manera se podrá hacer una generalización y comprobación de los factores, variables que se mencionan en la literatura y de los cuales podrían influir en estos proyectos en cuanto al objeto de generar más usuarios ciclistas y exista equilibrio tanto en la oferta como en la demanda. Entonces para poder determinar, comparar, relacionar, se realizó una investigación cuantitativa la cual permitió recopilar una serie de datos (en este caso aforos) los cuales fueron analizados para concluir sobre los patrones de demanda.

Nivel de investigación: se llevó a cabo una investigación de carácter explicativo, correlacional y comparativo con el fin de obtener información que permitiera conocer todos los efectos de invertir en la ciclo-infraestructura para así generar perspectivas en cuanto a su demanda y lo que cuesta el generar ciclistas adicionales.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este documento fue necesario plantear la metodología a desarrollar y llevar todos los procesos conforme a los objetivos de esta siguiendo los puntos a continuación:

1. Revisión general de la literatura de la intervención en ciclo infraestructura en ciudades similares al caso de estudio, Barranquilla, para establecer correlaciones basadas en lecciones aprendidas.
2. Diagnóstico del caso de estudio – Barranquilla - revisión de los antecedentes en cuanto intervenciones en ciclo infraestructura, aspectos socioeconómicos, y en general detalle del contexto del caso de estudio. Se realizó un análisis del contexto y eventos relevantes con su respectiva línea de tiempo por eventos no convencionales por la pandemia global causada por el COVID-19.
3. Análisis geográfico y de planos. Se realiza un trabajo con software GIS como Google Earth y QGIS para generar planos en los que se puede evidenciar la ciclo infraestructura en función de la demanda de viajes por sectores y según bicicletas/habitante.
4. Análisis de aforos (conteos de ciclistas). Se analizó la demanda en 6 corredores con la información de la Alcaldía de Barranquilla para captar los cambios en la demanda de ciclistas por hora y por día, por corredor y de manera global.
5. Análisis de las inversiones realizadas, estableciendo costos unitarios a partir de información suministrada por la Alcaldía de Barranquilla y los efectos de esta, estimando los costos de generar ciclistas adicionales.
6. Se establece una relación entre la demanda y los km de infraestructura disponible probando distintos modelos como lineales, exponenciales y logarítmicos.
7. Discusión final a partir de los factores socioeconómicos y demás relevantes.

CAPITULO IV

4. CASO DE ESTUDIO

La ciudad de Barranquilla con más de un millón de habitantes, ubicada sobre el margen occidental del río Magdalena y en el vértice nororiental del departamento del Atlántico denominada como distrito Especial, Industrial y Portuario, está integrando el desarrollo de la política ciclo-inclusiva, teniendo en cuenta que este proceso ha sido un reto debido a variables como lo es el clima, siendo un distrito tropical subhúmedo y monzónico como también la existencia de una red urbana agresiva y con poca disponibilidad en cuanto al espacio para ciclistas. Barranquilla a pesar de no ser una ciudad ciclista, está en el proceso de generar más usuarios y hacer de la bicicleta una opción de transporte seguro, eficiente y que la movilidad en la ciudad se vuelva más sostenible.

Históricamente las políticas de desarrollo de infraestructura urbana se han concentrado en aumentar la capacidad vial y la velocidad promedio para el tráfico motorizado, lo que genera condiciones agresivas de seguridad vial para peatones y usuarios de bicicletas. Teniendo esto en cuenta los proyectos de infraestructura más ambiciosos en la ciudad se negaron a incluir carriles exclusivos para bicicletas debido a las limitaciones de espacio en la red vial principal y no se consideró este medio de transporte como un aspecto relevante en la movilidad, lo que resultó en ciclistas obligados a transitar en carriles de tráfico mixto, donde se los percibe como extraños por los vehículos motorizados.

Uno de los motivos que incentivaron a que en la ciudad se hiciera un esfuerzo por la movilidad sostenible al poner en marcha el proyecto de la ciclo-infraestructura, fue cuando en el 2020 la pandemia generada por el COVID-19 paralizó no solo a la ciudad, sino todo el mundo; debido a esto, se comenzaron a implementar estrategias para evitar el contacto físico, con el fin

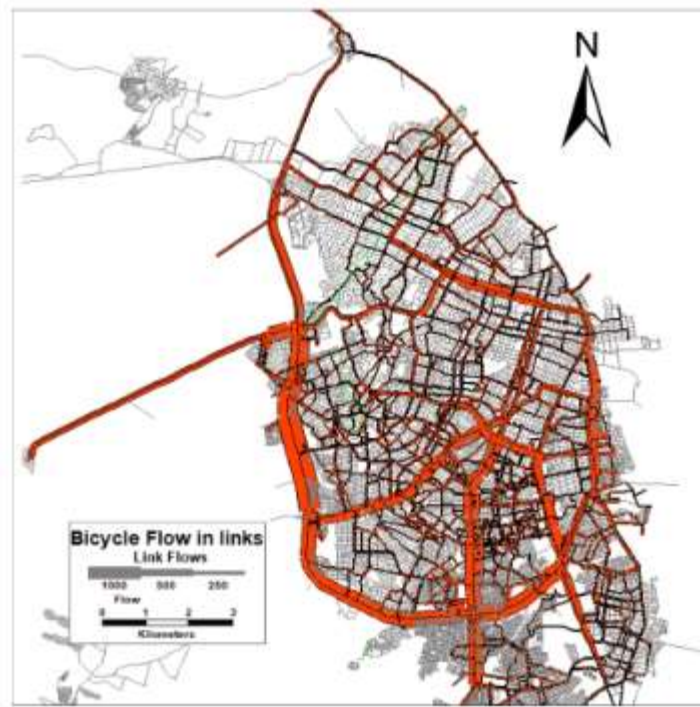
de que no se propagara el virus; tales estrategias se enfocaron más en el sector transporte, pues la intervención se orientó en aumentar la cantidad de km disponibles en ciclo infraestructura, con el fin de capturar y aumentar la demanda de usuarios ciclistas, así como también mejorar la circulación de los mismos.

Según la secretaria distrital de tránsito y seguridad vial de la ciudad para el 31 de diciembre del 2019 ya existían 34,42 km de ciclorrutas disponibles entre calzada, anden y ciclobandas y los viajes diarios en la ciudad representaban el 1,8% lo que equivalía a unos 42.600 viajes diarios en bicicleta (TPD-Epypsa, 2012). Sin embargo, la mayoría de estos viajes no eran realizados en las ciclorrutas existentes debido a la falta de continuidad de las mismas, es decir, no se generaban viajes convenientes.

En la siguiente imagen se muestra que la mayor demanda de ciclistas se encuentra principalmente por carreteras primarias como la avenida circunvalar, calle 30, avenida murillo y avenida cordialidad conectando zonas especialmente en el sur de la ciudad. La figura muestra flujos donde destacan los viajes de trabajo, lo que permite analizar los patrones típicos de demanda de bicicleta en la ciudad; es claro que en la red los caminos primarios más utilizados son los que se ubican hacia la parte sur de la ciudad a diferencia del norte. (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020)

Figura 3.

Asignación de viajes por motivo de trabajo en Barranquilla. Fuente: (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020)



Fuente: elaboración propia.

La demanda de viajes entre origen y destino dependen de la ubicación, atracción, generación, directividad y conectividad de la red, más cuando son las personas de bajo ingresos quienes hacen uso de este medio de transporte.

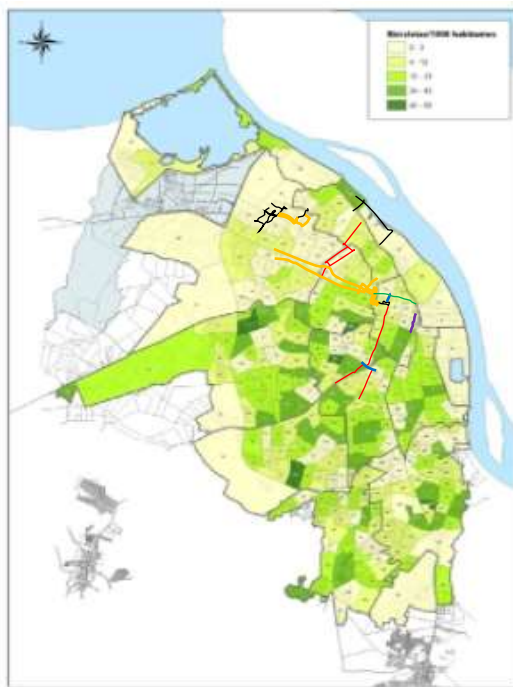
Considerando esto la evidencia empírica muestra que las carreteras primarias con buenas conexiones entre orígenes y destinos, pero con atributos de entornos débiles pueden llegar a tener altos niveles de demanda de viaje en bicicleta, superiores a vías locales con quizá mejores entornos, para ir a su destino de trabajo (Arellana, Saltarín, Larrañaga, & González, 2020).

En las siguientes figuras se puede apreciar en la ilustración 4 la cantidad de bicicletas por cada mil habitantes por zona de transporte y en la ilustración 5 los viajes diarios generados según zona de transporte, acorde al diagnóstico del plan maestro de movilidad realizado para la ciudad de

Barranquilla para el año 2012. De esta información gráfica se puede evidenciar que, en la zona de Riomar, por ejemplo, el número de bicicletas es muy inferior si lo comparamos con el suroccidente, el suroriente y la parte metropolitana de la ciudad, aunque hay más concentración hacia el suroccidente de la ciudad. Ahora bien, también es evidente que el número de viajes generados en un día se concentra en la localidad metropolitana y suroriental. Cabe recordar que, si bien la ilustración 5 muestra los viajes generados totales en Barranquilla, el 1,8% de ellos son viajes en bicicleta, por lo que podemos decir que esta es una distribución general de los viajes. Como parte del desarrollo del presente documento se ilustraron las ciclorrutas existentes a octubre de 2021 en los respectivos mapas para establecer una relación y comprender el uso de estas.

Figura 5.

Bicicleta por cada 1000 habitantes por zona de transporte.

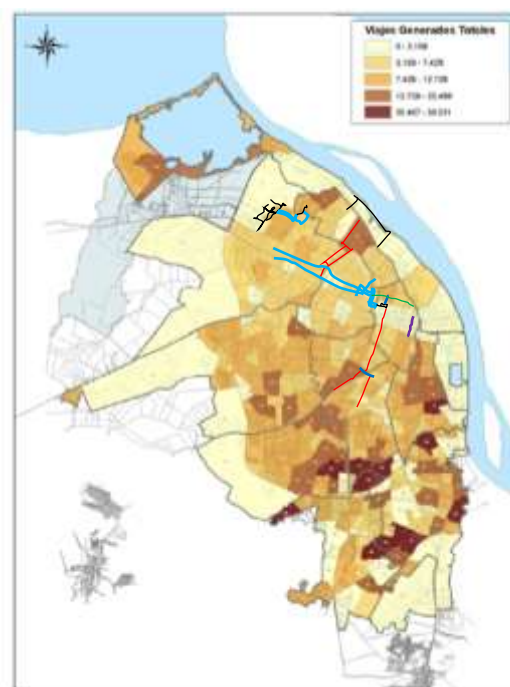


Fuente: Diagnóstico PMM

Fuente: Diagnóstico PMM

Figura 4.

Viajes diarios generados según zona de transporte.



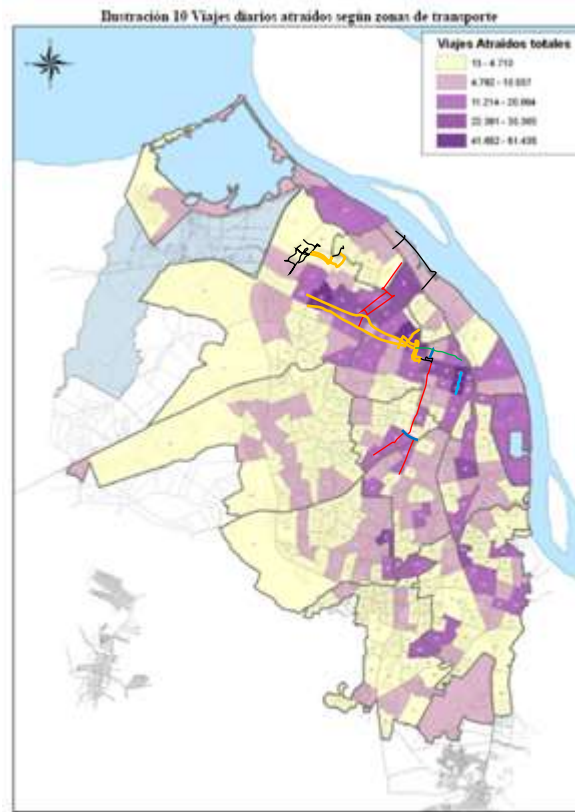
Fuente: Diagnóstico PMM

Fuente: Diagnóstico PMM

Básicamente, antes de que comenzara con el proyecto de inversión de la infraestructura para bicicletas en la ciudad, únicamente existía para el 2012 solo 14,5 km de ciclorrutas y éstas se encontraban en la zona norte de la ciudad, zona de mayores ingresos mientras que la zona sur donde se encuentra la población de estrato socioeconómico 1 y 2, es la zona donde menos hay y donde más viajes habituales se generan; esto está influenciado por el atractivo, pues las zonas con mayor nivel adquisitivo atraen una buena parte de los viajes ya sea por destino de trabajo o estudio. Haciendo énfasis en lo que corresponde a la atracción de viajes diarios correspondiente la ilustración 6, podemos evidenciar la concentración de viajes que usualmente vienen desde la localidad del sur como se muestra en figuras anteriores. Es claro que las ciclorrutas si conectan los sectores de norte, no obstante, en el sur donde se originan los viajes no hay conexiones, de hecho, los tramos ubicados más al sur (calles 47 y 44) son nuevos y fueron implementados en el periodo 2020-2021.

Figura 6.

Viajes diarios atraídos según zonas de transporte.



Fuente: Diagnóstico PMM

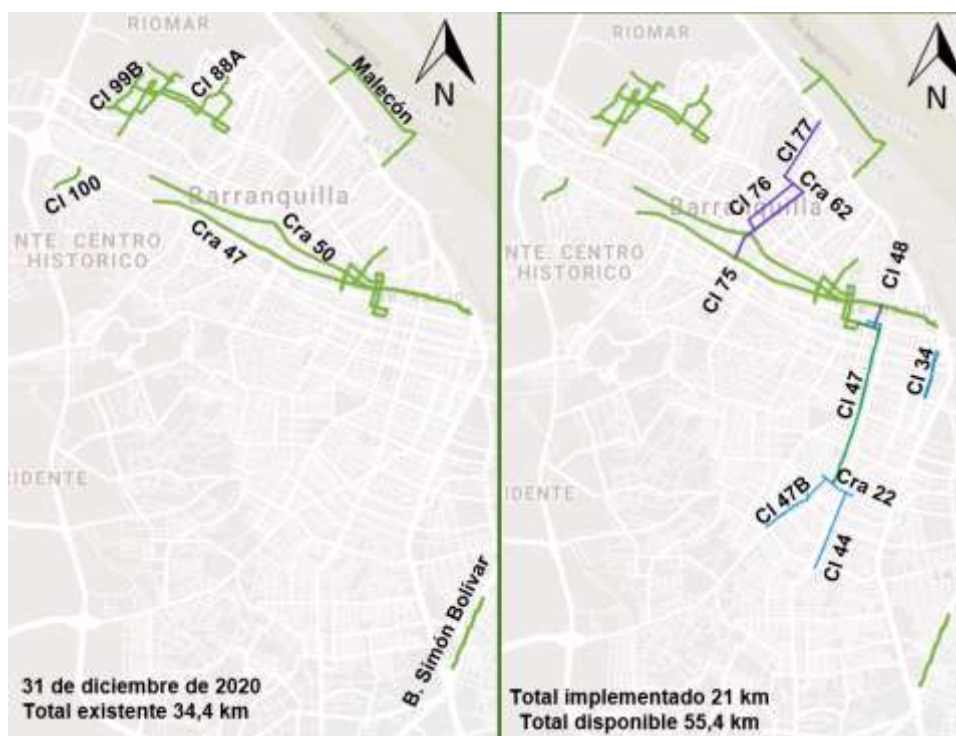
Fuente: Diagnóstico PMM

Considerando esto se puede evidenciar que no existe una red que conecte orígenes y destinos de manera clara, especialmente por la falta de infraestructura en el sur de la ciudad por lo que existe un desbalance entre la oferta de infraestructura y la demanda de esta, generando un déficit que a la larga se transforma en un desincentivo hacia la bicicleta como medio de transporte. La ubicación de la infraestructura debe estar orientada hacia la conexión y habilitación de espacios para que los ciclistas habituales puedan acceder y hacer uso de las rutas, contemplando las zonas con mayor posesión de bicicletas por habitante, las zonas de generación y atracción de viajes.

Las intervenciones en ciclo infraestructura realizadas por la ciudad han estado enfocadas en esto y han permitido desarrollar mejor el concepto de ciclorrutas orientadas a conectar orígenes y destinos, buscando fomentar el uso de la infraestructura, ya que las antiguas ciclo bandas y ciclorrutas implementadas en 2016 (carrera 50 y 46) que cruzan el norte de la ciudad oriente-occidente y viceversa, lucen desoladas la mayor parte del tiempo. A continuación, podemos visualizar como ha cambiado la ciclo infraestructura con la inversión realizada por el distrito, que es nuestro objeto de estudio:

Figura 7.

Antes y después de implementación de proyecto de ciclo infraestructura



Fuente: Secretaría de Tránsito y Seguridad Vial.

Es importante mencionar que a la fecha de la presente investigación algunas ciclorrutas nuevas han sido implementadas mientras otras han sido levantadas ya que eran de carácter temporal, acorde con la información suministrada por la Secretaría de Tránsito y Seguridad Vial.

En general se puede decir que se intervinieron las siguientes ciclorrutas (circuitos) que funcionan como corredores:

- Calle 47 entre carreras 22 y 45
- Calle 44 entre carreras 22 y 13C
- Carrera 22 entre calles 47C y 44
- Calle 34 entre carreras 38 y 45
- Calles 75, 76 y 77 entre vía 40 y carrera 47
- Calles 47B, 47C y 47D entre carrera 22 y 14

Es importante indicar que acorde con la información recibida de la autoridad de tránsito el corredor de la avenida murillo es el favorito por muchos ciclistas, por lo que se comparó su antes y después al implementar ciclorrutas “sustitutas” como la calle 47 y 44.

5. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADO

A continuación, se presentarán las variaciones antes y después de implementada la ciclorruta en los distintos corredores en la ciudad de Barranquilla, así como el costo por km intervenido en cada uno de los corredores estudiados los cuales corresponde a las calles 34, 44, 45, 47, 47B, 47C, 47D 75, 76, 77 y carrera 22. Adicionalmente, se contemplarán las estimaciones de los costos que genera un ciclista adicional a la ciudad por corredor.

En la tabla 1, se presentan los volúmenes de ciclistas en hora de máxima demanda (HMD), de los corredores evaluados intersección por intersección; para ello, se tuvo en cuenta el volumen de ciclistas que transitaban antes y después de la implementación de la ciclorruta, mostrando de este modo la variación que generó la existencia de las ciclorrutas en la zona. Se presenta el antes y después, junto con la variación porcentual y la variación real.

Tabla 1.

Volúmenes en hora de máxima demanda (HMD)

Identificación	Intersección			Volúmenes en HMD (Hora de Máxima Demanda)				
	Proyecto	Calle	Carrera	Antes de CR	Después de CR	Variación %	Variación de volumen	Resumen
				20/05/2020	12/08/2020			
	Calle 34	34	43	151	191	26.49%	40	Aumento
				30/07/2020	28/08/2020			
	Calle 44	44	19	88	257	192.05%	169	Aumento
				31/07/2020	31/08/2020			
	Calle 44	44	14	154	274	77.92%	120	Aumento
				28/07/2020	26/08/2020			
	Calle 44	44	21	147	297	102.04%	150	Aumento
				2/06/2020	2/09/2020			
Muri llo	Calle 45	45	14	237	395	66.67%	158	Aumento
				23/07/2020	3/09/2020			
Muri llo	Calle 45	45	19	381	286	-24.93%	-95	Disminuyo
				2/06/2020	30/06/2020			
Muri llo	Calle 45	45	21	218	186	-14.68%	-32	Disminuyo
				2/06/2020	10/07/2020			
Muri llo	Calle 45	45	27	287	260	-9.41%	-27	Disminuyo
				3/06/2020	6/07/2020			
Muri llo	Calle 45	45	33	239	186	-22.18%	-53	Disminuyo
				2/06/2020	15/07/2020			

Identificación		Intersección		Volúmenes en HMD (Hora de Máxima Demanda)				
Proyecto	Calle	Carrera	Antes de CR	Después de CR	Variación %	Variación de volumen	Resumen	
Muriillo	Calle 45	45	38	367	354	-3.54%	-13	Disminuye
				15/05/2020	1/07/2020			
	Calle 47	47	24	85	238	180.00%	153	Aumento
				18/05/2020	10/07/2020			
	Calle 47	47	43	56	117	108.93%	61	Aumento
				18/05/2020	2/07/2020			
	Calle 47	47	45	96	181	88.54%	85	Aumento
				6/08/2020	23/09/2020			
	calle 47B	47B	16	71	80	12.68%	9	Aumento
				5/08/2020	22/09/2020			
	Calle 47B	47B	19	95	91	-4.21%	-4	Disminuye
				4/08/2020	21/09/2020			
	Calle 47C	47C	21	157	68	-56.69%	-89	Disminuye
				22/05/2020	9/09/2020			
	Calle 75	75	47	68	65	-4.41%	-3	Disminuye
				22/05/2020	18/08/2020			
	Calle 75	75	50	75	138	84.00%	63	Aumento
				10/07/2020	8/09/2020			
	Calle 75	75	52	134	69	-48.51%	-65	Disminuye
				7/07/2020	14/08/2020			
	Calle 75	75	58	118	131	11.02%	13	Aumento

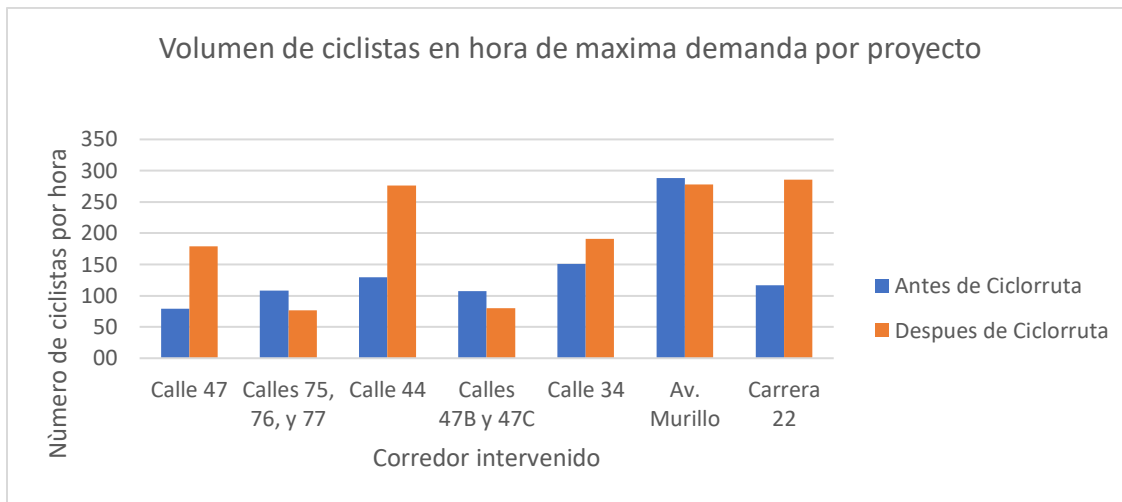
Identificación	Intersección			Volúmenes en HMD (Hora de Máxima Demanda)				Resumen
	Proyecto	Calle	Carrera	Antes de CR	Después de CR	Variación %	Variación de volumen	
				15/07/2020	10/09/2020			
	Calle 75	75	62	119	71	-40.34%	-48	Disminuyo
				14/07/2020	13/08/2020			
	Calle 76	76	58	169	112	-33.73%	-57	Disminuyo
				17/07/2020	25/09/2020			
	Calle 76	76	62	144	40	-72.22%	-104	Disminuyo
				13/07/2020	28/09/2020			
	Calle 77	77	66	101	30	-70.30%	-71	Disminuyo
				14/07/2020	24/09/2020			
	Calle 77	77	71	43	37	-13.95%	-6	Disminuyo
				15/05/2020	17/07/2020			
	Carrera 22	Cordialidad	22	117	286	144.44%	169	Aumento

Fuente: elaboración propia

En la gráfica 1 del presente documento se puede apreciar los volúmenes de ciclistas en la hora de máxima demanda de cada corredor intervenido en promedio, permitiendo evidenciar la diferencia del antes y después de implementada la ciclorruta. Adicionalmente, en la gráfica 2, se muestra la representación porcentual de la variación del volumen de ciclistas, notándose cuáles fueron los corredores que aumentaron y disminuyeron en los dos periodos aforados.

Figura 8.

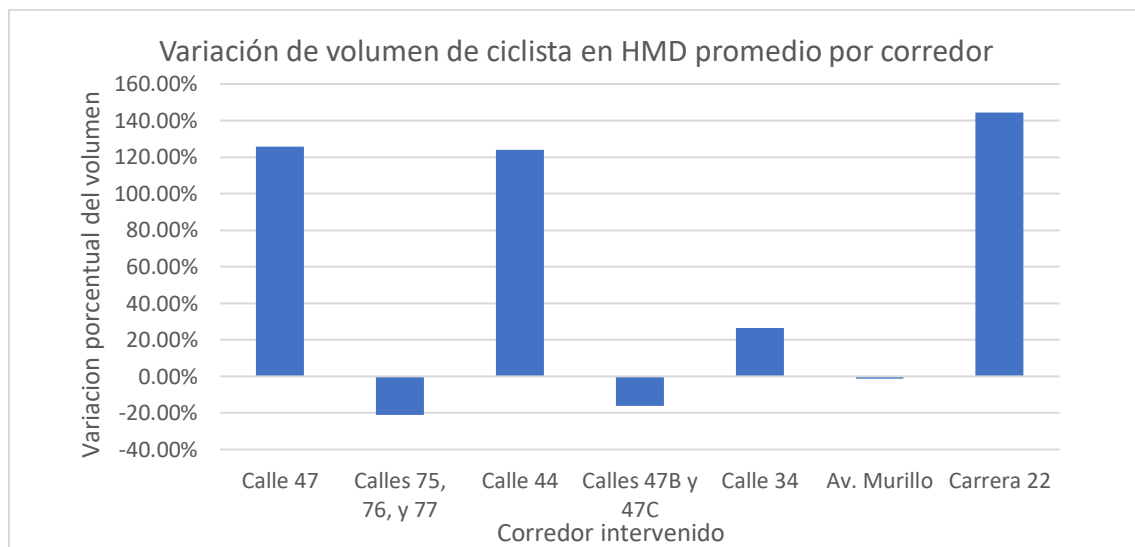
Volumen de ciclistas en hora de máxima demanda por proyecto antes y después de CR.



Fuente: elaboración propia

Figura 9.

Variación de volumen de ciclista en HMD promedio por corredor



Fuente: elaboración propia

Por otra parte, la tabla 2 se elaboró con la finalidad de analizar el funcionamiento promedio en cualquier hora del día, es decir, se sumaron los ciclistas totales registrados en el periodo de aforo y se dividió entre las horas que se aforaron realmente sin tener en cuenta los tiempos de

receso, con el fin de obtener el volumen horario promedio y la variación real de los mismos.

Cabe destacar que en el caso de la calle 44 con carreras 21 y 27, y en el corredor de la calle 76 y 77 existe una tercera medición, la cual fue tomada por la secretaría de tránsito para actualizar la información de volúmenes, sin embargo, para estandarizar la metodología se utilizará la primera medida para los cálculos y la segunda será utilizada para el análisis.

Tabla 2.

Resultados aforos de bicicletas (volumen horario promedio) antes y después de implementar ciclorruta.

Calle	Calle	Volumen horario promedio				
		Antes de CR	Después de CR	Después de CR 2 (medición #2)	Variación %	Variación real
34	43	80.17	98.56		22.94%	18.39
44	19	51.78	128.61		148.38%	76.83
	14	77.875	92.52		18.81%	14.65
	21	83.7575	137.58		64.26%	53.82
45	14	113.41	161.17		42.11%	47.75
	19	149	126.73		-14.95%	-22.27
	21	99.65	102.35	130.55	2.72%	2.71
	27	163.54	169	153.85	3.34%	5.46
	33	108.47	95.059		-12.36%	-13.41
	38	231.02	156.73		-32.16%	-74.29
47	24	18.94	49.41		160.87%	30.47
	43	40.78	77.95		91.13%	37.16
	45	25.18	50.82		101.87%	25.65
47B	16	45.13	50.09		11.00%	4.97
	19	40.88	43.80		7.17%	2.93
47C	21	84.5	56		-33.73%	-28.50
75	47	43.65	47.27		8.31%	3.63
	50	24.47	40.94		67.31%	16.47
	52	79.53	42.49		-46.57%	-37.04
	58	30.47	34.35		12.74%	3.88
	62	68.71	32.38		-52.87%	-36.32
76	58	42.24	29.29		-30.64%	-12.94
	62	35.06	30.35	27.18	-13.42%	-4.71
77	66	25.65	23.65	17.81	-7.80%	-2.00
	71	20.89	30.75	23.47	47.21%	9.86
Cordialidad	22	53.89	136		152.37%	82.11

Fuente: elaboración propia

Con el fin de calcular el número de ciclistas adicional que la inversión generó en total, se realizó un promedio con los datos suministrados en la tabla 2 y que se representan en la siguiente tabla, donde también se puede encontrar el volumen horario promedio antes y después de implementar la ciclorruta en cada uno de los proyectos intervenidos. La variación real muestra que el número promedio de ciclistas adicional por hora en cada corredor fue de 22,5 (23), mientras que el promedio de ciclistas por corredor generado en 12 horas fue de 270 ciclistas (teniendo en cuenta que las ciclorrutas están en actividad en un día típico un periodo de 12 horas a 14 horas en promedio).

Tabla 3.

Volumen promedio antes y después de ciclorruta

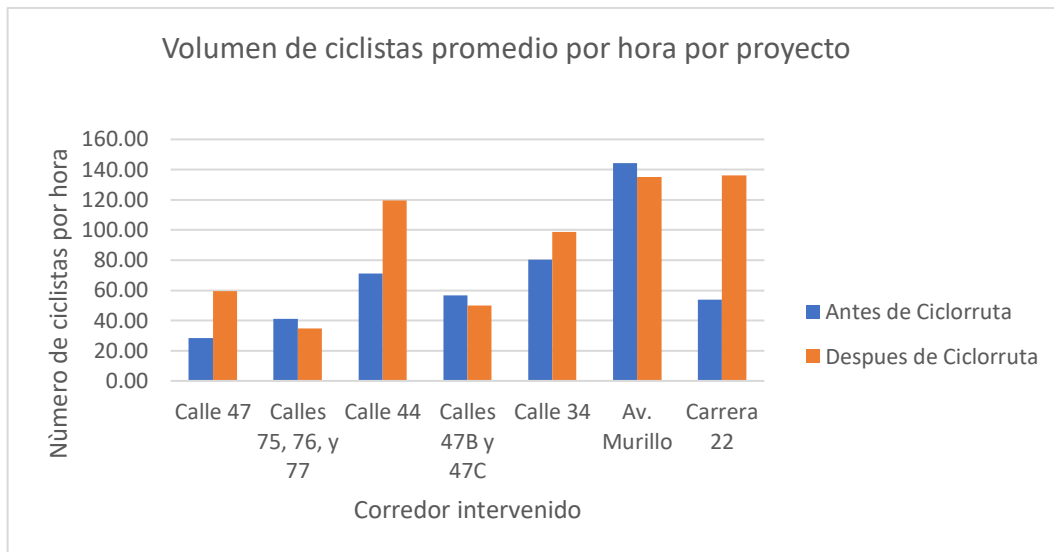
Corredor	Volumen promedio			
	Antes de Ciclorruta	Después de Ciclorruta	Variación %	Variación real
Calle 47	28.30	59.39	117.95%	31.09
Calle 75, 76 y 77	41.18	34.61	-1.75%	-6.57
Calle 44	71.1375	119.57	77.15%	48.43
Calles 47B y 47C	56.83	49.97	-5.19%	-6.87
Calle 34	80.17	98.56	22.94%	18.39
Av. Murillo	144.18	135.17	-1.89%	-9.01
Carrera 22	53.89	136	152.37%	82.11
		Impacto de demanda en 1 h	51.66%	22.51
		Impacto de demanda en 12 h		270.13

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, la gráfica 3 representa el volumen promedio antes y después de ciclorruta. Así mismo, en la gráfica 4 se observa la representación porcentual respecto a la variación real del volumen de ciclista por hora promedio de cada uno de los corredores.

Figura 10.

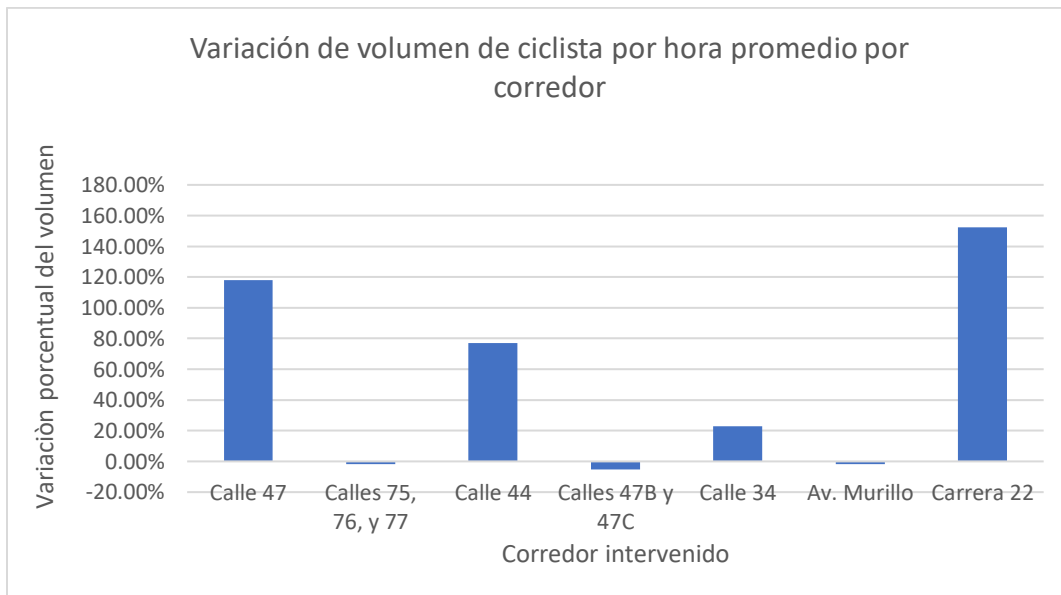
Volumen de ciclistas promedio por hora por proyecto antes y después de la ciclorruta.



Fuente: elaboración propia

Figura 11.

Variación de volumen de ciclista por hora promedio por corredor.



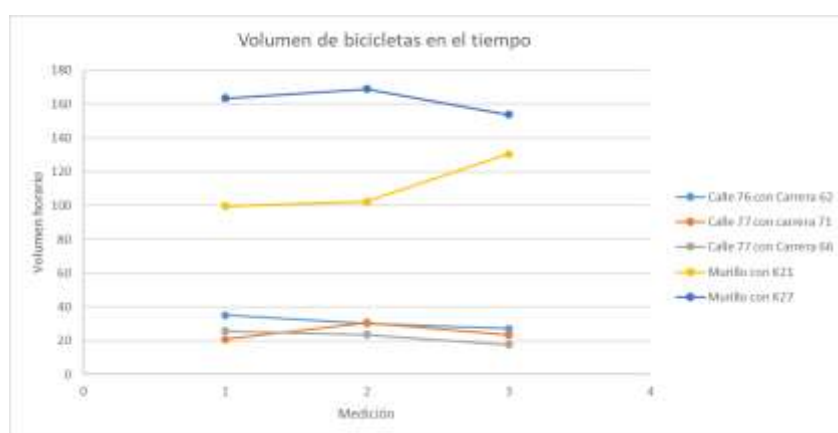
Fuente: elaboración propia

5.1. VOLUMENES EN EL TIEMPO

Es importante indicar que la medición 2 (o aforo 2) es posterior a la implementación de un proyecto de ciclo infraestructura, excepto en el caso de los aforos sobre la avenida murillo, zona en la que no existe ciclo infraestructura, no obstante, es el corredor más atractivo y que representa mayor competencia para la ciclorruta oficial (calle 44 y 47) por su gran continuidad.

Figura 12.

Volumen de bicicletas en el tiempo en los corredores.



Fuente: elaboración propia.

5.2. COSTOS Y ESTIMACIONES

A continuación, se presentan los km intervenidos por corredor y sus características:

Tabla 4.

Km intervenidos por corredor

Corredor	km efectivos intervenidos	Intervención
Calle 47	2.51	Definitiva
Calles 75, 76, y 77	2.69	Temporal
Calle 44	1.28	Definitiva
Calles 47B y 47C	1.30	Definitiva

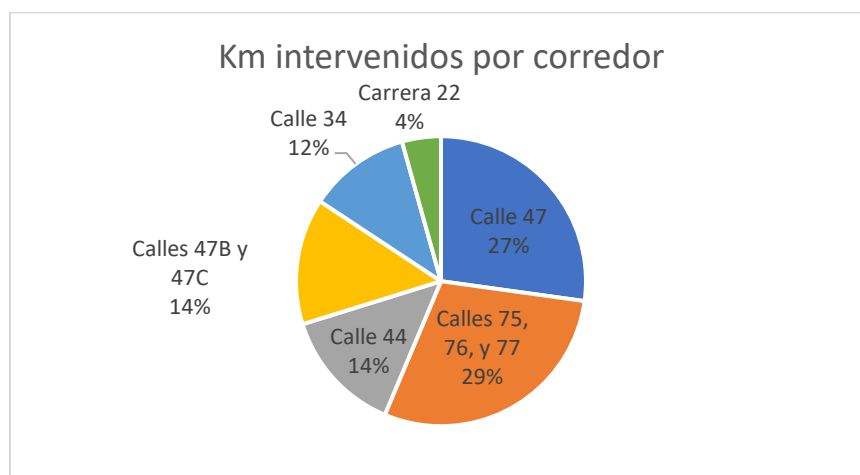
Corredor	km efectivos intervenidos	Intervención
Calle 34	1.05	Temporal
Carrera 22	0.40	Definitiva

Fuente: elaboración propia.

Básicamente, los corredores de las calles 75,76 y 77 ocupan un 29,0% de los km intervenidos, seguido del corredor de la calle 47 con un 27,0% de km intervenido. En tercer lugar, se presentan los corredores de la calle 47B, 47C y calle 44 con un 14% de km intervenido y finalmente se encuentra la carrera 22 que ocupa un 4% de km intervenido respecto a todo el proyecto en general que se expuso en esta tesis.

Figura 13.

km intervenidos por corredor



Fuente: elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que en el caso de los corredores de la calle 75, 76 y 77 y calles 47B y 47C no se puede considerar que existan ciclistas adicionales ya que los volúmenes se reducen, probablemente por los efectos de la reapertura económica y el retorno a las actividades normales de los ciudadanos que optan por utilizar el automóvil. El incremento en los

flujos vehiculares tiende a disminuir la propensión de manejar bicicleta, acorde con los indicadores estimados por (Arellana, Saltaín, Larrañaga, & González, 2020)

Por otro lado, en la tabla 5 se presentan los costos totales respecto a las inversiones de cada proyecto intervenido, como también el costo por ciclista adicional tanto en la hora de máxima demanda como en el volumen horario promedio.

Para calcular el costo total y el costo por ciclista adicional se realizó lo siguiente:

$$CT = \text{Costo por km} \cdot \text{longitud ciclorruta en km}$$

$$\text{horas proyecto} = 365 \cdot 5 \cdot 12 = 21900$$

$$\text{horas HMD proyecto} = 365 \cdot 5 = 1825$$

$$\text{valor ciclista adicional promedio} = \frac{CT}{\Delta \text{ ciclistas promedio}} \cdot \text{horas proyecto}$$

$$\text{valor ciclista adicional en HMD} = \frac{CT}{\Delta \text{ ciclistas en HMD}} \cdot \text{horas HMD proyecto}$$

Donde:

- CT: es el costo total en pesos colombianos (COP)
- Horas de proyecto: es el total de horas que funcionará la ciclorruta asumiendo que funciona 365 días al año, 12 horas en promedio al día por 5 años.
- Horas HMD proyecto: es el total de horas de máxima demanda que funcionará la ciclorruta asumiendo que se dan estos periodos 365 días al año, por 5 años.
- Δ ciclistas promedio: es la variación real de ciclistas promedio en un corredor en un día
- Δ ciclistas en HMD: es la variación real de ciclistas en la HMD del corredor

Considerando que algunos corredores sufrieron reducciones probablemente por los fenómenos ya mencionados se tuvo en cuenta una estimación sin negativas (decrecimiento en el volumen de ciclistas). El costo adicional de ciclistas en HMD fue el producto de dividir el costo de la inversión sin negativas, entre el promedio de la variación real sin negativas, entre los 5 años de vida útil (1285 horas HMD – Tabla 7) de los cuales se proyecta funcione la ciclorruta en las condiciones actuales; se estima que el costo promedio de generar un ciclista adicional en la HMD en los 5 años de funcionamiento del proyecto es de \$1405 COP, aunque contando los efectos de negativas asciende a \$ 3413 COP. Así mismo el costo por ciclista adicional en volumen horario promedio fue el producto el costo promedio sin negativas, entre el costo de la variación en volumen horario promedio, entre las horas de funcionamiento; el cual corresponde a \$296 COP sin negativas, y \$676 COP con negativas.

Tabla 5.

Costo por km intervenido más costo adicional en HMD y volumen promedio.

Corredor	km efectivos intervenidos	\$/km	costo total (\$)	\$/ciclista adicional en HMD	\$/ciclista adicional en Vol. promedio
Calle 47	2,51	73.378.781,58	184.180.741,8	1012,58	270
Calles 75, 76, y 77	2,69	8.985.000	241.69.650	-428,75	-167,85
Calle 44	1,28	73.378.781,58	93.924.840,43	351,70	88,55
Calles 47B y 47C	1,3	73.378.781,58	953.92.416,06	-1866,77	-634,21
Calle 34	1,05	8.985.000	9.434.250	129,23	23,42
Carrera 22	0,4	10.418.530,42	4.167.412,16	13,51	2,31
Promedio de valores con negativos				3413	676
Promedio sin negativas			291.707.244	1405	296
Promedio en 12h				284	56

Promedio en 12h sin negativas			117	25
--------------------------------------	--	--	-----	----

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, con al estudiar el proyecto de manera más global respecto al impacto de demanda de ciclista, se encontró que en promedio en los corredores en periodos de 12 horas se generaban 22,5 ciclistas adicionales (270 ciclistas adicionales por corredor por día), esto se traduce en 1891 ciclistas adicionales al día. Ahora, utilizando el costo total equivalente a \$411 269 310 COP entre los ciclistas adicionales generados en la vida útil del proyecto unos 3.450.851 ciclistas se estimó que el ciclista adicional cuesta 119,18 pesos. Este resultado es general e incluye incluso aquellas reducciones de flujo. Mientras que el costo de generar un ciclista adicional en toda la vida útil del proyecto en los km intervenidos fue de \$834 pesos colombianos, así como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 6.

Estimación de costos (inversión total de los corredores intervenidos)

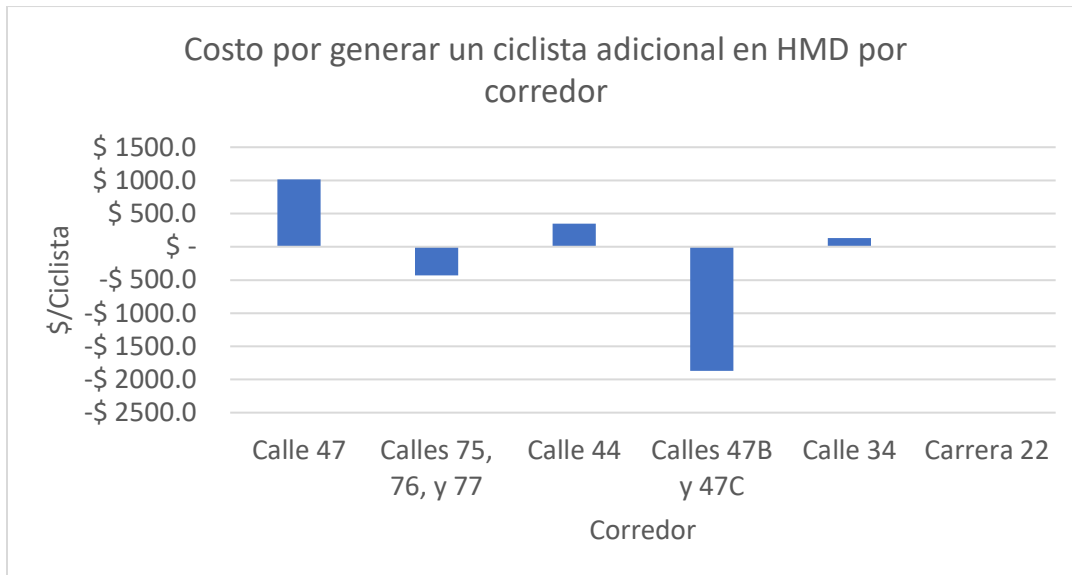
ESTIMACIONES DE COSTOS	
Inversión total	\$ 411.269.310
Ciclistas adicionales en 12 h por corredor por día	270,13
Ciclistas adicionales en 12 h en toda la red por día	1890,88
Vigencia del proyecto (días de funcionamiento)	1825
Cantidad de HMD en los 5 años	1825
Vigencia del proyecto (horas de funcionamiento)	21900
Viajes adicionales de bici en los 5 años	3.450.851
\$/ciclista adicional en todo el proyecto	119,18

Fuente: elaboración propia.

Si bien, la inversión total fue de \$411.269.310 pesos colombianos estimando un incremento de 22.51 ciclistas por hora por día, es decir, unos 270 ciclistas adicionales por corredor por día se generaron ciclistas adicionales solo interviniendo infraestructura.

Figura 14.

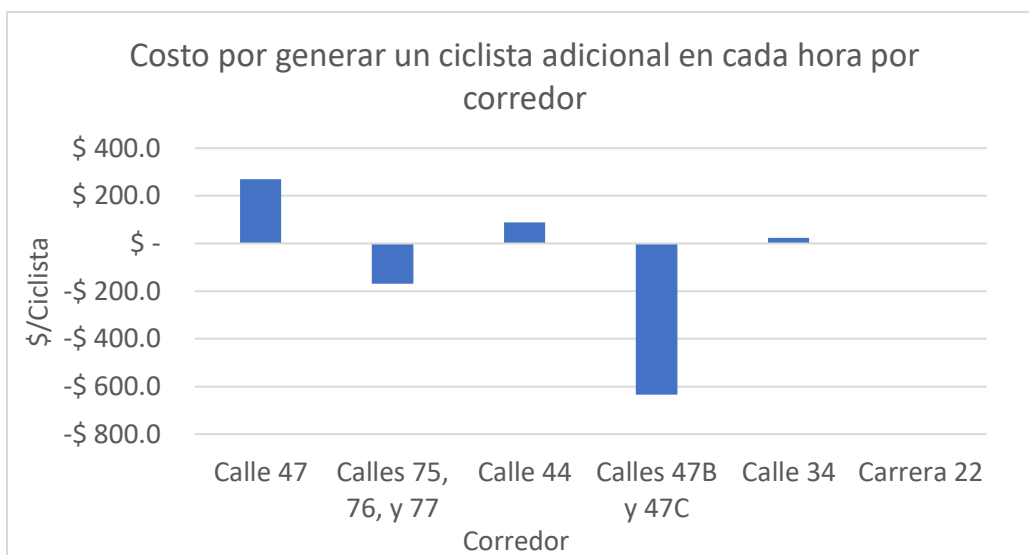
Costos por generar un ciclista adicional en HMD por corredor



Fuente: elaboración propia.

Figura 15.

Costo por generar un ciclista adicional en cada hora por corredor

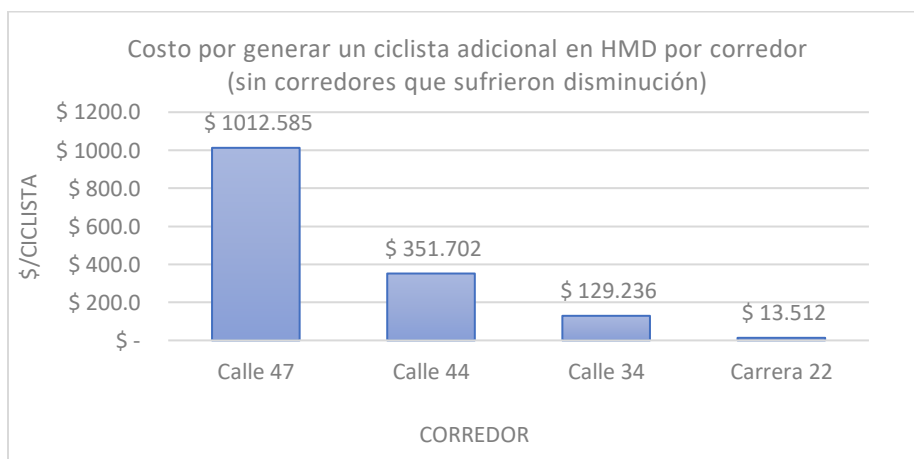


Fuente: elaboración propia.

La gráfica 9 y 10 muestran el costo de generar un ciclista adicional tanto en la hora de máxima demanda, así como el que se genera en cada hora por corredor. Se puede notar que en el corredor de la calle 47, el costo de generar un ciclista por hora en promedio es de \$270,476 COP, el mayor de todos, no obstante, los resultados del corredor 47B/47C fue muy negativo. Adicional a esto, el corredor que genera un menor costo por ciclista en el de la carrera 22 con un valor de \$2,3 pesos. En ambos proyectos la ciclorruta es de tipo definitiva y a diferencia del corredor de la calle 47, el de la carrera 22 tuvo una mayor variación en el número de ciclistas, pero el costo por km de este corredor fue mucho más económico que el del proyecto de la calle 47. Se debe resaltar que la carrera 22 tuvo una intervención mucho más económica ya que es un carril ciclo preferente, es decir, infraestructura compartida con el vehículo motorizado, mientras que la calle 47 es un corredor bidireccional exclusivo, lo que implica mayores costos. A continuación, podemos visualizar los costos sin los corredores que sufrieron disminución:

Figura 16.

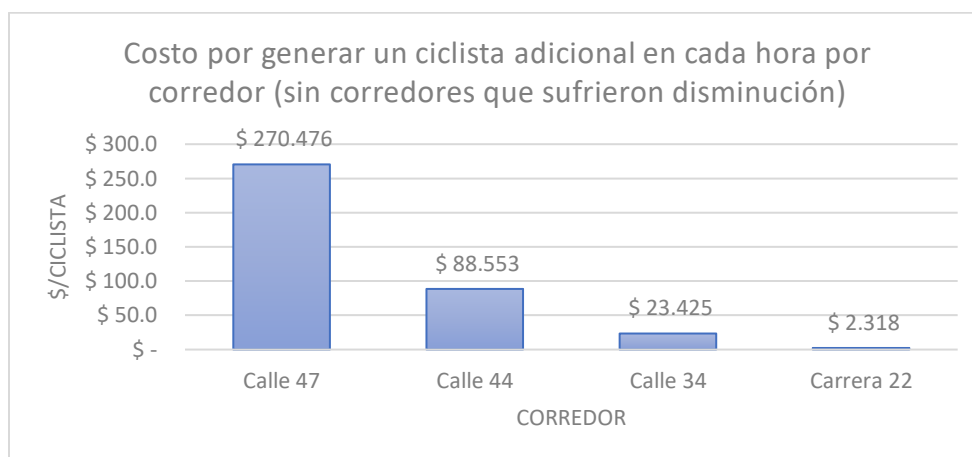
Costo por generar un ciclista adicional en HMD por corredor (sin corredores que sufrieron disminución)



Fuente: elaboración propia

Figura 17.

Costo por generar un ciclista adicional en cada hora por corredor (sin corredores que sufrieron disminución)



Fuente: elaboración propia.

Se puede evidenciar que la calle 47 fue la que mayor costo implicó, seguido por la calle 44, calle 34 y finalmente la carrera 22. Este orden tiene estrecha relación con los costos de cada intervención, los cuales en el caso de la calle 34 y carrera 22 fueron muy inferiores, mientras que las calles 47 y 44 requerían variaciones enormes de flujo para reducir sus costos unitarios, además de que estas se enfrentaban a un gran reto: servir como sustitutas de la vía más preferida por los ciclistas la avenida murillo.

Con esta información se realizaron graficas que relacionaran el costo total relativo, los ciclistas adicionales por hora acumulados y los ciclistas adicionales en la HMD. Es importante decir que la alcaldía dividió la intervención en 4 fases:

- Fase 1 calle 47
- Fase 2 calles 34 y 75/76/77
- Fase 3 calle 44
- Fase 4 calle 47B/C y carrera 22

Tabla 7. *Análisis de costos y demanda*

Corredores	Calle 47	Calles 75, 76 y 77 y Calle 34	Calle 44	Calles 47B y C y Carrera 22
Fase	1	2	3	4
\$/ciclista adicional en HMD	\$ 184.180.742	\$ 33.603.900	\$ 93.924.840	\$ 99.559.828
Costo acumulado	\$ 184.180.742	\$ 217.784.642	\$ 311.709.482	\$ 411.269.310
Costo relativo al total (%)	44,8	53	75,8	100
Ciclistas adicionales reportados	31,09	11,82	48,43	75,24
Ciclistas adicionales por hora acumulado	31,09	42,91	91,34	166,58
Ciclistas adicionales reportados en HMD	99,7	9,1	146,33	141
Ciclistas adicionales en HMD	99,67	108,78	255,11	396,11
km por fase	2,51	3,74	1,28	1,7
km acumulado	2,51	6,25	7,53	9,23

Fuente: elaboración propia

Podemos observar que los aumentos en la HMD fueron mucho más significativos que en las demás horas por lo que se puede establecer que los viajes en bicicleta se encuentran concentrados en ventanas de tiempo específicas y no se distribuyen uniformemente durante el día. Adicionalmente, se evidencia que las inversiones iban generando aumentos.

Figura 18.

Ciclistas adicionales por fase implementada y su evolución respecto al costo

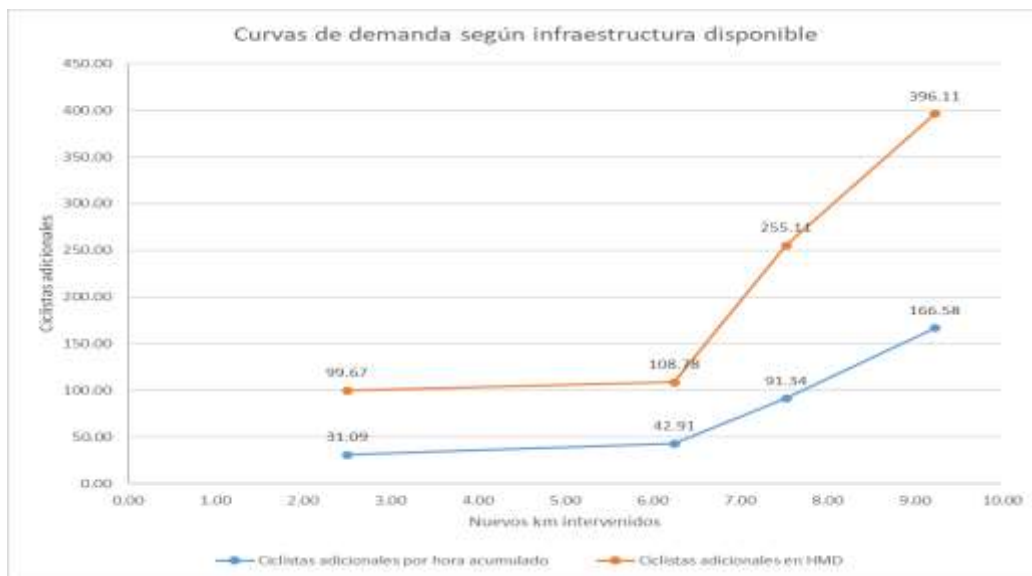


Fuente: elaboración propia.

Utilizando esta información fue posible trazar unas relaciones entre la demanda y la infraestructura disponible, como se puede visualizar a continuación:

Figura 19.

Curvas de demanda según infraestructura disponible

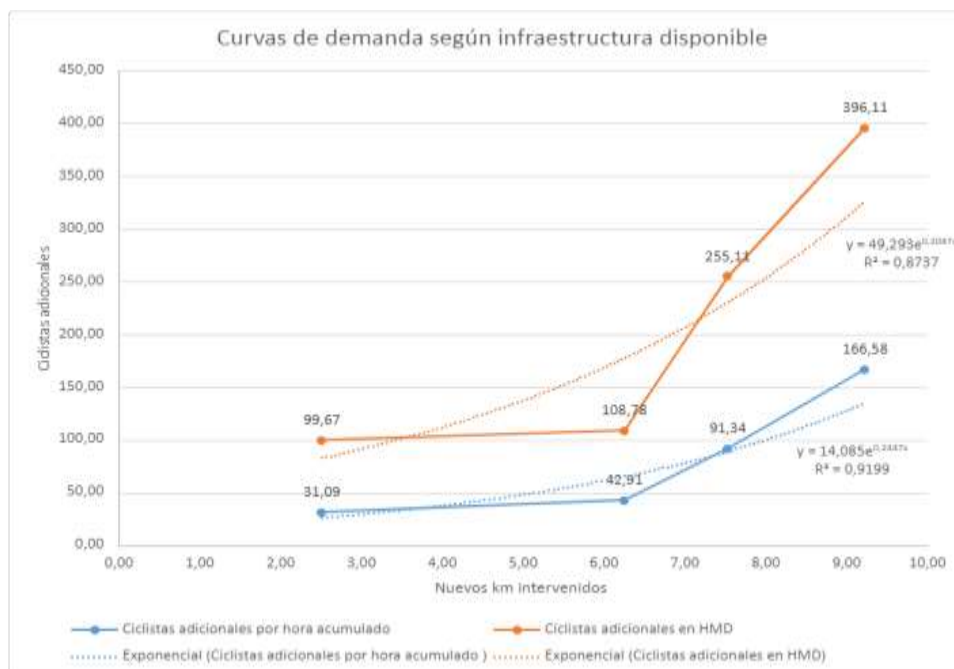


Fuente: elaboración propia.

Utilizando las funciones de ajuste de Excel se estimó una expresión matemática que permite establecer una relación entre la cantidad de ciclistas adicionales y los km intervenidos en los corredores, teniendo un mejor ajuste la distribución de ciclistas adicionales por hora.

Figura 20.

Curvas de demanda según infraestructura disponible



Fuente: elaboración propia

Aunque se entiende que estas estimaciones probablemente no describan todos los casos de implementación de ciclo infraestructura es claro que la relación de realizar este tipo de intervenciones es positiva y tiene impactos significativos especialmente en la hora de máxima demanda.

6. DISCUSIÓN

Así como lo menciona (De Rus, Campos, & Nombela, 2003), generalmente el transporte no se demanda como actividad final sino como medio para satisfacer otra necesidad; es por esto, que factores condicionantes como lo es la comodidad, el atractivo, la directividad, y la coherencia pudieron ser esos factores de los cuales las personas dependieron para desplazarse hacia sus lugares ya sea de trabajo, ocio o para visitas familiares. Por ejemplo, uno de los corredores más afectados en promedio, fue el de la calle 75,76 y 77 el cual tuvo un comportamiento decreciente en el volumen de ciclistas, solo en dos intersecciones se presentó aumento (calle 75 con carrera 50 y 58); la disminución promedio en volumen en su hora de máxima demanda fue -20.94% lo que equivale a 31 ciclista menos y en volumen promedio por hora -1.75%, es decir, seis (6) ciclistas menos.

Por otra parte, la variación real que presentó el corredor de la calle 34 siendo esta de tipo temporal, presentó un incremento en el volumen de usuarios ciclistas; este incremento fue de un 22,94% después de implementada la ciclorruta, es decir, 18 ciclistas adicionales. Este estimado corresponde al volumen promedio respecto a las horas reales aforadas y la cantidad total en el periodo de conteo generado en este proyecto. No obstante, es de resaltar que a pesar de los factores externos de este corredor como lo es el alto volumen vehicular, invasión de acera peatonal a causa de vendedores ambulantes, no impidieron a que la ciclorruta haya dado un resultado positivo en el incremento de usuarios.

Por otra parte, se pudo apreciar que el corredor de la calle 44 en promedio aumentó el número de ciclistas; por ejemplo, en su hora de máxima demanda el incremento fue de 124%, mientras que el volumen horario promedio fue del 77,15% equivalente a 48 ciclistas adicionales. Básicamente el incremento es considerable ya que las calles de este tipo no son

lo especialmente cómodas para la circulación de ciclistas más cuando en ellas se presentan dos sentidos de circulación vehicular.

Siguiendo esto, el corredor de la calle 47 en promedio aumentó un 117,95% lo que equivale a una variación real de 31 ciclistas más a la ciudad. Mientras que el proyecto de la calle 47B y la 47C en promedio disminuyó en un -16,07% equivalente a 28 ciclistas menos después de implementada la ciclorruta. El decrecimiento en estos corredores pudo deberse a factores como la comodidad viéndose afectada por la poca separación de bicicletas y vehículo, la reactivación económica y reapertura de vías tras el levantamiento de medidas restrictivas por COVID19, así como estado del pavimento. A continuación, se presenta el detalle de las zonas intervenidas por intersección caracterizadas, lo cual es clave para las conclusiones de la investigación:

Tabla 8.

Características significativas de cada intersección intervenida

Calle	Carrera	Tipo cicloruta	Tipo de zona	Existencia de andenes	Estrato socioeconómico	Corredor
Calle 34	43	Temporal	Comercial	si	3	Intersección con alta circulación de peatones y vehículos. Existe invasión de zona peatonal generado por vendedores ambulantes.
Calle 44	19	Definitiva	Residencial-comercial	si	3	Carril angosto con circulación en ambos sentidos. Existe presencia de árboles.
	14			si		Zona arborizada, circulación de vehículos en ambos sentidos. Al sur de la intersección el andén está en mal estado

Calle	Carrera	Tipo cicloruta	Tipo de zona	Existencia de andenes	Estrato socioeconómico	Corredor
						y el ancho de la calle se nota algo más angosta.
	21			si		Calle en buen estado, ciertas partes de los andenes en mal estado, considerable arborización y presencia de bahía de parqueo.
Calle 47	24	Definitiva	Residencial	si	3	Andenes con ancho menor a lo permitido además no cuenta con mucha arborización
	43		Comercial-institucional	si		Vía en un solo sentido de circulación, al noreste anden en mal estado, intersección con poca arborización.
	45		Residencial-institucional	si		Se encuentra el Banco de la república y son contados los árboles en la zona
Calle 47B	16	Definitiva	Comercial-institucional - residencial	si	3	Se encuentra el Hospital Nazareno y al noroeste de la calle existe una bahía de parqueo.
	19		Residencial	si		Tiene poca arborización, ciertas partes de los andenes en mal estado, calle con carril angosto.
Calle 75	47	Temporal	Comercial - Residencial	si	4 a 5	Calles en buen estado, poca arborización.
	50		Institucional - residencial	si		La calle 75 tiene una vía de tres carriles en buen estado, al noroeste la vía ocupa dos carriles en un mismo sentido y al sureste el carril faltante va en sentido contrario, vía frecuentemente transitada por vehículos.

Calle	Carrera	Tipo cicloruta	Tipo de zona	Existencia de andenes	Estrato socioeconómico	Corredor
	52		Residencial-comercial	si		Bahía de parqueo a los alrededores de la intersección, además se aprecia la intersección de 5 vías de un solo sentido de circulación. Además, se puede notar que es una zona bastante arborizada.
	58		Residencial-comercial	si		Se encuentra el banco caja social y el banco finandina . Al sur de la intersección ha parte del andén en mal estado; tanto al noreste como al oeste de la intersección hay existencia de bahías de parqueo y la zona se encuentra arborizada.
	62		Residencial-comercial	si		Existencia de bahías de parqueo al este de la intersección. Zona bastante arborizada. Intersección con ambos sentidos de circulación.
Calle 76	58	Temporal	Comercial - Institucional	si	4 a 5	Existencia de bahías de parqueo, zona arborizada, se encuentra un banco de DAVIVIENDA, se encuentra Combarranquilla y la calle 76 es de un solo sentido de circulación.
	62		Institucional - residencial y comercial	si		La calle 76 es de un solo sentido de circulación vehicular, zona arborizada, se encuentra un colegio y aledaño a este una heladería a parte de los lugares residenciales.
	66	Temporal		si	4 a 5	

Calle	Carrera	Tipo cicloruta	Tipo de zona	Existencia de andenes	Estrato socioeconómico	Corredor
Calle 77			Comercial-residencial			Se puede apreciar bahías de parqueo, la zona está arborizada y la calle 77 corresponde a un solo sentido de circulación.
	71		Comercial	si		La vía no está en un buen estado, puntos de la calle 77 que no se encuentra arborizado y hay presencia de bahías de parqueo.

Es importante resaltar que las variaciones positivas de flujo se orientaron principalmente hacia los corredores de la calle 44 y 47, los cuales son las principales conexiones hacia el sur de la ciudad variando sus usos entre comercial y residencial. Estos corredores poseen mayor arborización además de segregación lo que las hace atractivas frente a otras alternativas con gran directividad como la avenida murillo. Por lo que se puede explicar sus variaciones de demanda como una reasignación de viajes.

7. CONCLUSIONES

El objeto de la presente tesis fue analizar la demanda ciclista al implementar ciclorutas que afectan el factor infraestructura, estimando igualmente cuánto costaba generar un ciclista adicional en la ciudad (\$/ciclista) de Barranquilla. Se estima que la inversión total fue de \$ 411.269.310, estimando un incremento de 22,51 ciclistas por hora, es decir, unos 270 ciclistas adicionales por corredor por día, lo que se traduce en 3.450.851 ciclistas en los 5 años de funcionamiento esperado del proyecto, es decir, \$119,18 COP por ciclista adicional interviniendo únicamente en infraestructura.

Ahora bien, por día se estima que se están generando unos 1891 ciclistas adicionales en total lo cual corresponde a un incremento del 4,4% de los viajes totales reportados por la alcaldía

de Barranquilla, según el diagnóstico del plan maestro de movilidad, que estimaba que diariamente se daban unos 42.600 viajes en bicicleta.

Por otra parte, se concluye que existe una relación positiva entre el incremento de ciclistas y el incremento de km de ciclorruta habilitada, ya que se evidencia que hay una estimulación de demanda. No obstante, el efecto no es lineal, de hecho, en algunos casos incluso con la infraestructura ciclista la demanda no aumento en el tiempo como en el caso de las calles 75, 76 y 77 y calles 47B y 47C, por lo que es importante no desconocer que la demanda reacciona a otros factores como la presencia de flujo vehicular, la seguridad ciudadana, las dinamicas socioeconómicas (como la reapertura económica ante las medidas sanitarias que tomaba el gobierno), entre otras. En general se encontró que existe una relación positiva que puede asemejarse a una tendencia exponencial creciente como se mostró en las gráficas, teniendo un mejor ajuste para las relaciones que contemplan variaciones de volúmenes ciclistas promedio.

Los resultados de la avenida murillo brindan información interesante, ya que en los sectores que tienen una ciclorruta como sustituto como en el caso de la carrera 27 donde tienen la calle 47 los flujos disminuyeron, mientras que en otros sectores donde no existe ciclorruta o se acaba la ciclorruta protegida aumentaron (como en el caso de la carrera 21), por lo que se puede decir que en general el ciclismo aumento y los ciclistas deseaban circular en la ciclorruta protegida.

La estimación sobre el impacto de la inversión en ciclo infraestructura en la demanda de ciclistas en la ciudad de Barranquilla, tuvo como efecto un incremento del 54,63% del número de ciclistas en la HMD lo cual se traduce en 55,11 ciclistas adicionales por corredor, mientras que se generaron 22,51 ciclistas adicionales por hora por corredor en un día típico lo cual se traduce en un aumento del 51,66% en promedio.

8. REFERENCIAS

AASHTO. (2010). , *Highway Safety Manual*. Washington, D.C.: AASHTO2010, 1st ed.,.

Angulo, É. M. (2014). *Más carros y las mismas vías, otra causa de los trancones*. *El Herald*.10 de mayo del.

Arellana, J., Saltarín, M., Larrañaga, A. M., & González, V. I. (2020). Developing an urban bikeability index for different types of cyclists as a tool to prioritise bicycle infrastructure investments. *ELSEVIER*, Transportation Research Part A.139; 310-334.

Athena, N., Debnath, A. K., & Heesch, K. C. (2017). Cyclist's safety perceptions of cycling infrastructure at un-signalised intersections: Cross-sectional survey of Queensland cyclists. *Journal of Transport & Health* 6 (2017) 13–22.

Aultman-Hall, L. a. (Nov.1999). "*Toronto Bicycle Commuter Safety Rates*" *Accident Analysis & Prevention*, vol. 31, pp. 675-686,.

Basu, S., & Vasudevan, V. (2013). Effect of bicycle friendly roadway infrastructure on bicycling activities in urban India. 2nd Conference of Transportation Research Group of India, 1139 – 1148.

Bates, J. (2000). «*History of demand modelling*». En D.A. Hensher y K.J. Button (eds.) "*Handbook of Transport Modelling*". Pergamon, Amsterdam, 2000. 11-33.

Caride Estevéz, M., Gimenez Fernández , E., & Gonzalez Martínez, X. (2005). Las decisiones de viajar y la elección modal. *Revista de Economía Pública Urbana* , 37.

Caulfield, B., Brick, E., & McCarthy, O. T. (2012). Determining bicycle infrastructure preferences – A case study of Dublin. *Transportation Research Part D*, 413-417.

De Rus, G., Campos, J., & Nombela, G. (2003). En *Economía del transporte* (págs. 12,15,16). Antoni Bosch editor.

Díaz Rodon , J. M. (2015). *Impacto de la Implementación de Ciclo Rutas en la Movilidad de Barranquilla, Colombia*. Universidad de los Andes .

- DiGioia, J., Edison Watkins, K., Xu, Y., & Rodgers, M. (2017). Safety impacts of bicycle infrastructure: A critical review. *Journal of Safety Research* Volume 61, June 2017, Pages 105-11.
- Duhau, C., Etchegoyen, F., Fiorioli, F., Ichaso, G., & Lev, M. (2017). *Modelo de Elección Discreta Un análisis sobre la demanda de transporte público en Argentina*. Argentina: Tesis de grado.
- Fernández Fernández, Y., & Olmedillas Blanco, B. (2002). Transporte, externalidades y coste social. Madrid.
- Garrard, J., Rose, G., & Sing Kai, L. (2008). Promoting transportation cycling for women: The role of bicycle infrastructure. *Preventive medicine*, 55-59.
- Goeverden, K. v., Sick Nielsen, T., Harder, H., & Nes, R. v. (2015). Interventions in bicycle infrastructure, lessons from Dutch and Danish cases. *Transportation Research Procedia* 10, 403-412. .
- Gumbel, E. (1958). . «*Statistics of extremes*». *Columbia University Press (Facsimile by UMI, Michigan, 1997)*. .
- Hunter, W. W., Stewart, J. ..., Stutts, J. C., Huan, H., & and Pein, W. E. (1999). "A Comparative Analysis of Bicycle Lanes Versus Wide Curb Lanes: Final Report," *Tech. Rep. FHWA-RD-99-034, FHWA*,.
- Konstantinidou, M., & Spyropoulou, I. (2017). Factors affecting the propensity to cycle -the case of Thessaloniki. *Transportation Research Procedia* 24 (2017) 123–130.
- Luce, D. (1959). «*Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis*». *John Wiley and Sons, New York*.
- Marschak, J. (1960). «*Binary choice constraints on random utility indicators*». *En K. Arrow (ed.), "Mathematical Methods in the Social Sciences" Stanford University Press, Stanford, CA-USA, 312-329*.

MCFADDEN, D., & DOMENCICH, T. (1975). *“Urban Travel Demand. A behavioural analysis”* University of California, Berkley. .

Ortúzar Salas, J. d., Monzón de Cáceres, A., Robusté Antón, F., Román García, C., & González Marrero, R. M. (2005). *Modelos de elección discreta en transportes*. Coruña.

PETTINGA, A. R. (2009). . *Cycling-Inclusive Policy Development: A Handbook*. Utrecht: Klaus Neumann, SDS, G. C.

Pritchard, R., Bucher, D., & Frøyen, Y. (2019). Does new bicycle infrastructure result in new or rerouted bicyclists? Alongitudinal GPS study in Oslo. *Journal of Transport Geography* 77 (2019) 113–125.

Pucher, J., Dill, J., & Handy, S. (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *ELSEVIER*, Pages S106-S125.

Pucher, J., Dill, J., & Handy, S. (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *Preventive Medicine*, 106-125.

Strömberg, E., & Karlsson, M. (2016). Enhancing utilitarian cycling: a case study. *ScienceDirect*, Transportation Research Procedia 14, 2352-2361.

Thurstone, L. (1927). *Thurstone, «A law of comparative judgement»*. *Psychological Review* 34, 273-286 (reprinted 101, 266-270).

TPD-Epypsa, A. d. (2012). *El Heraldo-Secretario de Movilidad presentó Plan Maestro en el Concejo*.

Zayed, M. A. (2016). Towards an index of city readiness for cycling. *International Journal of Transportation Volmen* 5 Pages 210-225.