

FORMULACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DEL RIESGO EN EL PROCESO DE MOVILIDAD DE LOS BICIUSUARIOS DE LA UNIVERSIDAD LIBRE EN ENGATIVÁ, BOGOTÁ CON DINÁMICA DE SISTEMAS

RISK MANAGEMENT MODEL FORMULATION FOR THE MOBILITY PROCESS OF UNIVERSIDAD LIBRE BICYCLE USERS IN ENGATIVA, BOGOTA, APPLYING SYSTEM DYNAMICS

*Tania Camila Diaz Anacona**
*Juan David Jiménez Castro***
*Sonia Meneses Veloza****

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.26.6567>

RESUMEN

En esta investigación se tuvo en cuenta el mayor uso de la bicicleta como alternativa de movilidad sostenible en la ciudad de Bogotá, específicamente por los biciusuarios de la Universidad Libre, sede Bosque Popular, los cuáles están expuestos a niveles de riesgo en su proceso de movilidad. Por ello, se formuló un modelo por medio de Dinámica de Sistemas con el fin de evaluar el nivel de riesgo, teniendo en cuenta aspectos como Individuo, Infraestructura vial y medio ambiente. Para ello se identificaron las principales variables que intervienen en el proceso de movilidad de los biciusuarios y, posteriormente, estos fueron priorizados para desarrollar el Diagrama Causal, Diagrama de Forrester y la simulación teórica. Los resultados indicaron que para la cicloruta de la Av. Boyacá el nivel de riesgo es de 873, lo cual requiere de intervención urgente. Por lo que se plantea, es crítica la intervención para el mejoramiento de la cicloruta con el fin de reducir el nivel de riesgo de accidentalidad de los biciusuarios en su proceso de movilidad.

Palabras clave:

Movilidad; Biciusuarios; Transporte; Nivel de Riesgo; Dinámica de Sistemas

ABSTRACT

This research took into account the increased use of the bicycle as an alternative for sustainable mobility in the city of Bogota, specifically by the biciusers of the Universidad Libre, Bosque Popular premises, who are exposed to risk levels in their mobility process. For this reason, a model was formulated through Systems Dynamics in order to assess the level of risk, taking into account aspects such as Persons, Road Infrastructure and the environment. For this, the main variables involved in the mobility of the biciusers were identified and, later, they were prioritized to develop the Causal Diagram, Forrester Diagram and the theoretical simulation. The results indicated that the risk level for the bike route on Av. Boyacá is 873, which requires urgent intervention. Therefore, the intervention for the improvement of the bicycle route is critical in order to reduce the level of risk of accident of the biciusers in their mobility process.

Keywords:

Mobility; Bicycle users; Transport; Risk level; System Dynamics

Cómo citar este artículo:

T. Diaz, J. Jiménez & S. Meneses. Formulación de un modelo de gestión del riesgo en el proceso de movilidad de los biciusuarios de la Universidad Libre en Engativá, Bogotá, con dinámica de sistemas. *Ingeniare*, Año 15, No. 26, Junio 2019. pp. 69 - 88.

*Departamento de Ingeniería Industrial. Semillero G-RISK, Grupo de Investigación CINDES. Universidad Libre, Seccional Bogotá. Correo: taniac.diaza@unilibrebog.edu.co

**Departamento de Ingeniería Industrial. Semillero G-RISK, Grupo de Investigación CINDES. Universidad Libre, Seccional Bogotá. Correo: juand.jimenezc@unilibrebog.edu.co

***Ingeniería Industrial. Magíster en Protección y Prevención de Riesgos Laborales, Directora del semillero G-RISK, Grupo de Investigación CINDES, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial. Correo: sonial.menesesv@unilibrebog.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Los principales problemas que afectan a los biciusuarios (persona que utiliza la bicicleta como medio de transporte) y su movilidad en la ciudad de Bogotá son los riesgos relacionados con la infraestructura, el individuo y el ambiente, respecto de la movilidad. Según estudios del World Watch Institute, organización de alcance global sobre investigación en Medio Ambiente, un viaje de ida y vuelta en Bicicleta de 6,5 Km libera al aire que respiramos cerca de 7Kg de contaminantes [2]. El uso de la bicicleta como medio de transporte favorece la movilización de los peatones, se ajusta a distintas necesidades de viaje del usuario y puede articularse con el transporte masivo. En la ciudad la bicicleta se ha convertido con el transcurrir de los años en una alternativa de transporte saludable y eficaz. Además, con la construcción de más kilómetros a lo largo y ancho de la ciudad en materia de ciclo rutas, se ha permitido que localidades y zonas de Bogotá tengan una renovación urbana importante.

Según la Alcaldía Mayor de Bogotá en su estudio [3] la red actual de ciclo rutas es de 500 Km. La Red Vial de Ciclo Rutas 2018, publicada por la Secretaria de Movilidad, muestra en la (Figura 1) las ciclo rutas activas y las que están en construcción.

Figura 1: Red actual ciclo rutas en Bogotá



Fuente: Red vial de Ciclo Rutas de Bogotá. (2018) <http://ambientebogota.gov.co>

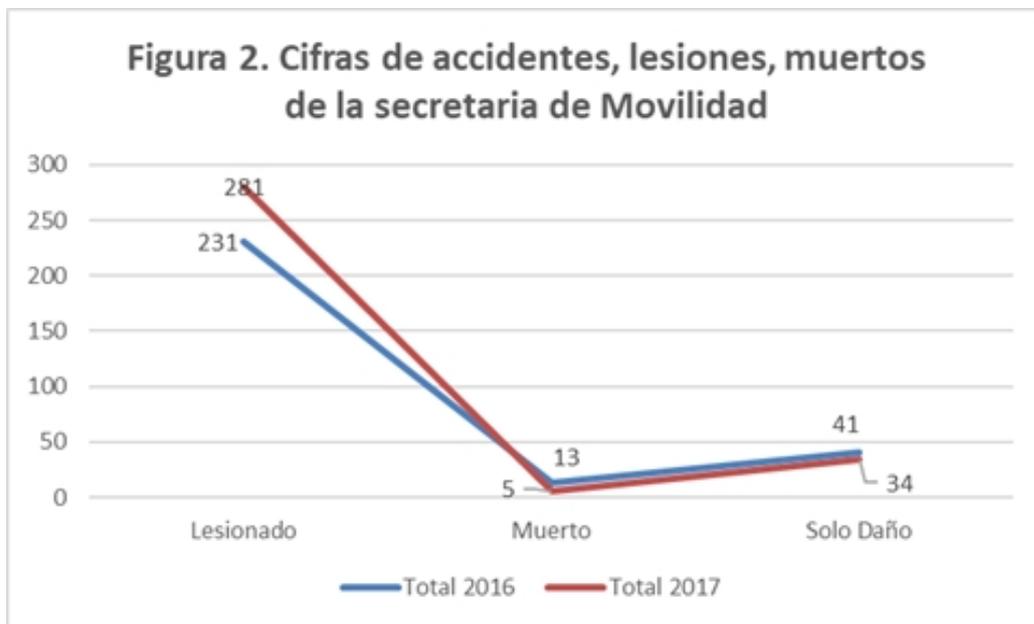
La red de ciclo rutas en la ciudad es amplia y tiene presencia en gran parte de la ciudad de Bogotá. Por lo cual, una gran cantidad de personas utilizan la bicicleta como medio de transporte debido a que es más económico que el transporte público.

Actualmente hay poca comprensión sobre el riesgo de tráfico percibido más allá del hallazgo general de que muchas personas temen andar en bicicleta junto a los vehículos y las motocicletas [4]-[6]. La investigación estudia la localidad de Engativá debido a ser una de

las localidades que presenta mayor nivel de accidentalidad estudiantil por su cercanía a la Universidad Libre, lugar concurrido por una gran población estudiantil que se moviliza principalmente en este medio de transporte.

Según cifras de la Secretaría de Movilidad de la ciudad de Bogotá (Figura 2) en la localidad de Engativá se presenta un mayor número de casos de accidentes que involucran biciusuarios, en el año 2017 con respecto al año 2016 en esa localidad. Tal aumento se representó en un aumento de 285 casos en el año 2016 a 320 casos para el año 2017.

Figura 2. Cifras de accidentes, lesiones, muertos de la secretaria de movilidad



Fuente: Secretaria de Movilidad de Lesionados, Muertos y solo daño en los años 2016 y 2017 en la Localidad de Engativá

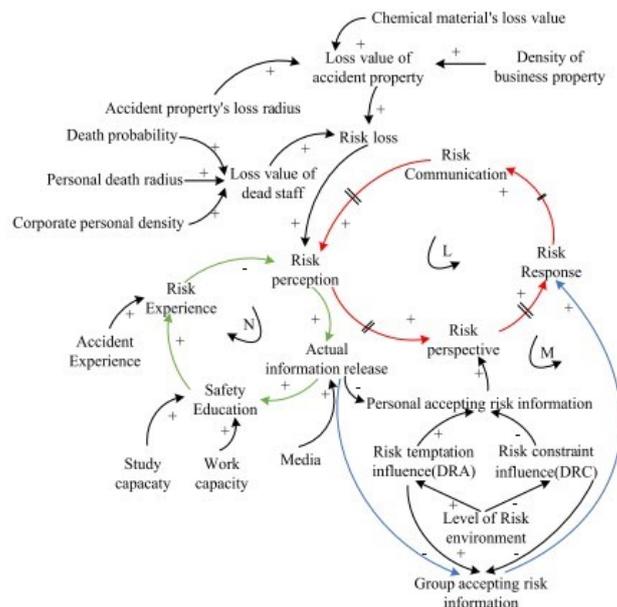
Este crecimiento en la recurrencia de accidentes se presenta por el desconocimiento de los biciusuarios sobre aspectos específicos del riesgo al que pueden estar expuestos utilizando la bicicleta como medio de transporte. Los principales son, a saber: la infraestructura (estado de las vías, conectividad de las calles) y la imprudencia del ciclista, y la velocidad con que van por la vía. Otros factores son la ausencia de protección del individuo. Teniendo en cuenta estos factores la exposición diaria de riesgo de viaje percibido por los biciusuarios de la Universidad libre en su proceso de movilidad es amplia por lo cual se hace necesario mediante el cálculo previo de su nivel de riesgo el lograr reducir el desconocimiento sobre los factores de riesgos que están expuestos los biciusuarios de la Universidad Libre sede Bosque Popular en su proceso de movilidad debido a que son personas de alta vulnerabilidad debido a su escasa protección en comparación con otros automotores de la vía y este desconocimiento por parte de los biciusuarios de la universidad puede ocasionar mayores probabilidades de accidentalidad. Para abordar este problema y contribuir a un mayor conocimiento el objetivo del estudio es la formulación de un modelo teórico en el proceso de movilidad de los biciusuarios teniendo en cuenta su

factor de individuo el factor de infraestructura y el factor de nivel ambiental con el fin de lograr desarrollar herramientas que logren evaluar el nivel de riesgo de los biciusuarios y contribuir a su bienestar además de que esto sirve para la toma de decisiones con el fin de evitar exposición o controlar los riesgos. Luego de la presente introducción en la sección 2 se presentan los antecedentes relevantes para el artículo; en la sección 3 se aborda la metodología propuesta para esta investigación, posteriormente en la sección 4 los resultados obtenidos en este caso de la formulación del modelo y a partir de allí se plantean la simulación teoría y su análisis, finalmente se presentan las conclusiones del estudio.

2. ANTECEDENTES

Para el desarrollo de la metodología, en primer lugar, se definió usar dinámica de sistemas para modelar el comportamiento de los riesgos en el proceso de movilidad en bicicleta de los biciusuarios en la localidad de Engativá en Bogotá. D.C. En la investigación de antecedentes se encontró un modelo que se asemeja a los objetivos del proyecto, por lo que se tomó de base un artículo de investigación [7]. Donde se plantea un modelo de dinámica de sistemas para la percepción de incidentes de riesgo químico, y cómo responden al riesgo dependiendo de diferentes variables, descritas en el diagrama causal de la Figura 3.

Figura 3. Diagrama causal de la percepción del riesgo de los laicos en un parque químico industrial



Fuente: Zhang y otros [7]

El diagrama causal enfatiza en los diferentes tipos de riesgos a los que están expuestos y cómo influyen diferentes variables como la capacitación de los laicos, la experiencia del accidente, la percepción de la información, con respecto a la capacidad de controlar y disminuir los efectos del peligro, es decir, poder protegerse con el objetivo de reducir el riesgo por medio de medidas oportunas y acciones de control. Otro de los estudios tomados en cuenta durante esta investigación fue [8].

3. METODOLOGÍA

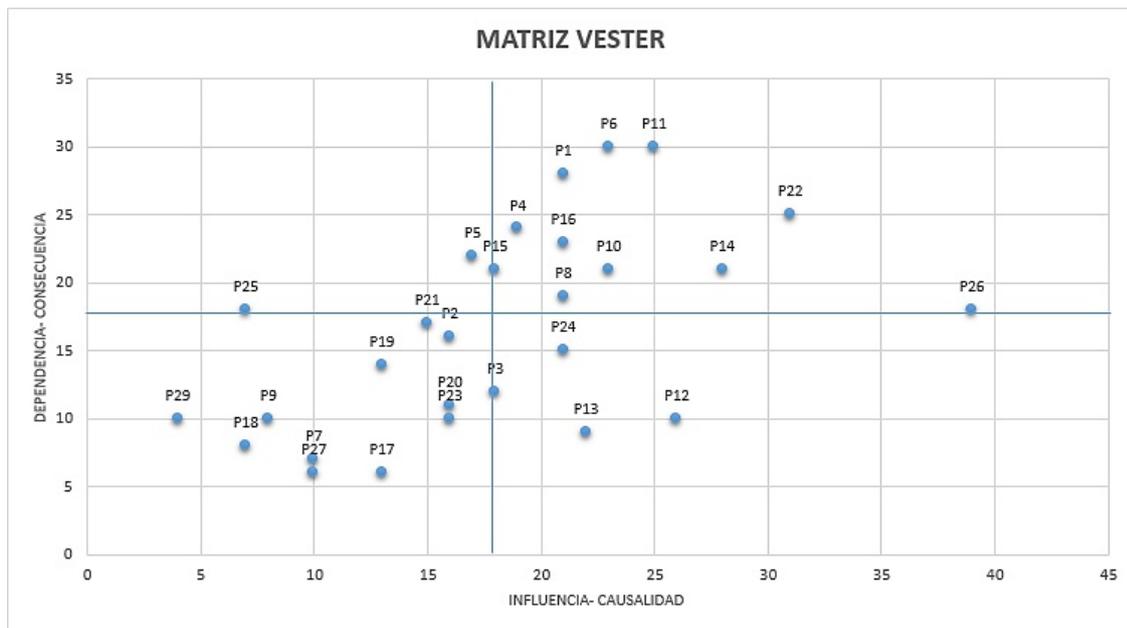
3.1 Identificación del Problema

Esta fase identificó las diferentes variables que intervienen en el proceso de movilidad de los biciusuarios por medio de información primaria de datos de las encuestas a biciusuarios de la Universidad Libre sede Bosque Popular en la Localidad de Engativá, Bogotá (2016). En primer lugar, se realizó la indagación sobre la información primaria y la caracterización de los riesgos tomado como base el artículo de investigación [9]. En segundo lugar, para contrastar la información obtenida por medio de la encuesta (Información primaria) se estudian investigaciones y papers relacionados con la temática de gestión del riesgo en movilidad (Información secundaria) al igual que papers de investigadores que usan la metodología de Dinámica de sistemas con el fin de tener referentes bibliográficos para desarrollarlos en el proyecto.

3.2. Priorización de Variables

Por medio de la encuesta aplicada a los biciusuarios ellos seleccionaron las variables que más influyeron en su proceso de movilidad y posteriormente con la caracterización y el análisis realizado de los resultados se validó que hay multiplicidad de variables que afectan al usuario en su recorrido se concluyó que su complejidad y su alcance es muy grande, se selecciona para la priorización de las variables realizarla por medio de un método cualitativo (Matriz Vester) y por un método estadístico cuantitativo. A continuación, se presenta el diagrama de influencia de segundo orden de causalidad en la Matriz de Vester (Figura 4).

Figura 4. Diagrama Influencia Causalidad Matriz de Vester para el proceso de movilidad de los Bici usuarios de la Universidad Libre



Fuente: Elaboración de los autores

En la figura 4 muestra el resultado en representación gráfica de 4 variables: pasivas, críticas, indiferentes, activos, donde los problemas analizados son las variables pasivas y críticas que se encuentran en la parte superior derecha e izquierda del gráfico donde son las más importantes que afecta a los biciusuarios para el estudio, las cuales se identifican en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables Críticas Matriz de Vester

Resultados Matriz (Variables críticas)					
P1	Violencia	P8	Sexo	P16	Lluvia
P4	Hurto	P10	Imprudencia	P22	Conectividad
P5	Experiencia	P11	Exceso de Velocidad	P25	Mantenimiento vial
P6	Edad	P14	Señalización	P26	estado de la vía

Fuente: Elaboración de los autores

Este es un método que ayuda a obtener las variables más críticas que se fijan para hacer el estudio del riesgo para los ciclistas. En este caso se definieron cada variable crítica que interviene en el proceso de movilidad de los biciusuarios (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Definición de Variables Críticas Matriz de Vester

Código	Variable	Definición
P1	Violencia	Según la OMS, uso intencional de la fuerza física, amenazas contra uno mismo, otra persona, un grupo o una comunidad que tiene como consecuencia o es muy probable que tenga como consecuencia un traumatismo, y daños psicológicos en este caso en la vía.
P4	Hurto	Según el Código Penal Colombiano en el Artículo 239 el hurto es: el que se apodere de una cosa mueble ajena, con el propósito de obtener provecho para sí o para otro
P5	Experiencia en la vía	Es la experticia que se tiene en el manejo de la vía por parte del biciusuario
P6	Edad	Tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo.
P8	Sexo	Condición orgánica que distingue a los hombres de las mujeres. En este caso es Masculino o Femenino para este estudio
P10	Imprudencia	Es un acto irreflexivo o torpe que implica un cierto riesgo para el que lo comete o para otros
P11	Exceso de Velocidad	Es operar un vehículo y/o medio de transporte a velocidades excesivas o ilegales
P14	Señalización	Según la UPRL de la Universidad de Zaragoza esta es el conjunto de estímulos que pretenden condicionar, con la antelación mínima necesaria, la actuación de aquel que los recibe frente a unas circunstancias que se pretende resaltar.
P16	Lluvia	Condición meteorológica que significa un riesgo en la vía a causa del piso mojado
P22	Conectividad en la vía	Se refiere a la comunicación o vínculo entre las ciclo rutas. Es decir que estén seguidas sin desconexiones entre ellas
P25	Mantenimiento	Prever y solucionar los problemas que se presentan a causa del uso continuo y discontinuo en el uso de un medio de transporte en este caso la bicicleta
P26	Estado de la vía	Se refiere a la condición que presenta la ciclo ruta puede ser muy buena, buena, regular y mala

Fuente: Elaboración de los autores

3.2.1 Método estadístico.

Para el análisis de datos se usó el programa STATGRAPHICS Centurion, el cual es una potente herramienta de análisis de datos que combina una amplia gama de procedimientos analíticos con extraordinarios gráficos interactivos para proporcionar un entorno integrado de análisis, con esta herramienta se establece las variables críticas a trabajar y poder hacer establecer el nivel del riesgo de un ciclista, los datos ingresados en el programa son las encuestas hechas por los usuarios.

3.2.1.1 Técnica de Análisis de los Componentes Principales.

El propósito de la técnica de ACP es obtener un número reducido de combinaciones lineales de las 7 variables que expliquen la mayor variabilidad en los datos. Esta técnica es usada para describir un conjunto de datos en términos de nuevas variables ("componentes") no correlacionadas. Los componentes se ordenan por la cantidad de varianza original que describen, por lo que la técnica es útil para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos.

Técnicamente, el ACP busca la proyección según la cual los datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados. Esta convierte un conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables sin correlación lineal llamadas componentes principales. Es importante establecer que mediante el ACP se trata de hallar un conjunto de combinaciones lineales de los indicadores con el propósito de simplificar la estructura de los datos, en componentes principales. Éstas deben explicar la mayor parte de la información que contienen dichos indicadores y debe estar incorrelacionadas, para no repetir información. Para el proyecto en mención esta técnica es aplicada con el fin establecer relaciones entre las variables, ver cómo se asocian, cómo se distancian, etc, El ACP se emplea sobre todo en análisis exploratorio de datos y para construir modelos predictivos en este caso un modelo de Dinámica de sistemas que es el que se formula en este artículo y la relación entre variables se establece con el fin de priorizarlas debido a que la dinámica de viaje de movilidad en bicicleta intervienen gran cantidad de variables.

3.3 Desarrollo del Modelo

Entre las mejores maneras de representar el comportamiento de un proceso o modelo, encontramos que la Dinámica de Sistemas (DS) es la herramienta de mayor impacto. Se basa en la construcción de modelos de simulación que se realizan sobre la base de los datos históricos de las variables denominadas independientes, y donde se aplica la estadística para determinar los parámetros del sistema de ecuaciones que las relacionan con otras denominadas dependientes. La dinámica de sistemas se convierte en una buena alternativa para el abordaje de problemas complejos, ya que permite analizar y sintetizar diversas causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema de interés. Esto implica aumentar el conocimiento sobre el papel de cada elemento y ver cómo diferentes acciones, efectuadas sobre partes del mismo, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en él. [10].

El objetivo principal de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento de tal sistema. Esto implica aumentar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema y ver cómo diferentes acciones,

efectuadas sobre parte del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamientos implícitas en el mismo. [11]. Para tal fin, podemos usar un software específico como VENSIM, usado por la Universidad Libre. La dinámica de Sistemas permite la construcción de modelos tras un análisis cuidadoso de los elementos del sistema. Este análisis permite extraer la lógica interna del modelo, con ello pretende un conocimiento de la evolución a largo de plazo del Sistema. En consecuencia, se puede adaptar la Dinámica de Sistemas para analizar el Nivel del Riesgo al que están expuestos los biciusuarios de la localidad de Engativá. Todo esto teniendo en cuenta las variables que intervienen en el proceso de movilidad de su viaje.

El modelo comporta una estructura y unos pasos determinados para su desarrollo, en ellos encontramos los diagramas elaborados para estructurar y establecer la relación entre las distintas variables.

3.3.1 Diagrama causal

Es una herramienta que permite "conocer la estructura de un sistema dinámico. Esta estructura viene dada por la especificación de las variables que aparecen en el mismo, y por el establecimiento de la existencia, o no existencia, de una relación entre cada par de variables" [12].

3.3.2 Diagrama de Forrester

Es un diagrama representativo de la Dinámica de Sistemas. "Es una traducción del Diagrama Causal a una terminología que permite la escritura de las ecuaciones en el ordenador para así poder validar el modelo, observar la evolución temporal de las variables y hacer análisis de sensibilidad" [13].

3.4 NTP 330 Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente (Normativa Española)

La norma NTP 330 se trata de una guía orientada a la prevención de accidentes de tipo laboral. La metodología permite cuantificar la magnitud de los riesgos existentes y, en consecuencia, jerarquizar racionalmente su prioridad de corrección, para ello se parte de la detección de las deficiencias existentes en los lugares de trabajo para, a continuación, estimar la probabilidad de que ocurra un accidente y, teniendo en cuenta la magnitud esperada de las consecuencias, evaluar el riesgo asociado a cada una de dichas deficiencias. [14]

Para este proyecto se decidió utilizar la adaptación de la norma NTP 330, debido a permite cuantificar la magnitud de los riesgos de un accidente lo cual es importante para poder formular el modelo. Adicionalmente es una metodología que permite cuantificar las variables que son expuestos los biciusuarios en su viaje y posteriormente permite analizar su nivel de riesgo, es importante aclarar que esta herramienta se emplea principalmente para prevención laboral y se tomara para hallar el nivel de riesgo de un biciusuario debido a que está relacionado con la prevención de accidentes y sucesos los cuales se puede corregir y adoptar medidas de advertencia. Para esto indica la norma técnica que los factores de riesgo se deben valorar considerando tres aspectos: nivel de deficiencia (ND), nivel de exposición (NE) y finalmente el nivel de consecuencia (NC) en el orden indicado. Primeramente se evaluó el nivel de deficiencia, el cual indica el nivel de eficacia de las medidas preventivas

respecto al factor de riesgo evaluado.

En segundo lugar en este caso se aplicará es determinar el nivel de exposición al factor de riesgo, el cual nos indica la frecuencia a la que el biciusuario está expuesto al riesgo evaluado es decir su cantidad de exposición lo cual se mide por viajes por semana. Es decir, nos da una idea del tiempo a la que el biciusuario está expuesto al factor de riesgo.

El múltiplo del nivel de deficiencia y del nivel de exposición nos da como resultado el nivel de probabilidad (NP). Que no es más que la probabilidad de que ocurra un fallo (accidente o incidente), en función de las medidas de control preventivas y la exposición al factor evaluado.

Para el proyecto en mención se realizó los siguientes pasos

1. Se parte del nivel de deficiencia donde se establece 10 Muy deficiente y 2 Mejorable esto se hará con cada variable expuesta, dependiendo de los factores que se establecen en el apartado 3.5 y la vía escogida en este caso la AV Boyacá en Bogotá D.C.
2. Se halló la exposición del ciclista cuanto tiempo permanece utilizando su bicicleta si es continua, frecuente, Ocasional, y Esporádica lo cual se le dará un puntaje dependiendo de los viajes por semana en este caso de las condiciones establecidas en el apartado 3.5
3. En cuanto al nivel de consecuencia se tomaron las estadísticas de Bogotá de la zona de Engativá sobre la accidentalidad de género, edad y porcentaje por localidad presentadas en el estudio [16]
4. Aplicando la norma NTP 330 el nivel de riesgo es la multiplicación de los factores por lo tanto al tenerlos arroja el resultado final del nivel de riesgo para su análisis.

3.4.1 Sistema de Ecuaciones

Este método según la norma (NTP 330) [14] esta permite cuantificar los riesgos existentes. El nivel de riesgo del biciusuario tomando como base la norma se expresa:

$$NR = NP \times NC \quad (1)$$

Dónde:

NR= Nivel de Riesgo

NP= Nivel de Probabilidad

NC= Nivel de Consecuencia

Es importante resaltar que la Probabilidad es factor de la Deficiencia (ND) y la Exposición (NE) (NTP 330) [14]:

$$NP = ND \times NE \quad (2)$$

3.4.1.1 Nivel de Deficiencia

En el Cuadro 1 se tiene el nivel de Deficiencia basado en la Infraestructura teniendo en cuenta el estudio [15]. El nivel de deficiencia se establece con una unidad de medida, (cantidad huecos), (Señalización en las calles), (conectividad cada 10 km) con el fin de poder analizar el riesgo del viaje del ciclista. El cuadro 2 se tiene la información del nivel de deficiencia teniendo en cuenta el individuo.

Cuadro 1. Nivel de Deficiencia teniendo en cuenta la Infraestructura

Género	unidad de medida	Nivel deficiencia	ND
	Masculino	Muy deficiente	10
Femenino	Mejorable	2	
Uso EPP	Uso EPP (reflectivos) (casco)	Nivel deficiencia	ND
	Uso de EPP'S	Mejorable	2
	No uso EPP'S	Muy deficiente	10
Uso EPP casco	Uso EPP (casco)	Nivel deficiencia	ND
	Uso de EPP'S	Mejorable	2
	No uso EPP'S	Muy deficiente	10
Distancia seguridad	Distancia seguridad	Nivel deficiencia	ND
	>1,5 metros	Mejorable	2
	<1,5 metros	Muy deficiente	10
Exceso de velocidad	Exceso de velocidad	Nivel deficiencia	ND
	Alta velocidad: mayor a 60km/h	Muy deficiente	10
	Velocidad media: de 40km/h a 60km/h	Mejorable	2

Fuente: Duarte y otros [15]

Cuadro 2. Nivel de Deficiencia teniendo en cuenta el Individuo

Género	unidad de medida	Nivel deficiencia	ND
	Masculino	Muy deficiente	10
Femenino	Mejorable	2	
Uso EPP	Uso EPP (reflectivos) (casco)	Nivel deficiencia	ND
	Uso de EPP'S	Mejorable	2
	No uso EPP'S	Muy deficiente	10
Uso EPP casco	Uso EPP (casco)	Nivel deficiencia	ND
	Uso de EPP'S	Mejorable	2
	No uso EPP'S	Muy deficiente	10
Distancia seguridad	Distancia seguridad	Nivel deficiencia	ND
	>1,5 metros	Mejorable	2
	<1,5 metros	Muy deficiente	10
Exceso de velocidad	Exceso de velocidad	Nivel deficiencia	ND
	Alta velocidad: mayor a 60km/h	Muy deficiente	10
	Velocidad media: de 40km/h a 60km/h	Mejorable	2

Fuente: Duarte y otros [15]

En referencia al estudio [15] los riesgos que ocasionan en un accidente o incidente de un ciclista a la hora de su viaje (elementos de protección), (distancia de un vehículo según la ley 1811 del año 2016), (velocidad) estas variables inciden directamente al riesgo de un ciclista. Ahora, relacionado con el nivel de riesgo ambiental, en el Cuadro 3 se observa el nivel de deficiencia.

Cuadro 3: Nivel Deficiencia basado en el medio Ambiente

Lluvia	Unidad de medida	Nivel deficiencia	ND
Nivel deficiencia	Lluvia	Muy deficiente	10
	Sin lluvia	Mejorable	2

Fuente: Duarte y otros [15]

Teniendo en cuenta [15] se explica que si hay día lluvioso en el viaje del biciusuario el nivel de deficiencia será de 10, ya que con la lluvia el piso será liso, no se visualizan los huecos, falta de visión etc. y el nivel de riesgo aumentará mientras que si en el día no hay lluvia el nivel de deficiencia será 2.

3.4.1.2 Nivel de Exposición

Establecidas las ecuaciones que integran la deficiencia para poder hallar la probabilidad del riesgo en un viaje se procede Cuadro 4 con la exposición del usuario dependiendo de los viajes a la semana:

Cuadro 4: Exposición del ciclista a la semana

	viajes a la semana	Nivel de Exposición
Continuada	4 veces o más a la semana	4
Frecuente	3 veces a la semana	3
Ocasional	2 veces a la semana	2
Esporádica	1 vez a la semana	1

Fuente: Elaboración de los autores

Este nivel de exposición aplica para todas las variables relacionadas de infraestructura, entorno e individuo. En referencia a la NTP 330 [14]:

$$NP = ND \times NE \quad (2)$$

3.4.1.3 Nivel de Consecuencia

Teniendo en cuenta que el nivel de probabilidad de riesgo de todas las diferentes categorías, Individuo, Infraestructura y Medio ambiente, y basándose en la NTP 330 [14], se halla el nivel de Consecuencia en todas las variables; se tiene en cuenta el género, la edad y la localidad, en este caso Engativá, así como los porcentajes relacionados al estudio [16] (Ver Cuadro 5).

Para el nivel de Consecuencia se tuvo en cuenta el número de muertes de biciusuarios en el año 2017, el cual se estableció en 54 muertes según [17]. Para calificar el nivel de consecuencia se aplica el Cuadro 6.

Cuadro 5. Nivel de Consecuencia. Basado en el Plan Bici, 2017

Nivel de Consecuencia		Accidentalidad		Localidad Engativá
Genero		Edad		
Hombre	86%	15 y 19	16,50%	13,90%
		20 y 29	35,80%	
Mujer	14%	30 y 40	10,60%	
		40 o más	37,10%	

Fuente: Elaboración de los autores

Cuadro 6. Nivel de Consecuencia. Basado en la NTP 330

Nivel de Consecuencia	
61 a 100	Mortal o Catastrófico
26 a 60	Muy grave
11 a 25	Grave
0 a 10	Leve

Fuente: Elaboración de los autores

Con lo dicho anteriormente es posible construir un sistema de ecuaciones que analice las variables del modelo, en la cual el nivel de riesgo del viaje será:

$$\text{Nivel de Riesgo del Viaje} = \text{Nivel riesgo de Infraestructura} \cdot (0,33) + \text{Nivel de Riesgo de Individuo} \cdot (0,33) + \text{Nivel de Riesgo Ambiental} \cdot (0,33) \quad (3)$$

Se aplican iguales porcentajes del 33% para cada nivel de riesgo, ya que el total del riesgo del viaje es del 100%.

3.5 Simulación Teórica

Es importante resaltar que la simulación es un medio el cual tanto nuevos procesos como procesos ya existentes pueden evaluarse, proyectarse y contemplarse con el fin de procurar una mejor comprensión de la causa y efecto además de permitir una mejor predicción de ciertas situaciones. El proceso de simulación facilita los medios para analizar el sistema y permite un enfoque innovador para lograr mejores soluciones en este caso con el fin de lograr a cabo intervenciones que permitan mejorar el bienestar de la población objeto de estudio. Se realizó la simulación teórica del modelo esto como paso anterior a cualquier aplicabilidad posible, puesto que, de su desarrollo teórico, y su éxito, es posible derivar uno práctico.

Para la planeación de la simulación teórica se analizaron diferentes tipos de escenarios. En este caso se quería analizar el tipo de Bici usuario más frecuente en la Universidad Libre sede Bosque Popular por medio del estudio [9] se determinó que los bici usuarios más frecuentes son estudiantes que oscilan entre 20 y 25 años de edad, por lo cual se planeó que el bici usuario fuera de 25 años de edad, en segundo lugar por el estudio aplicado [9] se determinó los participantes el 22,5 % son mujeres y el 77,5% son hombres. Por lo cual los hombres son más frecuentes a utilizar este medio de transporte más que las mujeres y a su

vez con mayor accidentalidad por lo cual se planeó que fuera hombre, para su exposición se planteó que fuera una exposición alta es decir 4 viajes a la semana ida y vuelta. Por consiguiente para la ruta se tomó la vía AV Boyacá esto porque es una de las ciclo rutas más frecuente por los bici usuarios y se planteó por último que el bici usuario llevara sus EPP'S y fuera una persona prudente en la vía. Por lo cual para la simulación teórica se analiza un bicisuario, hombre, de 25 años, quien realiza 4 viajes por semana. Su ciclo ruta de llegada es la Cicloruta de la Av. Boyacá y es un usuario que usa sus EPP'S y es prudente en la vía.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Análisis de método estadístico

Para el método estadístico se utilizó la técnica anteriormente descrita ACP. En este caso para los resultados tres componentes se han extraído, puesto que tres componentes tuvieron valores mayores o iguales que 1,0. En conjunto ellos explican 67,2776% de la variabilidad en los datos originales (Ver Tabla 3).

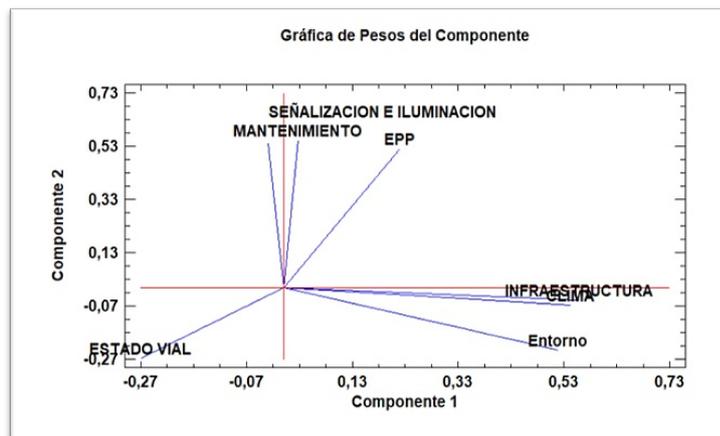
Cuadro 6. Nivel de Consecuencia. Basado en la NTP 330

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje Acumulado
1	2,39575	34,225	34,225
2	1,20878	17,268	51,493
3	1,10491	15,784	67,278
4	0,798771	11,411	78,689
5	0,770405	11,006	89,694
6	0,407934	5,828	95,522
7	0,313457	4,478	100.000

Fuente: Elaboración de los autores

La Gráfica 1 explica el comportamiento de los datos y la priorización de las variables, como la utilización de los elementos de protección personal y el cumplimiento de las señales de tránsito, fundamentales en el desarrollo del modelo.

Gráfica 1. Pesos del Componente Método estadístico cuantitativo



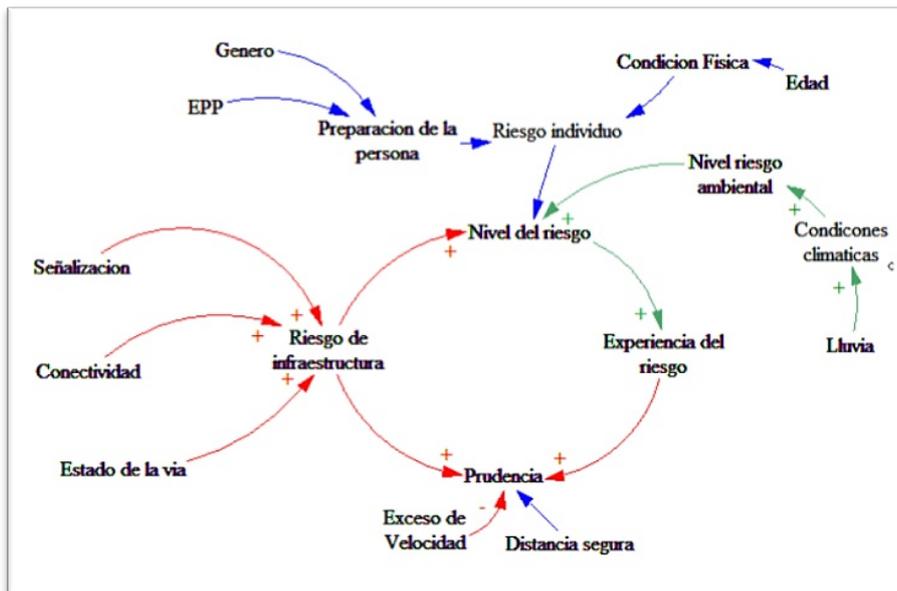
Fuente: Elaboración de los autores

La Gráfica 1 explica el comportamiento de cada uno de los datos y la priorización de las variables como la utilización de los elementos de protección personal y el cumplimiento de las señales de tránsito fundamentales en el desarrollo del modelo. Se concluye basándose en las diferentes herramientas que se analizaron para poder hallar las variables críticas, las variables con más influencia en los niveles de riesgo viales a los cuales los ciclistas se ven expuestos. Se clasificaron estos riesgos en tres grandes ramas: La individual, donde el ciclista es responsable de su seguridad antes de salir a pedalear y su cultura ciudadana con respecto a su prudencia en el desarrollo de su proceso de movilidad; la de infraestructura vial, donde se evalúa en la Av Boyacá como vía principal de llegada de los biciusuarios de la Universidad Libre y si tal infraestructura es adecuada para el ciclista; y por último, el entorno cambiante de la ciudad de Bogotá, donde el clima se articula como una variable muy influyente debido a su inestabilidad y constante cambio. A partir de estas variables y su análisis dado en la formulación del modelo de dinámica de sistemas se constituye una correlación donde cada variable se relaciona con las otras.

4.1 Arquetipo, Diagrama causal

La Figura 5 muestra las relaciones de las diferentes variables que influyen en el proceso de movilidad de los biciusuarios de la Universidad Libre sede bosque popular. Se observa de manera positiva y negativa con respecto al nivel de riesgo. También se observa las relaciones entre variables, donde se hace un análisis a nivel de un riesgo estructurado, donde cada tipo de riesgo poseerá variables auxiliares, las cuales brindarán información útil para hallar el nivel de riesgo de cada individuo.

Figura 5. Diagrama causal del nivel de Riesgo



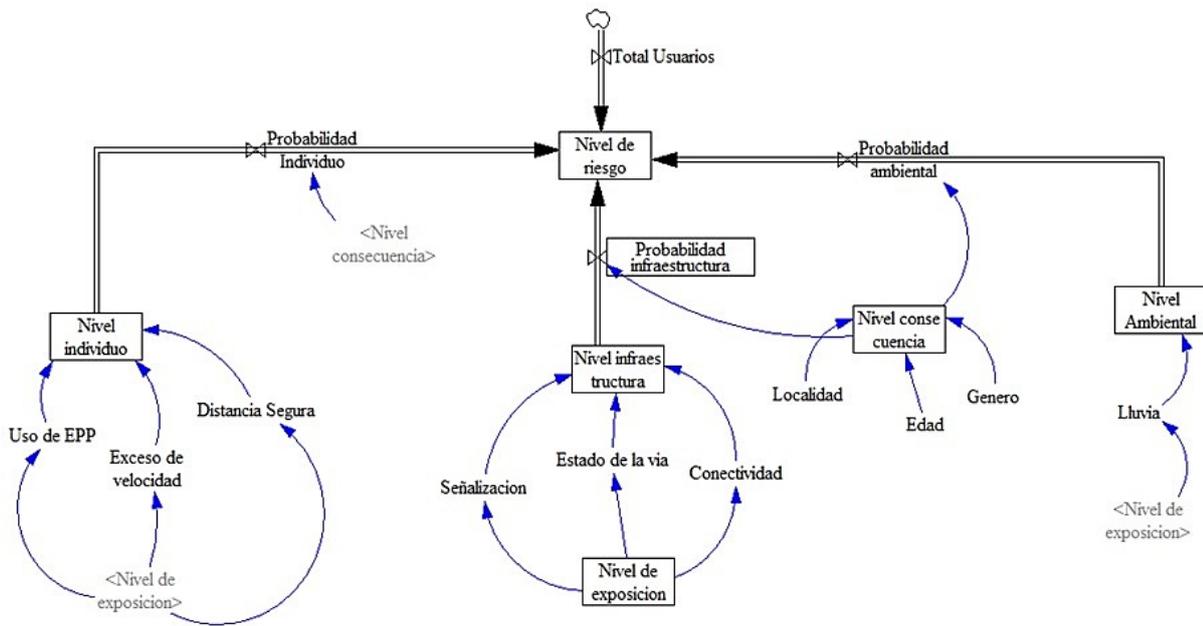
Fuente: Elaboración de los autores

La identificación de variables del viaje en el proceso de movilidad permitió analizar una relación de causalidad que influye directamente en el nivel de riesgo, tal identificación condujo a establecer una aproximación del modelo y establecer las recomendaciones pertinentes a los bicisuarios, en concordancia con el objetivo de disminución del nivel de riesgo respecto a las variables planteadas.

4.2 Modelo, diagrama de Forester

En la Figura 6 se observa el Diagrama de Forester, este diagrama está compuesto por un sistema de ecuaciones lineales basadas en la (NTP 330) [14], donde se pretende facilitar la tarea de evaluación de riesgos a fin de establecer prioridades para la eliminación y control de los riesgos que están expuestos los bicisuarios de la universidad su proceso de movilidad.

Figura 6. Diagrama de Forester del nivel de Riesgo



Fuente: Elaboración de los autores

4.3 Simulación Teórica

Teniendo en cuenta los parámetros especificados en la sección 3.5 de la metodología los resultados de la simulación obtenidos fueron los mostrados en el Cuadro 7. Se puede observar que el Nivel de Riesgo de Infraestructura es de 1848, al aplicarse a porcentajes iguales para cada una de las 3 variables que suman el 100% se puede obtener tal nivel de riesgo. Esto, según la norma NTP 330 [14], es nivel crítico 1, es decir, requiere intervención urgente.

Cuadro 7. Nivel de Riesgo de Infraestructura Basado en la NTP 330

Estado de la vía	Nivel Deficiencia	Nivel exposición	Nivel consecuencia	Nivel de Riesgo
Av Boyaca	10	4	100	4000
Señalización				
Av Boyaca	2	4	100	800
Conectividad				
Av Boyaca	2	4	100	800
Nivel de Riesgo de Infraestructura	1848			

Fuente: Elaboración de los autores

Se puede observar que el Nivel de Riesgo de Infraestructura es de 1.848, al aplicarse a porcentajes iguales para cada una de las 3 variables que suman el 100% se puede obtener tal nivel de riesgo. Esto según la norma NTP 330 [14], es nivel crítico 1, es decir, requiere intervención urgente. El nivel de Riesgo es 800, por lo cual según la norma NTP es de nivel crítico 1, requiere de intervención urgente (Ver Cuadro 8). Para el nivel de Riesgo Ambiental (Cuadro 9), se analiza que como no hay lluvia el nivel de Riesgo del Entorno será de 0.

Cuadro 8. Nivel de Riesgo del Individuo. Basado en la NTP 330

USO DE EPP	Nivel de Deficiencia	Nivel de Exposición	Nivel de consecuencia	Nivel de Riesgo
Av. Boyacá	2	4	100	800
DISTANCIA DE SEGURIDAD				
Av. Boyacá	2	4	100	800
EXCESO DE VELOCIDAD				
Av. Boyacá	2	4	100	800
NIVEL DE RIESGO DEL INDIVIDUO	800			

Fuente: Elaboración de los autores

Cuadro 9. Nivel de Riesgo Ambiental. Basado en la NTP 330

LLUVIA	Nivel de Deficiencia	Nivel de Exposición	Nivel de consecuencia	Nivel de Riesgo
Av. Boyacá	0	4	100	0

Fuente: Elaboración de los autores

Por otro lado, el nivel de riesgo total del viaje será:

$$NR= 1848*(0,33)+800*(0,33)+0*(0,33) = 873 \quad (4)$$

El Nivel de riesgo que arrojó la simulación teórica con respecto lo mostrado en el Cuadro 10 es una situación crítica (Corrección urgente). Esto nos indica que se requiere corregir y adoptar medidas de control con el fin de mejorar el viaje del bici usuario y que su viaje sea más seguro, este valor nos indica que debe haber un nivel de intervención en alguna de las variables analizadas con el fin de que el viaje del bici usuario pueda ser más seguro, ya que en algún momento el riesgo se puede materializar y provocar un accidente. En este caso el tipo de con la simulación teoría aplicada se plantea una herramienta a la Universidad para predecir, comparar e intervenir en el proceso de movilidad en bicicleta de los Biciusuarios de la sede Bosque Popular ubicada en la localidad de Engativá Bogotá. La importancia de la simulación teoría radica en su utilidad para plantear la estrategia de las partes interesadas desde el punto de vista experimental, para generar observaciones en las variables clave y el análisis estadístico de los datos resultantes con el fin de generar estudios posteriores sobre la temática de Movilidad en la Universidad Libre y en la localidad.

Cuadro 8. Nivel de Riesgo del Individuo. Basado en la NTP 330

Nivel de Intervención	NR	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Corrección Urgente
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control.
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
IV	20	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique

Fuente: Elaboración de los autores

En la Figura 8 se visualiza del modelo en el programa de Vensim donde se encuentra incluido las ecuaciones, datos de movilidad y las variables críticas que se escogieron por medio de análisis cualitativos y cuantitativos para que arroje el nivel de riesgo de un ciclista en la zona de Engativá, está en proceso de validación por expertos en dinámica de sistemas de la Universidad Libre.

Uno de los análisis con respecto a la probabilidad de haya más riesgo con respecto a la lluvia en los diferentes meses se ilustra en la Gráfica 3, donde se muestra mayor exposición del riesgo en los meses de enero, febrero, abril y octubre por lo que el modelo va a dar alerta de un mayor riesgo en estos meses debido a por el piso húmedo, visualización de la vía nula, etc.

Por medio de la NTP 330, se deduce que el Nivel de Riesgo es 873, el cuál es de Nivel I, lo que representa una situación crítica pero corregible. Para el planteamiento de metodologías se propone mejorar el estado de la cicloruta de la Av. Boyacá ya que es la que más influye en el nivel de riesgo del biciusuario. Si la ciclo ruta de la Av. Boyacá estuviera en mejor estado, es decir, con un menor número de cráteres, huecos, además de una señalización clara y no excesiva, el nivel de riesgo del viaje para este biciusuario disminuiría notablemente.

Por medio de metodología de DS, se realizó una simulación teórica de las variables más relevantes que intervienen en el proceso de movilidad, dando como resultado una identificación de los factores y riesgos, clasificados entre altos, medios y bajos. Dependiendo tal medición de los riesgos Infraestructura, riesgos del ambientales y riesgos del Individuo. Para la universidad es fundamental cuidar los estudiantes por lo que se ha establecido diferentes prácticas de aprendizaje, de cultura ciudadana, cartillas del biciusuario de autores [18] con las normas básicas que se deben tener en cuenta a la hora de realizar viajes en Bicicleta dentro de la ciudad para evitar posibles lesiones.

Es importante que la Secretaria de Movilidad tome como base este tipo de estudios para que pueda plantear estrategias de prevención y control de los riesgos a los que están expuestos los biciusuarios de la Localidad de Engativá, puesto que esta población tiene desconocimiento de las medidas de prevención de riesgos en su ruta diaria.

Este es un avance de la terminación del proyecto se espera poder realizar la simulación por medio del programa VENSIM, para poder confirmar los resultados ya mencionados y que se ajusten a la realidad del proceso de movilidad. Por otro lado, se logra un avance sustancial en la formulación del modelo ya que para los bici usuarios de esta localidad es una herramienta que les proporciona una mejor visión de su viaje y de cómo poder prevenir sus riesgos de accidentalidad con el fin de disminuir las cifras de mortalidad de los usuarios de este medio de transporte en el futuro.

REFERENCIAS

- [1] Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaria de Movilidad, «Estadísticas de lesiones y mortalidad de los Biciusuarios en la Localidad de Engativá-Bogotá». 2018.
- [2] Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). Informe anual de calidad del aire de Bogotá (2016). Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental, Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual- Bogotá D.C 2017
- [3] Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaria de Movilidad, «Reporte anual de movilidad en Bogotá,». Bogotá D.C., 2018.
- [4] Dill, J., Voros, K., 2007. Factors affecting bicycling demand: initial survey findings from the Portland, Oregon, region. *Transport. Res. Rec.* 9–17.
- [5] Emond, C.R., Tang, W., et al., 2009. Explaining gender difference in bicycling behavior. *Transport. Res. Rec.* 2125, 16–25

- [6] Winters, M., Davidson, G., et al., 2010. Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride. *Transportation* 1–16
- [7] Zhang, M., Wang, X., Mannan, M.S., Qian, C., Wang, J., A system dynamics model for risk perception of lay people in communication regarding risk of chemical incident, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (2017), doi: 10.1016/j.jlp.2017.09.005
- [8] A. Macmillan, J. woodcock,(2017) Understanding bicycling in cities using system dynamics modelling ,*Sciencedirect*, doi.org/10.1016/j.jth.2017.08.002
- [9] J. Jiménez, T.Díaz, S. Meneses (2017, Dic), Caracterización de los riesgos de movilidad en bicicleta en una institución de educación superior en la localidad de Engativá. *Revista Avances [En línea] [Impreso]* Vol. 14, p. 47-62. doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.1282.
- [10] García, J. M. *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas*. Barcelona: JMG, 2007
- [11] Flétscher, Gallón, 2009, Modelo del mercado de acceso banda ancha al servicio de internet residencial en Colombia: una aproximación desde la dinámica de sistemas. *Revista educación en Ingeniería ACOFI*, N°. 7, pp. 84-97
- [12] Aracil, Javier y Gordillo, Francisco. *Dinámica de sistemas*, Alianza Editorial, Madrid, 1997.
- [13] García, Juan. *Dinámica de Sistemas*. [Documento en línea]. [Citado 14 octubre 2014]. Disponible en: http://www.dinamica-de-sistemas.com/libros/diagrama_forrester.htm
- [14] INSHT, NTP 330, 1993, Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente
- [15] D. Duarte, K. Lopez, S. Meneses, (2018, Dic) Caracterización de riesgos en la accidentalidad de bicisuarios. *Ingeniería Industrial., Actualidad y Nuevas Tendencias*, Año [En línea] 11, Vol. VI, No. 21, p. 93-108
- [16] Secretaria de Movilidad de Bogotá, (2017), Plan Bici 2017.
- [17] Policía Nacional, Bogotá. (2018) «Comportamiento de muertes y lesiones para accidentes de transporte.» Bogotá, 2017
- [18] S. Meneses, Universidad Libre. (2018) Cartilla el bici usuario seguro, doi.org/10.18041/978-958-5466-24-1, URI: <http://hdl.handle.net/10901/15582> , Colecciones: Libros - Ingeniería