

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

ESCUELA DE POSGRADO



**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN TRANSPORTES
Y CONSERVACIÓN VIAL**

**“Modelo de elección discreta para implementar la bicicleta como modo de
transporte en el distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo”**

Área de Investigación:

Transportes

Autor:

Br. Mondragón Zamora, Antero

Jurado Evaluador:

Presidente: Ms. Rodríguez Ramos, Mamerto

Secretario: Ms. Henríquez Ulloa, Juan Paul

Vocal: Ms. Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

Asesor:

Dr. Luján Silva, Enrique Francisco

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8960-8810>

TRUJILLO - PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/12/01

DEDICATORIA

A Dios, por el don de la vida y
la bendición continua para
cumplir todas mis metas sin
desfallecer en el intento.

A María, mi esposa; por estar
apoyándome en los momentos donde el
estudio y trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo.

A mis hijos, Dorian y Jazmín; que son el regalo
más hermoso que Dios me haya podido dar. Gracias
por comprender el sacrificio de mi tiempo para
cumplir con esta tesis.

A mis padres y hermanos, quiénes aun con el pasar de los
años siguen siendo la principal fuente de apoyo
cuando el camino se hace difícil.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a mi asesor, el Dr. Enrique Luján; a quién conozco desde las aulas de pregrado. Gracias por su valioso apoyo para la cristalización de este proyecto.

Así mismo, agradecer a todas las personas que me apoyaron y motivaron a la realización de esta investigación, en especial a los ingenieros Stewart López y Paul Enríquez. Gracias amigos.

RESUMEN

La presente investigación está orientada a estudiar la probabilidad de demanda del uso de la *bicicleta* a los ciudadanos del distrito Víctor Larco Herrera, Trujillo, a través de los modelos de elección discreta. El crecimiento del parque vehicular y el escaso control por parte de las autoridades, han permitido que el distrito en análisis esté sumergido en un caos vehicular constante, teniendo repercusión en la calidad de vida urbana. Es por ello, la importancia de fomentar el uso de modos sostenibles como alternativa a los modos tradicionales como son el *bus* y el *taxi*. Para medir la aceptación de los ciudadanos se utilizó una encuesta de preferencia declarada, con un diseño experimental basado en el plan maestro de Kocur. Este diseño contó con 9 escenarios hipotéticos donde se consideró las siguientes variables: *tiempo de viaje*, *costo de viaje*, *infraestructura para la bicicleta* y *riesgo por contagio de covid-19*. Se planteó cinco modelos Logit Multinomial, teniendo al *bus*, *taxi* y *bicicleta* como variables dependientes, que a su vez fueron estimados con el software Biogeme. Los resultados obtenidos priorizan el uso de la *bicicleta* por encima del *bus* y *taxi*, teniendo como factor fundamental la variable *costo de viaje*.

Se concluye, que los modelos Logit Multinomial como parte de los modelos de elección discreta, miden la probabilidad de aceptación del uso de la *bicicleta* como modo alternativo a los modos tradicionales como el *bus* y el *taxi*.

Palabras claves: Planificación del Transporte, Logit Multinomial, Elección modal, Bicicleta.

ABSTRACT

This research is aimed at studying the probability of demand for the use of bicycles by citizens of the Víctor Larco Herrera district, Trujillo, through discrete choice models. The growth of the vehicle fleet and the lack of control by the authorities have allowed the district under analysis to be submerged in constant vehicular chaos, having repercussions on the quality of urban life. That is why the importance of promoting the use of sustainable modes as an alternative to traditional modes such as the bus and taxi.

To measure the acceptance of citizens, a declared preference survey was used, with an experimental design based on Kocur's master plan. This design had 9 hypothetical scenarios where the following variables were considered: travel time, travel cost, bicycle infrastructure and risk of covid-19 contagion. Five Multinomial Logit models were proposed, having the bus, taxi and bicycle as dependent variables, which in turn were estimated with the Biogeme software. The results obtained prioritize the use of the bicycle over the bus and taxi, having as a fundamental factor the travel cost variable.

It is concluded that the Multinomial Logit models as part of the discrete choice models measure the probability of accepting the use of the bicycle as an alternative mode to traditional modes such as bus and taxi.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	3
2.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA	5
2.3. JUSTIFICACIÓN	5
2.4. HIPÓTESIS	6
2.5. OBJETIVOS	6
2.5.1. OBJETIVO GENERAL	6
2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
III. MARCO TEÓRICO	8
3.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
3.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	8
3.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	11
3.2. BASES TEÓRICAS	14
3.2.1. PLANIFICACIÓN Y MODELOS DE TRANSPORTE	14
3.2.1.1. Planificación.	15
3.2.1.1.1. Proceso de planificación del transporte urbano.	16
3.2.1.1.2. Disponibilidad y organización de la información.	16
3.2.1.1.3. Proyección en el futuro.	17
3.2.1.2. Modelos.	17
3.2.1.2.1. Formulación de modelos.	18
3.2.1.2.2. Enfoque de los modelos.	19
3.2.1.2.3. Especificación de los modelos.	20
3.2.1.2.4. Calibración y validación de los modelos.	20
3.2.2. LA OFERTA DEL TRANSPORTE	21
3.2.2.1. Vialidad o infraestructura.	21
3.2.2.2. Transporte público.	22
3.2.2.3. Redes de transporte.	22
3.2.2.3.1. Teoría de grafos	22
3.2.2.3.2. Teoría de redes.	26
3.2.3. DEMANDA DEL TRANSPORTE	27
3.2.3.1. Modelo clásico de transporte.	28
3.2.3.1.1. Modelos de generación de viajes	29
3.2.3.1.2. Modelos de distribución de viajes	30

3.2.3.1.3.	Modelos de partición modal.	31
3.2.3.1.4.	Modelos de asignación de viajes.	33
3.2.4.	MODELOS DE ELECCIÓN DISCRETA	33
3.2.4.1.	Consideraciones para la aplicación de los modelos de elección discreta	35
3.2.4.2.	La Función Utilidad	36
3.2.4.3.	La teoría de la utilidad aleatoria.	37
3.2.4.4.	Modelos Logit Multinomial (MNL)	40
3.2.4.4.1.	Propiedades de los Modelos Logit Multinomial	40
3.2.5.	RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.2.5.1.	Preferencia Revelada (PR)	42
3.2.5.2.	Preferencia Declarada (PD)	42
3.2.5.2.1.	Características de las encuestas de PD	43
3.2.5.2.2.	Etapas de diseño de una encuesta de PD	44
3.2.5.2.3.	Atributos y alternativas.	45
3.2.5.2.4.	Diseño experimental de una encuesta de PD	45
3.2.6.	LA BICICLETA COMO MODO DE TRANSPORTE	47
3.2.6.1.	Infraestructura para el uso de la Bicicleta	49
3.2.6.2.	Tipologías de Infraestructura	49
3.2.6.2.1.	Vías no Segregadas	49
3.2.6.2.2.	Vías no Segregadas	51
3.3.	MARCO CONCEPTUAL	53
3.3.1.	MODELO	53
3.3.2.	PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA	53
3.3.3.	PROGRAMACIÓN LINEAL	54
3.3.4.	ALGORITMO	54
IV.	METODOLOGÍA	55
4.1.	DISEÑO DEL ESTUDIO	55
4.1.1.	INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA	55
4.2.	POBLACIÓN	55
4.3.	MUESTRA	56
4.3.1.	CÁLCULO DE LA MUESTRA	57
4.4.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	57
4.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	58
4.5.1.	TÉCNICAS	58
4.5.1.1.	Análisis documental	58

4.5.1.2. Encuestas	58
4.5.2. INSTRUMENTOS	59
4.5.2.1. Guía de análisis documental	59
4.5.2.2. Cuestionario	59
4.6. PROCEDIMIENTOS	59
4.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	60
4.7.1. RECOLECCIÓN DE DATOS	61
4.7.1.1. Preferencias Reveladas	61
4.7.1.2. Preferencia Declaradas	62
4.7.1.2.1. Diseño experimental de Preferencias Declaradas	63
4.7.2. BASE DE DATOS	77
4.7.2.1. Diseño de la base datos	78
4.8. CONSIDERACIONES ÉTICAS	81
V. RESULTADOS	82
5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LA BASE DE DATOS	82
5.1.1. DISTRIBUCIÓN POR SEXO	82
5.1.2. DISTRIBUCIÓN POR EDAD	82
5.1.3. DISTRIBUCIÓN SEGÚN SITUACIÓN LABORAL	84
5.1.4. DISTRIBUCIÓN SEGÚN NIVEL ACADÉMICO	85
5.1.5. PREFERENCIA DEL MODO DE TRANSPORTE	86
5.1.6. SEXO VS PREFERENCIA DE MODO DE TRANSPORTE	87
5.1.7. EDAD VS PREFERENCIA DE MODO DE TRANSPORTE	87
5.2. ESTIMACIÓN MODAL MEDIANTE MODELOS LOGIT MULTINOMIAL.	89
5.2.1. ESTIMACIÓN DE MODELOS	94
5.2.1.1. Modelo 1: Incluye las variables <i>costo de viaje y tiempo de viaje</i> .	94
5.2.1.2. Modelo 2: Incluye la variable <i>Riesgo por contagio de covid-19</i>	99
5.2.1.2.1. Análisis comparativo de probabilidad de elección entre los modelos 1 y 2 considerando el Riesgo por contagio de covid-19.	101
5.2.1.3. Modelo 3: Incluye la variable <i>infraestructura para la bicicleta</i>	104
5.2.1.4. Modelo 4: Incluye la variable <i>ingreso mensual (categoría 1)</i>	106
5.2.1.5. Modelo 5: Incluye las variables <i>ingreso mensual y Riesgo por contagio de covid-19</i> .	109
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	113
VII. CONCLUSIONES	116
VIII. RECOMENDACIONES	118

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
X. ANEXOS	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Distribución	30
Tabla 2 Operacionalización de Variables	57
Tabla 3 Variables Socioeconómicas	62
Tabla 4 Variable: Tiempo de Viaje	63
Tabla 5 Variable: Costo de Viaje	64
Tabla 6 Variable: Riesgo de Contagio por covid-19	64
Tabla 7 Variable: Infraestructura para la Bicicleta	65
Tabla 8 Variables y Niveles en el Diseño Experimental de PD	66
Tabla 9 Índice de Planes Experimentales	66
Tabla 10 Plan Experimental 44a	67
Tabla 11 Master Plan 3 de Kocur	68
Tabla 12 Master Plan adaptado a las Variables	68
Tabla 13 Matriz Ortogonal	69
Tabla 14 Matriz Ortogonal, Escenario 1	70
Tabla 15 Niveles, Escenario 1	70
Tabla 16 Valores de Niveles, Escenario 1	71
Tabla 17 Matriz Ortogonal, Escenario 2	72
Tabla 18 Niveles, Escenario 2	72
Tabla 19 Valores de Niveles, Escenario 2.	72
Tabla 20 Escenario 1	73
Tabla 21 Escenario 2	74
Tabla 22 Escenario 3	74
Tabla 23 Escenario 4	75
Tabla 24 Escenario 5	75
Tabla 25 Escenario 6	76
Tabla 26 Escenario 7	76
Tabla 27 Escenario 8	76
Tabla 28 Escenario 9	77
Tabla 29 Codificación de los Valores de las Variables	80
Tabla 30 Frecuencia de la Muestra según Sexo	82

Tabla 31 Frecuencia según la Edad _____	82
Tabla 32 Frecuencia según Situación Laboral _____	84
Tabla 33 Frecuencia según Nivel Académico _____	85
Tabla 34 Frecuencia de preferencia de Modo de Transporte _____	86
Tabla 35 Nomenclatura de Parámetros _____	92
Tabla 36 Nomenclatura de Variables _____	92
Tabla 37 Estimación de Parámetros del Modelo 1 _____	94
Tabla 38 Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 1 _____	97
Tabla 39 Estimación de Parámetros del Modelo 2 _____	99
Tabla 40 Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 2 _____	100
Tabla 41 Cuadro Comparativo de Probabilidad de elección entre los modelos 1 y 2. _	103
Tabla 42 Estimación de Parámetros del Modelo 3 _____	104
Tabla 43 Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 3 _____	105
Tabla 44 Estimación de Parámetros del Modelo 4. _____	107
Tabla 45 Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 4. _____	107
Tabla 46 Estimación de Parámetros del Modelo 5 _____	110
Tabla 47 Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 5. _____	110
Tabla 48 Cuadro Comparativo de Probabilidades en los Modelos 1, 2 y 3 en Escenarios donde se Considera la Variable: Infraestructura para la Bicicleta. _____	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Grafo no Dirigido _____	23
Figura 2 Grafo Dirigido _____	24
Figura 3 Red de Transportes _____	26
Figura 4 Red de Carreteras _____	27
Figura 5 Modelo Clásico de Transportes _____	29
Figura 6 Orígenes y Destinos _____	29
Figura 7 La bicicleta _____	48
Figura 8 Vías Compartidas _____	50
Figura 9 Ciclo carril _____	51
Figura 10 Ciclovía _____	52
Figura 11 Ciclo Acera _____	52
Figura 12 Distrito de Víctor Larco Herrera. _____	56
Figura 13 Base de Datos _____	78
Figura 14 Distribución por Sexo _____	82

Figura 15 Distribución por Edad _____	83
Figura 16 Distribución según Situación Laboral _____	84
Figura 17 Distribución según Nivel Académico _____	85
Figura 18 Preferencia del Modo de Transporte _____	86
Figura 19 Sexo vs Elección de Modo de Transporte _____	87
Figura 20 Edad vs Elección de Modo de Transporte _____	88
Figura 21 Probabilidad Promedio de los escenarios en el Modelo 1 _____	98
Figura 22 Probabilidad Promedio de los escenarios en el Modelo 2 _____	100
Figura 23 Probabilidad de Elección en Escenarios que Consideran la Variable Riesgo por Contagio de covid-19 – Modelo2 _____	101
Figura 24 Probabilidad de elección de los escenarios:2, 4, 5 y 9 - Modelo 1. _____	102
Figura 25 Probabilidad de elección Modal - Modelo 3. _____	105
Figura 26 Probabilidad Promedio de los escenarios en el Modelo 4. _____	108
Figura 27 Probabilidad de elección Modal - Modelo 4. _____	109
Figura 28 Probabilidad Promedio de los escenarios en el Modelo 5. _____	111
Figura 29 Probabilidad de elección Modal - Modelo 5. _____	112

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 30 años, en el Perú se ha establecido una economía pujante, con oportunidad de eliminar los diferentes obstáculos que obstruyen su progreso; sin embargo, el crecimiento económico es un factor que ha generado la inmigración y por ende la sobrepoblación, con efectos negativos desde la perspectiva del transporte. Es decir, su parque automotor ha tenido un crecimiento importante, específicamente con modos motorizados; y, debido a la escasa planificación del transporte se ha agudizado, la congestión vehicular, contaminación ambiental, contaminación acústica, entre otros. Una forma de mitigar esta situación, es establecer ciertas políticas que fomenten el uso de modos de transportes eficientes y a su vez, amigables con el medio ambiente. En esta situación, la *bicicleta* toma preponderancia frente a otras alternativas.

En esta investigación se busca estimar la demanda de transportes en el distrito de Víctor Larco Herrera, desde la perspectiva de la elección modal, considerando a la *bicicleta* como un modo alternativo a los modos ya existentes, como es: el *bus* y *taxi*. Esta estimación, bajo ciertos factores permite evaluar la aceptación de la *bicicleta* y de acuerdo a ello, promover infraestructuras para su implementación. Debido a ello, la estructura de esta investigación se instaura de la siguiente forma:

El capítulo introductorio, establece las pautas y el orden que seguirá la investigación. En el segundo capítulo, se describe la realidad problemática y se plantea los objetivos e hipótesis de la investigación. En el tercer capítulo, se expone los antecedentes y los fundamentos teóricos sobre los modelos de elección discreta, en particular, los modelos Logit Multinomial. El cuarto capítulo está

relacionado al estudio poblacional del distrito de Víctor Larco Herrera, así como también, al diseño de contrastación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procedimientos, procesamiento y análisis de datos. En el quinto capítulo se presentan los resultados del estudio tanto en campo como en gabinete, todo en función de la estimación de los modelos Logit Multinomial con el software Biogeme. Posterior a ello, se presenta la discusión de resultados, así como las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

,

II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Realidad Problemática

Según Ortúzar Salas (2012), en la década del 50 del siglo pasado, se adoptó una metodología de modelación sobre la demanda del transporte, denominado el modelo de las cuatro fases; esto es, los modelos de generación de viajes, distribución de viajes, selección modal y asignación de viajes. Los tres primeros representan la abstracción de la demanda de viajes y el cuarto hace referencia al equilibrio entre la oferta y demanda. Este modelo clásico ha sido aceptado y utilizado por diversos profesionales que participan en la planificación del transporte en muchos países.

Una característica de las principales ciudades del mundo es su sobrepoblación; que incide en la creación de nuevos asentamientos y; por ende, nuevas vías de circulación. Además, los ciudadanos optan por el vehículo motorizado. Estos factores agudizan los problemas relacionados al transporte, a saber, la congestión vehicular y contaminación ambiental, (Neri Dominguez, 2013). Para paliar esta situación, en la actualidad se está fomentando modos de transporte alternativos, que sean amigables con el medio ambiente y compitan con los modos existentes. Uno de los modos que ha tomado relevancia en diferentes países del mundo, ha sido la *bicicleta*, por ser un transporte pulcro y eficiente; pero, su implementación está sujeta a muchos factores, uno de ellos es conocer la probabilidad de demanda de su uso; para ello, se requiere establecer una metodología a través de los modelos de elección discreta como parte de elección modal del modelo clásico de transporte. Este análisis se fundamenta en lo que afirma Islas Rivera et al. (2002), en que cada etapa del modelo clásico implica

decisiones para cada uno de los modelos, eso condiciona que cada decisión podría simularse de forma independiente en abstracciones secuenciales.

En Europa, una de las ciudades que ha tenido más compromiso con el uso de la *bicicleta* ha sido Sevilla. En el año 2007 se aprobó un plan para adoptar la *bicicleta*, donde se obtuvo como resultado un 6% de su elección modal.

En Latinoamérica, se está realizando grandes esfuerzos para promover el uso de la *bicicleta* como modo de transporte alternativo; eso lo refleja los 2513 km de infraestructura construida para su uso. En lo referente a la elección modal, la *bicicleta* aún está muy por debajo de los otros modos; una de las primeras ciudades en fomentar su uso es Bogotá, con una partición modal del 5%, convirtiéndola en el líder de América. Un 3,9% y 3,2% de elección modal le corresponden a Santiago de Chile y Río de Janeiro respectivamente (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).

En el caso de Perú, Lima solo alcanza un 0,3% de elección modal, cifra que representa uno de los índices más bajos en el uso de la *bicicleta* en Latinoamérica. Esta cifra se puede explicar bajo el análisis de dos factores; el primero es que, la infraestructura direccionada para el uso de la *bicicleta* no está integrada, y eso expone a los ciclistas a interactuar en ciertos espacios con los modos motorizados, exponiéndolos a algún tipo de accidente. El segundo factor es referente a la planificación; en la modelación de elección modal solo se incluyen variables referentes al diseño de infraestructura, excluyendo factores socioeconómicos y espaciales, (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017). Cabe acentuar que estas variables, así como las latentes se incluyen en la modelación de elección modal a través de los modelos de elección discreta.

En referencia a la región de La Libertad, el distrito de Víctor Larco Herrera es uno de los principales distritos de la provincia de Trujillo, donde no es ajeno a los problemas comunes de las diferentes ciudades de nuestro país; como son: la contaminación ambiental, la sobrepoblación, delincuencia, pésima infraestructura vial, congestión vehicular, entre otros. En lo que respecta a movilidad, los vehículos motorizados han copado las diferentes vías del distrito, dejando sin posibilidad a los vehículos menores como la *bicicleta*, pero, en gran medida esto se debe a la ausencia de una infraestructura adecuada para su uso.

Ante lo expuesto, surge la necesidad de implementar una red de infraestructura acondicionada para el uso de la *bicicleta* en el distrito de Víctor Larco Herrera, pero, los factores de viabilidad son muchos. En esta investigación se quiere conocer la probabilidad de demanda de los ciudadanos del distrito Víctor Larco Herrera sobre el uso de la *bicicleta*, es allí que recurrimos a los modelos de elección discreta para estimar la elección modal.

2.2. Enunciado del problema

¿Un modelo de elección discreta, puede medir el nivel de aceptación de implementar la *bicicleta* como modo de transporte alternativo a los modos tradicionales como el *taxi* y el *bus* en el distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo?

2.3. Justificación

Previo implementación de un sistema de infraestructuras para el uso de la *bicicleta*, se requiere realizar una evaluación socioeconómica, financiera, y técnica, que van a permitir la viabilidad del proyecto; y con ello, la toma de decisiones que valla acorde con el cumplimiento de los objetivos del proyecto. La realización de esta investigación, va a permitir conocer la probabilidad de

aceptación que tienen los ciudadanos de Víctor Larco Herrera por el uso de la *bicicleta*; para ello, se utilizará los modelos de elección discreta. Un nivel de aceptación importante implicará analizar otras alternativas como el diseño y la parte socioeconómica, caso contrario, el proyecto no es viable.

A su vez, este estudio servirá como base para futuras investigaciones, donde se pretenda conocer la demanda de viajes de una población respecto a un modo alternativo para su posterior implementación.

2.4. Hipótesis

Un modelo de elección discreta, mide el nivel de aceptación de implementar la *bicicleta* como modo de transporte alternativo a los modos tradicionales como el *taxi* y el *bus*, en el distrito de Víctor Larco herrera, Trujillo.

2.5. Objetivos

2.5.1. Objetivo General

Establecer un modelo de elección discreta, que mida el nivel de aceptación de implementar la *bicicleta* como modo de transporte alternativo a los modos tradicionales como el *taxi* y el *bus*, en el distrito de Víctor Larco herrera, Trujillo.

2.5.2. Objetivos Específicos

- Utilizar una técnica de diseño de experimentos, para construir una encuesta de preferencia declarada sobre elección modal.
- Realizar una encuesta de preferencia declarada a los ciudadanos de Víctor Larco Herrera sobre elección modal, considerando al *bus*, *taxi* y *bicicleta* como modos de transporte.

- Utilizar los modelos Logit multinomial como parte de los modelos de elección discreta para modelar la elección modal, en función de la demanda de transportes.
- Realizar la estimación de los modelos Logit multinomial con el software Biogeme de código abierto.
- Determinar la probabilidad de elección de cada alternativa, considerando variables relacionadas a los atributos de los ciudadanos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la Investigación

3.1.1. Antecedentes Internacionales

a). **Liñán Ruiz (2016)** en su investigación “Estudio y optimización de las infraestructuras de los carriles para bicicletas”, tiene como objetivo general la búsqueda de mecanismos que sirvan como sustento para proyectar y gestionar de manera eficiente las vías urbanas para acoger a la *bicicleta* como medio de transporte, teniendo como sostén a la modelación matemática a través de la programación lineal; para lo cual desarrolló un exhaustivo análisis del estado de arte relacionado con los fundamentos que señalen a la *bicicleta* como modo de transporte, afiliado a las causas que inspiran la disuasión del uso de *bicicleta* sin descuidar el confort y la seguridad del modo en cuestión. Para validar la investigación, se aplicó la modelación a cuatro casos reales donde, de manera general, se puede destacar los siguientes resultados:

- A través de la ejecución del programa que da solución a la modelación, se llega a identificar las vías de la ciudad de Málaga donde se adoptará los carriles destinados a la *bicicleta*.
- El programa logra identificar las distancias en cada uno de los nodos expuestos en la red, ello sirve como referencia para adoptar a dicho arco como viable para adoptar a la *bicicleta* como medio de transporte.
- En algunos arcos, a través de la modelación, se logra identificar algunas distancias con valores negativo; sustento suficiente para descartar a dicho arco como una futura vía para bicicletas.

- A través de la optimización de los recorridos, se logra obtener la lista completa de todos los arcos que albergarán a la *bicicleta* como modo de transporte.

El principal aporte al trabajo de investigación es tener a disposición un abanico de modelos que han sido puesto en prácticas en diferentes países desarrollados con resultados positivos y servirán para la planificación y diseño de infraestructuras viales urbanas, direccionadas al uso de *bicicleta*. Además, a través de encuestas, reconocer las características que tienen impacto en la apreciación de los diferentes beneficiarios y, en este caso con una cultura diferente a la nuestra. Esta información permitirá adaptar ciertas medidas a esta investigación en curso.

b). Romero Junquera (2013) en su investigación “Modelos de optimización para planificación y gestión operativa de sistemas de *bicicleta* pública”, se propuso como objetivo principal, abastecer a los planificadores con herramientas con asidero en la ciencia y a partir de ello cambiar el paradigma de interpretaciones subjetivas. Dichas herramientas tienen como fundamento la modelación matemática; enfocados en la maximización de la demanda de usuarios respecto a la *bicicleta* y la minimización de los costos de traslado, para lo cual desarrolló, una idealización de la interacción de los diferentes modos de transporte, con la finalidad de ver el efecto que tiene la *bicicleta* como modo de transporte en una nube de vehículos motorizados. La investigación llegó a los siguientes resultados:

- La adaptación de los carriles bici en el sistema vial, llevará a mayores usuarios a este sistema, habiendo un cambio en el modo de transporte en lugares de distancias cortas.

- El punto de ubicación de los lugares de préstamos debe estar en un lugar estratégico, ya que es una variable importante a la hora de maximizar la demanda del uso de bicicletas públicas.
- Considerar la optimización con funciones multiobjetivo; maximizando la demanda de usuarios y la minimización de costo de traslado.

El principal aporte al trabajo de investigación es que, los modelos de simulación permiten interactuar a la *bicicleta* con los demás modos de transporte reflejando la fortaleza y debilidades y eso implica a la hora de tomar decisiones a los que planifican el transporte. Se espera adaptar a la investigación que se está realizando en este proyecto, obviamente, con los matices pertinentes de nuestra cultura Libertena.

c). Salas Venegas (2018) en su investigación “El uso de la *bicicleta*: Reproductor del acceso desigual a la movilidad cotidiana urbana caso de Santiago”, tiene como objetivo principal, analizar el por qué los planificadores de infraestructura vial en la ciudad de Santiago de Chile, no le brindan herramientas a la *bicicleta* para poder competir con los modos de transporte motorizados, dejándola discriminada en el análisis selectivo de las personas para considerarlo como medio de movilidad urbana. Para poder cumplir con lo planificado, él autor desarrolló diversas estrategias basado en la observación, entrevistas, visitas in situ a diferentes zonas de la ciudad, así como también, el análisis de la falta de compromiso de las autoridades en crear políticas públicas que ayuden a introducir a la *bicicleta* en el espectro de los modos disponibles.

En la investigación se llegó a los siguientes resultados:

- Relación directa entre la demanda del uso de la *bicicleta* con la infraestructura que presenta la ciudad.
- La construcción de ciclovías representa un factor importante en el fomento del uso de la *bicicleta* por la seguridad que brinda en el recorrido.
- Escasa calidad de cultura en los ciudadanos es un factor que impide adaptarse al uso de un modo de transporte eco amigable como es la *bicicleta*.

El principal aporte que brinda a la investigación es, observar el uso de la *bicicleta* desde una perspectiva diferente, basado en la desigualdad socio-económica y cultural de las personas, así como también; la relación que existe entre la infraestructura vial y la elección de la *bicicleta* como modo de transporte.

3.1.2. Antecedentes Nacionales

a). Guevara Estrada et al (2018), en su investigación “Propuesta de diseño de ciclovías en Lima Metropolitana mediante la optimización de flujo de redes”, tiene como objetivo general, incorporar a la *bicicleta* como medio de transporte a través de un sistema de redes de ciclovías, esto permitirá paliar la congestión vehicular que agobia a nuestra capital, Para tal efecto, desarrolló una metodología que tiene como sustento la programación matemática lineal con el algoritmo de solución de Floyd- Marshall; donde las restricciones consideradas son: pendientes de vías, aparcamiento de bicicletas, costos operativos, normatividad vigente entre otros.

Los investigadores exhortan a seguir las siguientes recomendaciones:

- Al momento de poner en ejecución la construcción de red de ciclovías, se tiene que optimizar en lo posible el tiempo de ejecución, con la finalidad de evitar la congestión vehicular.
- Considerar en el diseño de las ciclovías todo lo que manda la normatividad vigente, agudizando en las señales de tránsito con la finalidad que se garantice la seguridad de los ciclistas.
- Toda restricción complementaria que se quiera incorporar al sistema, debe ser evaluada por el modelo en análisis, que tiene como efecto una proyección a largo plazo y no como un paliativo temporal, que muchas veces son subjetividades de acorde a la circunstancia social del momento.

El principal aporte al trabajo de investigación es contar con diferentes algoritmos de solución de optimización de redes; como es el caso de, algoritmo de árboles de flujo, algoritmo de Floyd- Marshall, métodos metaheurísticos, optimización binivel, entre otros.

b). Sevillano Zavala (2019) en su investigación “Plan rector y diseño conceptual de red de ciclovías para el distrito de Piura”, se propuso como objetivo principal, proponer un modelo de encuesta que se propague por diversas ciudades urbanas de Piura, con la finalidad de conocer su conformidad o no con la propuesta de un plan maestro conceptual en el distrito de Piura. Para lograr con el objetivo planteado, tuvo que desarrollar un tipo de encuesta que tenga relación con la movilidad y, corroborar su participación de los encuestados con un modelo de declaración jurada, para no caer en declaraciones falsas y aumento del porcentaje de error en los resultados.

Tras una investigación profunda sobre el tema, el autor llegó a los siguientes resultados:

- El 93% de los encuestados está de acuerdo con la implementación de ciclovías en la ciudad.
- El 60% considera que el transporte en *bicicleta* disminuirá el uso del vehículo motorizado.
- El 94% considera que el uso de la *bicicleta*, tendrá un efecto positivo en su salud.
- El 96% considera que las autoridades fomenten información sobre el funcionamiento de ciclovías y sobre el uso de la *bicicleta*.

El principal aporte al trabajo de investigación es el modelo de encuesta de preferencias declaradas que se realizó a la gente de la zona urbana de Piura; además, los excelentes resultados que arrojó la encuesta sobre la aceptación de ciclovías y la *bicicleta*; eso refleja que es un buen indicador a lo que se propone realizar en el distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo.

c). Rodríguez Anticona (2019) en su investigación “Mejora de los indicadores de tráfico y satisfacción de los viajeros en hora de congestión vehicular mediante el diseño de una red de ciclovías con programación matemática en Lima Metropolitana” tuvo como objetivo principal, la búsqueda de factores que lleven a los viajeros en Lima a estar satisfechos del uso de la *bicicleta* en una red de ciclovías, para lo cual desarrolló un modelo matemático basado en la programación lineal, adaptando factores tales como, restricciones del problema, distancia entre nodos, diferencias entre género, seguridad, etc. El software utilizado es, CPLEX con el lenguaje de programación AMPL.

El principal resultado de esta investigación es que, las ciclovías actuales no tuvieron una buena planificación y careció de carácter técnico a la hora del diseño; Actualmente están construidas 141 km de las mismas, pero, no están conectadas entre sí. Con la optimización matemática, solo hubiese sido necesario construir 96 km, que representa el 68% de las ciclovías actuales para que actúen eficientemente.

El aporte al trabajo de investigación es, la obtención de herramientas con asidero en la programación matemática que se puede aplicar a diferentes zonas urbanas del Perú a la hora de planificar y diseñar una infraestructura vial. En nuestro caso, servirá como referencia de análisis, porque tenemos que adaptarlo a las características propias del distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Planificación y modelos de transporte

Según Liñán Ruiz (2016), los diversos cambios de progreso y transformación que han experimentado las ciudades en los últimos tiempos, así como sus características urbanísticas, es muy notorio; donde, el transporte ha jugado un papel fundamental ya que es una necesidad cotidiana en las personas desplazarse de un lugar a otro para realizar alguna actividad en particular. No obstante, “el desarrollo de las ciudades modernas ha traído como un aspecto inherente, la aparición o agudización de diversos inconvenientes cuya complejidad hace necesario un estudio científico a efectos de darles solución” (Neri Dominguez, 2013, p. 9). Estos problemas que acarrea el transporte, siempre fueron evaluados en la planificación del mismo, sin llegar a resultados exitosos; hoy, aún cuando las técnicas que se utilizan en la planificación han experimentado

avances importantes, las anomalías son más visibles. Para Ortúzar Salas (2012), en las últimas décadas los principales problemas relacionados al transporte son: congestión vehicular, accidentes de tránsito, contaminación urbana y el escaso financiamiento en el transporte público. Estos problemas son el resultado de una escasa inversión, trabajo a corto plazo y la poca participación de la modelación en la planificación del transporte. En lo referente a la modelación, el escepticismo surgía por el poco avance de la computación, ya que el procesamiento de datos demandaba de mucho tiempo y a un costo elevado; en la actualidad, la computación y la electrónica han avanzado a pasos de gigantes por lo que hoy, ya no es un problema para el planificador, sino el problema recae en el capital humano y las técnicas que se utiliza; por ello, se requiere de profesionales capacitados que utilicen técnicas sólidas donde la modelación sea una herramienta fundamental en la planificación.

3.2.1.1. Planificación.

El concepto de planificación de transporte se define como un proceso integrado. Este proceso se fundamenta en dos componentes importantes: la producción de información eficiente sobre alternativas de acciones y sus efectos, y la proyección en el futuro. En el primer caso, para que cada información producida sea relevante en la toma de decisiones, tiene que pasar por la aprobación de los evaluadores técnicos, posterior a ella su aplicación dependerá de los funcionarios a cargo de la toma de decisiones de acuerdo al orden jerárquico que pertenecen. En el segundo componente, quién toma relevancia es la incertidumbre respecto a las variables que intervienen en el problema, pues a partir de ella se originan diversas posibilidades de ocurrencia. Cabe mencionar

que la medición de la incertidumbre es directamente proporcional a los plazos de la planeación; es decir, a mayor plazo, mayor incertidumbre, en estos casos se puede aplicar una planeación estratégica o táctica (Subsecretaría de desarrollo urbano y ordenación del territorio, 2001).

3.2.1.1.1. Proceso de planificación del transporte urbano.

La literatura referente al transporte en el Perú es muy escasa, es por ello que para entender este vital concepto debemos recurrir a Subsecretaría de desarrollo urbano Ordenación del territorio (2001), donde nos dice que, el proceso de planeación del transporte, se entiende como la interacción entre diversas actividades continuas que tienen como finalidad resolver los diversos problemas a causa del funcionamiento del sistema del transporte. Las principales fases ligadas al proceso de planeación son las siguientes:

- Identificación del problema
- Establecer los objetivos del proceso
- Generar alternativas de solución
- Evaluar la eficacia de las alternativas de solución
- Optimizar y seleccionar las alternativas de solución
- Aplicar la alternativa óptima
- Control de la evolución del proceso e identificando nuevas anomalías.

3.2.1.1.2. Disponibilidad y organización de la información.

Uno de los factores importantes en el proceso de planeación del transporte es la generación de información eficiente en la toma de decisiones, por tal motivo, dicha información debe estar disponible, actualizada y organizada para la consulta

rápida y probablemente aplicable por los encargados de la toma de decisiones (Subsecretaría de desarrollo urbano y Ordenación del territorio, 2001).

3.2.1.1.3. *Proyección en el futuro.*

El factor más importante y complejo en el proceso de planeación es proyectarse en el futuro, ya que tiene como consecuencia la aparición de la incertidumbre.

En la planeación del transporte urbano el grado de complejidad se agudiza aún más, ya que se debe proyectar con variables socioeconómicas, estimar tasas de crecimiento, y sobre todo plantearse premisas de distribución espacial (Subsecretaría de desarrollo urbano y Ordenación del territorio, 2001).

3.2.1.2. Modelos.

Para Ortúzar Salas (2012), los modelos son una representación abstracta, visual o conceptual de la parte más importante de un fenómeno o hecho real, es un aislamiento de la parte más esencial a un espacio donde es compatible con teorías de estructura definida, donde se reduce su forma, se identifica las variables existentes para poder entenderla y definirla de manera óptima para el análisis. Existen diversos tipos de modelos, destacando entre ellos los modelos físicos y los modelos abstractos.

- **Modelos físicos**, se entiende aquellos que representan a escala algún fenómeno real y son visibles y palpables; ejemplos de ellos: maquetas arquitectónicas, maquetas de represas, maquetas de diques portuarios etc. Estos modelos son aplicables a fenómenos físicos pero quedan confinados o enmarcados a merced del diseño.

- **Modelos abstractos**, son aquellos tipos de modelos que el fenómeno real se representa por símbolos o ecuaciones algebraicas, relacionando cierto tipo de variables para investigar el comportamiento del fenómeno.

En el campo del transporte, los modelos que se utilizan son los modelos abstractos, en particular los modelos matemáticos, donde se representa la parte sustancial del fenómeno a través de ecuaciones matemáticas para entender su comportamiento a través de ciertas hipótesis teóricas (Ortúzar y Willumsen, 2008).

Según Ortúzar Salas (2012), los modelos matemáticos se clasifican en: modelos predictivos y modelos normativos. En referencia a los modelos predictivos, estos son aquellos donde existe cierta relación de implicancia entre sus variables con el objetivo de que exista algún tipo de relación funcional y quede enmarcado en el tiempo. En lo referente a los modelos normativos, estos son aquellos que se construyen con el objetivo de generar ciertos indicadores cuantitativos acerca del comportamiento del sistema frente a metas establecidas.

3.2.1.2.1. Formulación de modelos.

La formulación de los modelos se genera de acuerdo al objeto o fenómeno que se está analizando, según Ortúzar Salas (2012), de manera general un modelo se diseña de la siguiente forma:

- Definir los objetivos del modelo.
- Identificación de las variables independientes y dependientes y la relación de causalidad entre ellas.
- Control del tiempo.

- Hipótesis que se está personificando en el modelo.
- Técnicas matemáticas aplicables al modelo.
- Métodos de calibración del modelo.
- Métodos de validación del modelo.

3.2.1.2.2. Enfoque de los modelos.

Los modelos de manera general son abstracciones de la parte sustancial de un fenómeno o hecho real; pero, ¿Cómo seleccionar un modelo de acorde a la problemática del transporte? La respuesta a esta interrogante, requiere en primer lugar resaltar ciertos aspectos de la problemática del transporte y a partir de ello, identificar los aspectos vulnerables para adaptar un modelo de acorde a cumplir los objetivos trazados.

Para Ortúzar y Willumsen (2008), en la actualidad no existe distinción en la problemática del transporte tanto en países desarrollados, como países emergentes. Hace unas décadas el combustible no era un problema en el transporte y la discusión se centraba en, la congestión, accidentes, contaminación, *tiempo de viaje*. Estos problemas se agudizan por dos factores importantes: crecimiento económico e incremento poblacional, componentes que han producido una desigualdad entre la oferta y la demanda de transporte. Si ha los problemas mencionados le agregamos la escasa planificación y la ausencia de la modelación en la misma, transcurrirán muchos años más y el problema de agudizará aún más. Para Ortúzar y Willumsen (2008), las características que deben primar para la aceptabilidad de un enfoque de modelación, son las siguientes:

- El marco de la toma de decisiones.
- Precisión.

- Disponibilidad de datos.
- Marco referencial de la modelación.
- Disponibilidad de recursos.
- Software para procesar datos.
- Analistas calificados.

3.2.1.2.3. Especificación de los modelos.

Para Ortúzar y Willumsen (2008), la especificación de los modelos está estructurada por los siguientes pasos:

- Composición del modelo.
- Elección de funciones multilineal.
- Elección de variables.

3.2.1.2.4. Calibración y validación de los modelos.

Los modelos abstractos, en particular los modelos matemáticos pueden representarse como una aplicación matemática de varias variables, a decir:

$$Y = f(X, \beta)$$

Donde “X” representa las variables inmersas en el modelo y “B” los parámetros.

Para Ortúzar y Willumsen (2008), la calibración de un modelo necesita que los valores que asume los parametros “B” sean distintos de cero, con la finalidad de seleccionar la medida idónea que sirva como aplicación de los datos observados. En lo referente a la validación del modelo, esta necesita contrastar sus predicciones con información no procesada durante la secuencia lógica del proceso. Debe quedar definido que este procedimiento implica mayores recursos y un análisis exhaustivo del modelo.

3.2.2. La oferta del transporte

La oferta del transporte se fundamenta en la interacción de dos componentes fundamentales del sistema de transporte: la infraestructura o vialidad y los diversos vehículos de transporte que utilizan esta infraestructura para transitar (Subsecretaría de desarrollo urbano y Ordenación del territorio, 2001).

Una de las características principales de la oferta del transporte es que, es considerada como un servicio; eso implica que se debe utilizar en el momento y lugar que se produce, caso contrario perdería su valor. Esta última afirmación fortalece la importancia de la planificación en el sistema de transporte, ya que se debe tener una estimación precisa de la demanda de transporte para que así ajustar la oferta a ella e impidiendo el gasto innecesario de los recursos de un país (Ortúzar y Willumsen, 2008).

3.2.2.1. Vialidad o infraestructura.

Según Cal et al.(2007), a las carreteras y calles se puede etiquetar en tres categorías diferentes de acuerdo a su funcionalidad:

- Vías principales o arterias
- Vías secundarias o colectoras
- Vías locales

Esta clasificación es de vital importancia en el proceso de planeación del transporte, ya que permite distinguir a las carreteras y calles de acuerdo a su funcionalidad o en el servicio que va a ofrecer posterior a su ejecución.

3.2.2.2. Transporte público.

El transporte público es otro factor importante en la planificación del transporte. En Latinoamérica, los recursos económicos de cada país son bajos en comparación con países desarrollados; es por ello que se debe aplicar políticas eficientes en referencia al sistema vial. La mejor forma de cristalizar la mejora en el sistema vial es que el número de viajes sea inversamente proporcional a la cantidad de personas; es decir, a mayor cantidad de personas transportadas se debe de utilizar la menor cantidad de vehículos (Subsecretaría de desarrollo urbano y Ordenación del territorio, 2001).

El Perú, de forma general goza de un sistema político muy volátil, los diversos partidos políticos actúan en concordancia con sus beneficios y no se orientan hacia el bienestar de la población. En lo referente al transporte, las políticas utilizadas son mínimas; los vehículos adolecen de servicio de mantenimiento, vehículos antiguos, paraderos informales, reglamentación inapropiada, etc. Estas características merecen aun amplio análisis y a partir de ello realizar una reingeniería total en el sistema de transporte.

3.2.2.3. Redes de transporte.

3.2.2.3.1. Teoría de grafos

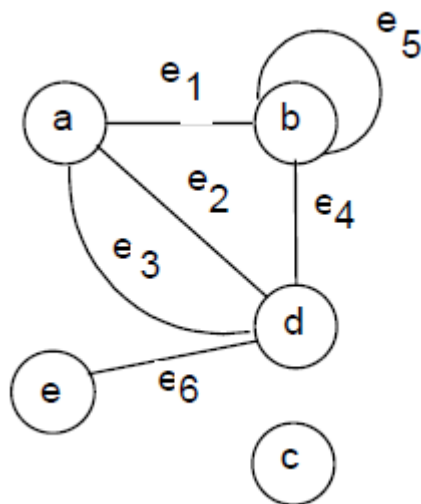
Definición de Grafo. Un grafo $G = (V, E)$ está constituido por dos conjuntos finitos V y E . Los elementos de V son llamados *vértices o nodos* del grafo y los elementos de E son pares de vértices denominados *lados* y se le denota por $e = (u, v)$ donde u y v están en V (Meza H. y Ortega F., 2004).

Se dice que el grafo $G = (V, E)$ es *no dirigido* cuando los elementos de E son no ordenados y se les asigna el nombre de *aristas*; se representa por puntos y líneas.

Para tener una interpretación geométrica de un grafo no dirigido, consideremos un grafo $G = (V, E, \rho)$, donde $V = \{a, b, c, d, e\}$ y $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$, entonces el grafo no dirigido generado por V y E se representa en la figura 1.

Figura 1

Grafo no Dirigido



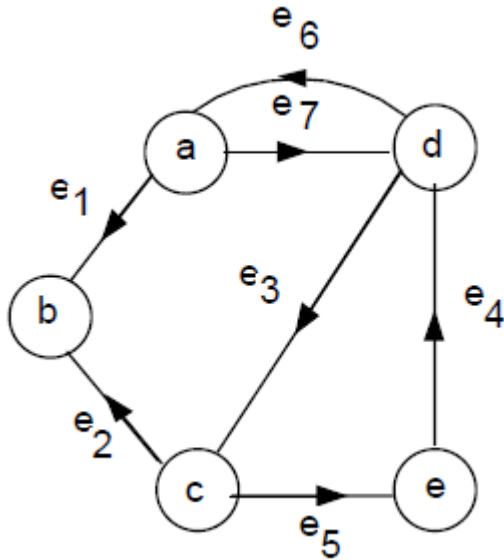
Fuentes: (Meza H. y Ortega F., 2004).

Por otro lado, el grafo $G = (V, E)$ se dice que es *dirigido* cuando los elementos de E son ordenados y se les asigna el nombre de *arcos*, su representación está dado por puntos y flechas. A este tipo de grafo también se le conoce como *dígrafo* (Meza H. y Ortega F., 2004).

Para tener la representación de un grafo dirigido, consideremos un grafo $H = (W, F, \varphi)$, donde $W = \{a, b, c, d, e\}$ y $F = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7\}$, entonces el grafo dirigido generado por W y F se representa en la figura 2.

Figura 2

Grafo Dirigido



Fuente: (Meza H. y Ortega F., 2004).

El concepto de grafo constituye la base de la teoría de redes que se utilizará para representar a la oferta en el proceso de planificación del transporte; por eso, es menester conocer de las diversas definiciones y propiedades que cumplen sus elementos. Según Meza H y Ortega F. (2004) las más importantes son las siguientes:

- Si G tiene n vértices entonces se dice que G es de orden n .
- Cada uno de los nodos que conforman un lado del grafo se llama extremo del lado
- Si el grafo G es dirigido, entonces, si $e = (v_1, v_2)$ es un arco del grafo, el nodo v_1 se llama extremo inicial y el nodo v_2 se llama extremo final.

- A dos nodos de un lado del grafo G se les dice adyacentes. Así mismo un lado es incidente en cada uno de sus extremos. De la misma forma dos lados que poseen un mismo vértice, se les dice adyacentes.
- Si G es dirigido, los sucesores de un vértice v_1 son los vértices terminales de los arcos cuyo extremo inicial es v_1 los predecesores son los vértices iniciales de los arcos con vértice terminal v_1 .
- Se llama vecindad o conjunto de adyacencias de un nodo v_1 , al conjunto de nodos adyacentes a v_1 .
- Un lazo o bucle es un lado cuyos dos extremos coinciden.
- El grado de un vértice v de G , denotado por $d(v)$, se define como el número de lados incidentes en v , donde un lazo se considera doblemente incidente.
- Se llama grafo simple a un grafo sin bucles ni lados múltiples. Así también, se dice que un grafo es multígrafo si tiene al menos un lado múltiple.
- El grado interior de v denotado por $d^-(v)$, se define como número de arcos de G cuyo extremo inicial es v .
- El grado exterior de v denotado por $d^+(v)$, se define como número de arcos de G cuyo extremo final es v . Por tanto, $d(v) = d^-(v) + d^+(v)$

Proposición 1. Dado un grafo $G = (V, E)$, se cumple:

$$|E| = (\sum_{v \in V} d(v))/2, \text{ además si } G \text{ es dirigido, se cumple:}$$

$$|E| = \sum_{v \in V} d^+(v) = \sum_{v \in V} d^-(v) \quad [1]$$

Proposición 2. En todo grafo, el número de vértices de grado impar es par

(Meza H. y Ortega F., 2004).

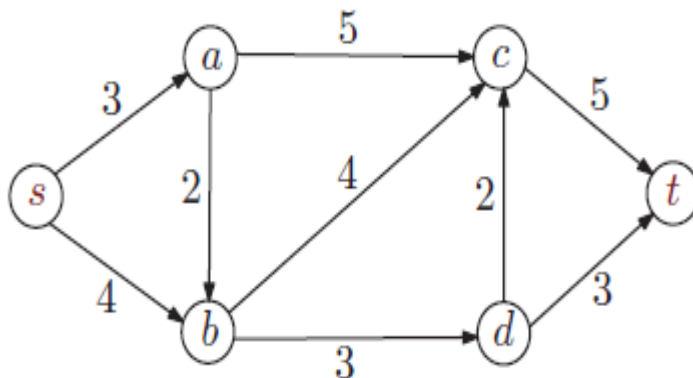
3.2.2.3.2. Teoría de redes.

Una red $R = (G, s, t, \rho)$ es una cuaterna, donde: $G = (V, E)$ es un dígrafo sin bucles conexo, con dos vértices s y t y una aplicación ρ . El vértice s llamado, *origen o fuente* que no tiene arcos entrantes y, un vértice t designado, *destino o sumidero*, donde no tiene arcos salientes. La aplicación ρ es una función $\rho: E \rightarrow R^+$ que puede representar magnitudes tales como distancia, costo, capacidad, etc. (Meza H. y Ortega F., 2004).

Para tener una representación gráfica de una red de transporte, consideremos un dígrafo $G = (V, E)$, donde $V = \{s, a, b, c, d, t\}$ representa los diferentes paraderos de una ruta de circulación de un *bus* de transporte público, con s su terminal de salida y t su terminal de llegada, además $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9\}$ representa a las vías que une cada nodo. Por otro lado, consideremos a la función costo ρ como el costo que representa moverse de un punto a otro, es decir: $\rho: E \rightarrow R^+$, talque $\rho(e_1) = 3, \rho(e_2) = 4, \rho(e_3) = 2, \rho(e_4) = 5, \rho(e_5) = 4, \rho(e_6) = 3, \rho(e_7) = 2, \rho(e_8) = 5, \rho(e_9) = 3$, entonces queda representado en la figura 3:

Figura 3

Red de Transportes

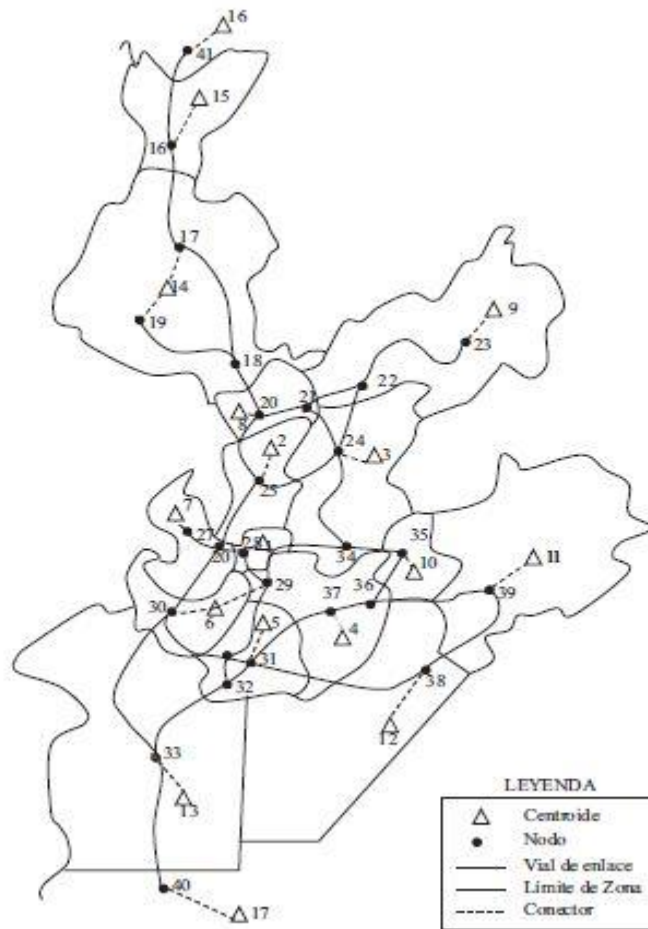


Fuente: (Meza H. y Ortega F., 2004).

Una interpretación gráfica aplicado a un sistema de vías se puede apreciar en la figura 4:

Figura 4

Red de Carreteras



Fuente: (Ortúzar y Willumsen, 2008).

3.2.3. Demanda del transporte

Una de las partes más importantes en el proceso de planificación del transporte es la búsqueda de herramientas a través de la representación abstracta de la demanda de viajes. Según Ortúzar Salas (2012) a mediados del siglo pasado, surgió una metodología de modelación de la demanda del transporte con soporte

en los modelos matemáticos predictivos, catalogado como el modelo de las cuatro fases; a saber, modelos de generación de viajes, distribución de viajes, selección modal y asignación de viajes. Los tres primeros representan la modelación de la demanda de viajes y el cuarto representa el equilibrio entre la oferta y demanda. Este modelo clásico ha sido aceptado y utilizado por diversos profesionales que participan en la planificación del transporte en muchos países.

3.2.3.1. Modelo clásico de transporte.

Los avances en la modelación del transporte han permitido desarrollar una metodología que estima la demanda del transporte y, que representa a través de arcos y nodos a la infraestructura como elemento de la oferta. Esta metodología es denominada el modelo clásico de transporte y está estructurada en cuatro fases: los modelos de generación de viajes, distribución de viajes, selección modal y asignación de viajes. Los tres primeros representan la abstracción de la demanda de viajes y el cuarto hace referencia al equilibrio entre la oferta y demanda. Este modelo clásico ha sido aceptado y utilizado por los diversos profesionales que participan en la planificación del transporte en muchos países.

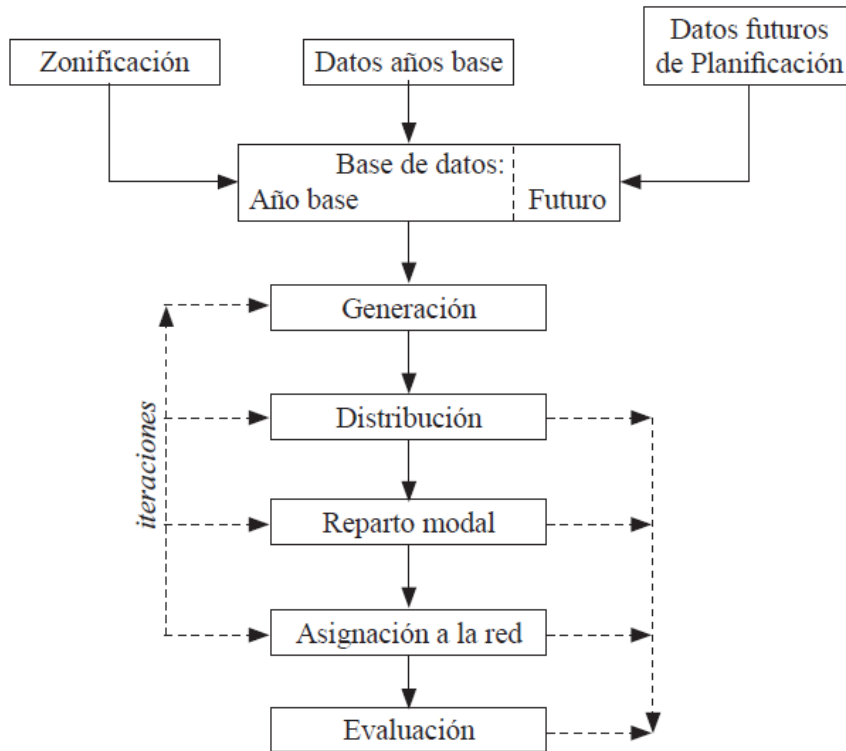
Según Ortúzar y Willumsen (2008), para establecer las cuatro fases del modelo clásico se requiere ciertas acciones previas, tales como:

- Delimitación del área de estudio
- Zonificación del área de estudio
- Elaboración de un sistema de red multimodal
- Recolección y codificación de datos
- Calibración
- Validación

La estructura del modelo clásico queda representada en la figura 5:

Figura 5

Modelo Clásico de Transportes



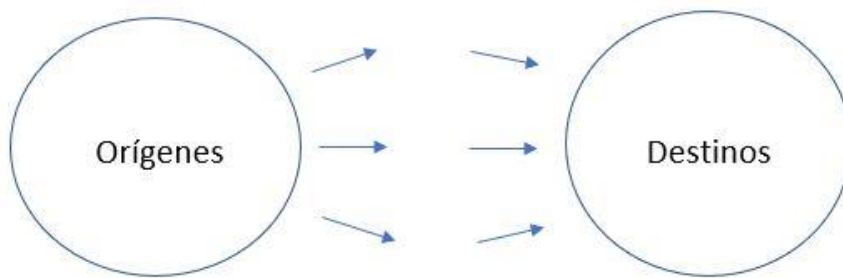
Fuente: (Ortúzar y Willumsen, 2008).

3.2.3.1.1. Modelos de generación de viajes

Los modelos de generación de viajes son los que otorgan la estimación total de la demanda del transporte; esto se puede desagregar en la predicción del número de viajes generados desde un origen y los viajes atraídos desde un destino por cada zona del área en análisis y su entorno, la interpretación gráfica la podemos observar en la figura 6:

Figura 6

Orígenes y Destinos



Fuente: Elaboración Propia

Estos modelos se fundamentan en diversas variables independientes que se obtienen de la interacción de las actividades económicas en el área de estudio

Según Ortúzar y Willumsen (2008), otra forma de predecir la cantidad de viajes de origen y destino en una zona es analizar la probabilidad de que un individuo realice cierto número de viajes en un tiempo determinada. Este tipo de situaciones es analizado por los modelos de elección discreta.

3.2.3.1.2. Modelos de distribución de viajes

En la primera fase del método clásico de transportes, los modelos de generación de demanda son los que predicen el número de viajes generados desde un origen y los viajes atraídos desde un destino por cada zona de un área geográfica específica. Los modelos de distribución de viajes representan la fase dos de la metodología clásica y su objetivo es evaluar la distribución de los orígenes y destinos de los viajes en la zona de estudio.

Según Ortúzar y Willumsen (2008), la estimación del número de viajes generados desde un origen y atraídos en una zona específica, se puede representar en una matriz denominada, matriz de distribución, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Matriz de Distribución

Estructura general de una matriz de viajes bi-dimensionales						
Orígenes	Destinos					$\sum_j T_{ij}$
	1	2	3	...j	...z	
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	... T_{1j}	... T_{1z}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	... T_{2j}	... T_{2z}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	... T_{3j}	... T_{3z}	O_3
⋮						
i	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	... T_{ij}	... T_{iz}	O_i
⋮						
z	T_{z1}	T_{z2}	T_{z3}	... T_{zj}	... T_{zz}	O_z
$\sum_i T_{ij}$	D_1	D_2	D_3	D_j	... D_z	$\sum_i T_{ij} = T$

Fuente: (Ortúzar y Willumsen, 2008)

De la tabla 1, se cumple lo siguiente:

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i \quad [2]$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = D_j \quad [3]$$

3.2.3.1.3. Modelos de partición modal.

Los modelos de partición modal representan la fase más importante del modelo clásico de planificación del transporte con injerencia directa en la toma de decisiones. El objetivo principal de estos modelos es cuantificar los modos de transporte que se utilizan en los viajes de una zona inicial a una zona final, quedando exentas las vías existentes. Estos modelos se caracterizan porque la selección del modo se condiciona a las diferentes variables individuales de los usuarios.

Según Ortúzar y Willumsen (2008), la elección de un modo de transporte está condicionado a ciertos factores que adoptan variables socioeconómicas de los individuos. En un contexto general, los factores mencionados se clasifican en tres categorías y tienen como base las cualidades que presentan los usuarios, los viajes

(desplazamientos) y los medios de transportes. A continuación, se mencionan los factores más importantes de cada grupo:

a. Cualidades del usuario

- Disposición de automóvil
- Licencia de conducir
- Estructura y composición del hogar
- Nivel socioeconómico y cultural

b. Cualidades del desplazamiento

- Finalidad de desplazamiento
- Fracción del día que se realiza el desplazamiento
- Distancia entre el punto de partida y de llegada del desplazamiento
- Probabilidad de realizar el desplazamiento

c. Cualidades del medio de transporte

- Tiempo de permanencia en el vehículo por motivo del viaje
- Costos que intervienen en la realización del viaje
- Tiempo de espera relativo al viaje
- Seguridad y confort
- Accesibilidad y seguro contra accidentes.

Existen varios modelos que resuelven el problema de elección modal dentro del proceso de planificación; estos se clasifican en: agregados y desagregados. Los modelos agregados se fundamentan en la información obtenida a nivel zonal e interzonal y también incorporan las características de los factores de desplazamiento y de los medios de transporte; sin embargo, no se profundizan o queda exento en su análisis las cualidades individuales de los usuarios. Por otra

parte, los modelos desagregados se caracterizan por enfocarse en los datos individuales y familiares de los usuarios e incorporan en su análisis todos los factores mencionados que influyen en la elección del modo.

En esta investigación se busca medir la probabilidad de aceptación que tendrá la incorporación de la *bicicleta* como modo de transporte en un futuro no muy lejano y para ello es necesario determinar las decisiones individuales de los ciudadanos del distrito de Víctor Larco Herrera a la hora de elegir un modo. Por lo tanto, para efectos de esta tesis se utiliza un modelo de elección discreta que pertenece a los modelos desagregados.

3.2.3.1.4. Modelos de asignación de viajes.

Los modelos de asignación de viajes corresponden a la última fase del método clásico de planificación del transporte. En esta fase lo que se busca es seleccionar en un espectro de rutas, aquellas que minimicen los costos y tiempos de traslado para asignar los diversos viajes que ocurren en zonas específicas bajo algún modo seleccionado. Los viajes y los modos son aquellos que se obtuvieron en los modelos de distribución de viajes y partición modal respectivamente.

Esta última fase es quizás la más compleja y laboriosa del modelo clásico del transporte; es decir, los modelos establecidos proporcionan estimaciones de flujo de tráfico en rutas estratégicas con la finalidad de proporcionar una base de datos para contrastar sistemas de información a mediano y largo plazo.

3.2.4. Modelos de elección discreta

Los modelos de elección discreta se caracterizan por describir la elección que realizan ciertos individuos frente a un conjunto finito de alternativas. Esta elección se fundamenta en las diversas características o atributos que ofrecen las

alternativas a elegir. De manera general, los modelos de elección discreta afirman que: “la probabilidad de que los individuos elijan una determinada alternativa es función de sus características socioeconómicas y de la relativa atractividad de la alternativa” (Ortúzar y Willumsen, 2008, p. 330). Cabe resaltar que estos modelos, en la génesis de su creación se aplicaron con exclusividad a la elección modal; pero, debido a su versatilidad, en la actualidad se ha extendido a diversos campos donde se quiere analizar la demanda de los individuos, tales como en marketing, economía, o cualquier otra situación que haya que escoger un elemento en un conjunto de alternativas finitas (Islas et al, 2002). En esta investigación nos centraremos en estudiar su aplicación en el campo del transporte, específicamente en la elección modal.

Según Train (2009) los modelos de elección discreta se utilizan para describir el comportamiento de elección de los individuos frente a un conjunto finito de alternativas con cierto grado de competencia entre ellas. Estas alternativas que pertenecen a un conjunto de elección gozan de ciertas características, tales como:

- **Mutuamente excluyentes.** El individuo hace un análisis de los atributos de las diferentes alternativas para tomar la decisión de escoger solo a una de ellas; es decir, el resto quedan exentas.
- **Exhaustivas.** Todas las alternativas están disponibles para ser elegidas; pero, es competencia del individuo seleccionar una de ellas.
- **Finitas.** Esto es una cualidad inherente a los modelos de elección discreta y que los distingue de otros modelos. Las alternativas de

selección deben ser finitas; es decir, el individuo tiene la capacidad de contarlas en un tiempo prudente.

La característica principal del conjunto de elección de los modelos de elección discreta es que sean finitas, característica que los distingue de los modelos de regresión. Estos últimos, se caracterizan por tener la variable dependiente continua; eso implica que los resultados van a ser no finitos (Train, 2009).

Para la aplicación de los modelos de elección discreta se debe tener en cuenta ciertas consideraciones.

3.2.4.1. Consideraciones para la aplicación de los modelos de elección discreta

- Deben existir individuos pertenecientes a una población homogénea, quienes tomarán las decisiones de elección. En nuestro caso, la población será los ciudadanos pertenecientes al distrito Víctor Larco Herrera, Trujillo.
- Características o atributos de los individuos. En esta investigación se ha considerado las siguientes características: el nivel socioeconómico, tales como el sexo, nivel de ingresos mensuales, grado de educación y la edad en escalas.
- Alternativas de elección. Para efectos de esta investigación se ha considerado tres alternativas: el *taxi*, el *bus* y la *bicicleta*.
- Cualidades o características de las alternativas.

3.2.4.2. La Función Utilidad

Según Ortúzar y Willumsen (2008), la utilidad representa los atributos o la atractividad de las alternativas de elección y, es justamente lo que el usuario intenta maximizar; supuesto que originan a los modelos de elección discreta. Cabe resaltar que las alternativas por si misma no generan utilidad sino que la utilidad es consecuencia de las propiedades o características de las alternativas y de las características socioeconómicas de los individuos.

A modo de ejemplo, la utilidad medible u observable de una alternativa cualesquiera de un conjunto de elección lo podemos representar de la siguiente forma:

$$V_{taxi} = 0.3 - 1.3IVT - 2.6ACC - 0.6 * \frac{c}{l} + 2.2 n. taxi \quad [4]$$

Donde, cada variable representa un atributo del usuario o de las alternativas de elección. Con respecto a los coeficientes de dicha ecuación; ellos representan la influencia relativa de cada atributo; es decir, el aporte positivo o negativo que cada variable da a la satisfacción del viaje. La constante modal 0.3, es denominada “ constante específica de la alternativa” y representa la influencia de los atributos del individuo o de las alternativas no observables, tales como: seguridad, confort; estas variables son muy complejas de observar o medir.

En la ecuación [4], se planteó la ecuación para una alternativa en particular: el *taxi*. Ahora se generalizará para cualquier alternativa de un conjunto de elección. Se postula la siguiente ecuación:

$$V_m = \beta C_m + \beta_1 q_{m1} + \beta_2 q_{m2} + \beta_3 q_{m3} + \dots + \beta_k q_{mk} \quad [5]$$

O también:

$$V_m = \beta C_m + \sum_i \beta_i q_{mi} \quad [6]$$

De la ecuación [5], se desprende lo siguiente:

- Los coeficientes β representan el impacto positivo o negativo del atributo q_m sobre la utilidad.
- La letra m , representa a cualquier alternativa de un conjunto de elección.
- Se entiende que el usuario conoce todos los atributos de las alternativas, por lo tanto desde su perspectiva se encuentra frente a un problema determinístico u observable.
- Respecto al modelador, no se puede decir que él puede observar todos los atributos de los individuos, ejemplo de ellos son, la seguridad, confort, etc. Por tanto, se encuentra frente a un problema probabilístico. A partir de ello, se introduce en la ecuación, el término de error aditivo que refleja la ignorancia del modelador. Dicho resultado origina la teoría de la utilidad aleatoria.

3.2.4.3. La teoría de la utilidad aleatoria.

Según Ortúzar Salas (2012), el fundamento teórico para generar los modelos de elección discreta es la teoría de la utilidad aleatoria, para ello se tiene que definir ciertos conjuntos con ciertas características particulares.

En primer lugar, se asume que los individuos se unen en grupos con las mismas características socioeconómicas, formando una población homogénea Q ; es decir: $Q = \{ q_1; q_2; q_3 \dots q_n \} \dots$ Población homogénea de individuos.

Cabe subrayar que los elementos del conjunto Q , actúan de forma racional y tienen toda la información de las características de las alternativas; por tanto, eligen aquella alternativa que maximice su utilidad.

Se define el conjunto $A = \{ A_1; A_2; A_3 \dots A_m \}$, de todas las alternativas existentes. Haciendo un análisis simple se puede deducir que algunas de estas alternativas no son aptas para algunos individuos; por ejemplo, una *bicicleta* no es apta para un individuo con alguna discapacidad en particular; es por ello, que se define un nuevo conjunto $A(q)$ de alternativas disponibles para cada individuo q . Este nuevo conjunto en su estructura ya tiene inmerso las restricciones para cada individuo q : $A(q) = \{ A_1; A_2; A_3 \dots A_j \}$; donde $j \leq m$ y $A(q) \subset A$.

Se define un conjunto de conjuntos X , cuyos elementos son: características cuantificables de los individuos y de las alternativas; es decir:

$$X = \{ X_1; X_2; X_3 \dots X_r \}; \text{ donde } r \leq 2n ; \text{ además.}$$

$$X_i = \{ \text{atributos de } q_i; i = \overline{1, n} \} \text{ y}$$

$$X_j = \{ \text{atributos de } A_j; j = \overline{1, n} \}; \text{ donde } X_i \wedge X_j \in X.$$

En lo referente a las características de las alternativas podemos mencionar a: *tiempo de viaje*, *comodidad*, *costo de viaje*, etc. Por otra parte, en lo referente a los atributos de los individuos podemos mencionar los siguientes: *edad*, *sexo*, *ingreso mensual*, etc.

Sea $A_j \in A(q) \subset A$, con $j = \overline{1, n}$; $\wedge q \in Q$, entonces se cumple que: cada alternativa A_j tiene asociada una utilidad U_{jq} de cada individuo q . Anteriormente se mencionó que, el usuario se encontraba frente a un problema determinístico y el modelador frente a uno probabilístico; por tanto, el modelador propone lo siguiente:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad [7]$$

En la ecuación [7], se observa que U_{jq} está compuesta de dos factores: el primero es V_{jq} , que representa la parte medible de los atributos de las alternativas

e individuos. El segundo factor ε_{jq} es aleatorio, que representa lo que no se puede medir; tales como: gustos, miedos, idiosincrasia, etc. Además, de acuerdo a la ecuación [7], se puede observar que ε_{jq} se define como la diferencia entre la utilidad U_{jq} y V_{jq} .

Según Train (2009), la definición implícita de ε_{jq} implica que sus características y su distribución de probabilidad sean consecuencia de la especificación que el modelador haga de la utilidad medible V_{jq} . Además, se sabe que los individuos siempre escogen las alternativas que maximizan su utilidad ya que conocen sus atributos; ahora, considérese un individuo q , entonces q elige la alternativa A_j si y solo si:

$$\begin{aligned}
 U_{jq} &\geq U_{iq} ; \forall A_i \in A_q, \text{ con } i \neq j ; \text{ es decir:} \\
 V_{jq} + \varepsilon_{jq} &\geq V_{iq} + \varepsilon_{iq} ; \text{ de donde se obtiene:} \\
 V_{jq} - V_{iq} &\geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \qquad \qquad \qquad [8]
 \end{aligned}$$

Los valores de $\varepsilon_{iq} \wedge \varepsilon_{jq}$ son desconocidos por el modelador; por ende, trata a estos elementos como variables aleatorias. Según Train (2009), la densidad de probabilidad del vector aleatorio $\varepsilon'_q = (\varepsilon_{q1}, \varepsilon_{q2}, \dots, \varepsilon_{qj})$ se denota como $f(\varepsilon_j)$. Con el valor de esta densidad, el modelador concluye que la elección del decisor tiene fundamento en la teoría probabilística. En síntesis; la probabilidad de escoger a la alternativa A_j , está dada por:

$$P_{jq} = Prob\{\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq} ; \forall A_i \in A_q, i \neq j\} \qquad [9]$$

Debido a la ausencia de conocimiento de la distribución de los residuos ε , no se puede asignar una expresión analítica para el modelo; por tanto, se asume que los residuos referentes a cada alternativa tienen un valor extremo tipo I, con

varianzas iguales y no correlacionadas, con estas características se puede utilizar el modelo logit multinomial para la estimación. No obstante, en el supuesto que los residuos sigan una distribución de probabilidad normal se debe aplicar el modelo Probit (Pompilio Sartori, 2006).

3.2.4.4. Modelos Logit Multinomial (MNL)

Según Ortúzar y Willumsen (2008), los modelos logit multinomial son los modelos más versátiles y más utilizados en el mundo de la elección discreta. Estos modelos asumen que la expresión aleatoria ε_{jq} , tiene una distribución tipo valor extremo, además es independiente e idénticamente distribuido $\forall j$.

$$P_{iq} = \frac{e^{\beta V_{iq}}}{\sum_{A_j \in A_q} e^{V_{jq}}} \quad [10]$$

En la Ecuación [10], las aplicaciones de utilidad en el sentido más amplio tienen una forma lineal en los parámetros V_{jq} , por tanto, los valores que asumen los parámetros β , tiene una relación con la desviación estándar de la variable Gumbel, mediante la siguiente relación: $\beta^2 = \frac{\pi^2}{6\sigma^2}$.

3.2.4.4.1. Propiedades de los Modelos Logit Multinomial

Según Ortúzar y Willumsen (2008), estos modelos gozan de las siguientes propiedades:

- Cumplen con el axioma de Independencia de las alternativas irrelevantes. Es decir, sean i y j un par de alternativas cualesquiera en el conjunto de elección, entonces se cumple que: $\frac{P_j}{P_i} = e^{\beta(V_j - V_i)}$.
- Cuando el número de las alternativas de elección es una cantidad relativamente alta, es corroborable que los valores calculados son

parámetros insesgados, donde la estimación del modelo se reduce a una muestra aleatoria del conjunto de elección.

- La matriz de covarianza para los MNL para el caso de tres alternativas queda estructurada de la siguiente forma:

$$\Sigma = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad [11]$$

3.2.5. *Recolección de datos*

Existen muchas formas de poder recolectar información para aplicar a la estimación de modelos; pero, en lo referente a la estimación de los modelos logit multinomial, como parte de los modelos de elección discreta se considera dos tipos de datos: datos de preferencia revelada (PR) y datos de preferencia declarada (PD).

Según Train (2009), los datos de PR se obtienen a partir de las elecciones que realizan los individuos en situaciones reales; es decir, las personas en la información que revelan señalan en base a sus experiencias vividas, los gustos por algún modo en particular. Una desventaja importante de esta encuesta es que no se puede incorporar nuevas opciones ya que los datos se obtuvieron a base de una experiencia vivida.

Por otra parte, los datos de PD tienen su fundamento en lo hipotético; es decir, los individuos dan su respuesta aduciendo el comportamiento que tendrían ante una elección en particular. Cabe señalar que la desventaja suscitada en los datos de PR queda excenta en este tipo de encuestas. Sin embargo, la información que se obtiene de este tipo de encuesta queda a merced de que los individuos hagan lo que realmente dijeron.

3.2.5.1. Preferencia Revelada (PR)

Como ya se mencionó anteriormente, este tipo de encuestas se fundamenta en elecciones y decisiones observadas en experiencias reales de los individuos.

Según Train (2009) las PR goza de las siguientes características:

- a) Los datos de PR tienen la ventaja de evidenciar los resultados de las experiencias vividas de los usuarios.
- b) Una de las principales desventajas de este tipo de encuestas es que se limitan a los atributos de las alternativas ya existentes en un tiempo determinado.
- c) No se puede incorporar nuevos modos como alternativa de elección, ya que solo se contempla situaciones establecidas.
- d) El costo y *tiempo de viaje* son variables con cierto grado de correlación lo que dificulta estimar valores para cada uno de manera independiente.
- e) Este tipo de encuestas tienen que utilizarse en la modelación de la demanda de alternativas que estén en el año base.
- f) Normalmente existen muchos errores en la medición de los datos.

3.2.5.2. Preferencia Declarada (PD)

Las encuestas de PD son aquellas técnicas que se basan en los juicios de las personas respecto a cómo actuarían ante escenarios hipotéticos; dichas técnicas, tienen su fundamento en diseños experimentales que permiten construir las alternativas hipotéticas que se les va a presentar a los encuestados. Esta información que se obtendrá va a permitir estimar las funciones de utilidad de las

características o atributos de las alternativas que intervienen en el estudio.
(Pompilio Sartori, 2006).

En esta investigación se aplicará este tipo de encuesta para obtener la probabilidad de aceptación del uso de *bicicleta* en contraste con otros modos sujeto a ciertos escenarios en donde se combine las diferentes características tanto de los individuos como las alternativas de elección. Para ello, a continuación, se exponen los fundamentos para el diseño experimental de una encuesta de elección.

Según Pompilio Sartori (2006), las respuestas de los individuos se pueden enmarcaren en tres categorías; a saber, escalamiento, Jerarquización y elección.

Escalamiento: En esta categoría, la respuesta se fundamenta en el grado de gusto o preferencia por el decisor para alguna alternativa; y se expresa a través de una escala numérica.

Jerarquización: En esta categoría, las respuestas de los encuestados se contrastan unas a otras y a partir de allí las alternativas se ordenan según el grado de preferencia de elección.

Elección: Este tipo de experimentos se fundamenta en la libre elección que tiene el individuo en un conjunto de alternativas; es decir, el individuo elige la alternativa que considera mejor que las demás. En esta investigación se utilizará este tipo de experimentos; ya que en el mundo real, cada persona elige cierto modo de acuerdo al gusto o preferencia que emita por cierta alternativa.

3.2.5.2.1. Características de las encuestas de PD

Según Ortúzar y Willumsen (2008), las encuestas de PD tienen las siguientes características.

- a) Tienen su fundamento en la reacción que tendrían los entrevistados frente a alternativas hipotéticas de viaje.
- b) La elección de una alternativa en particular se debe exclusivamente a las diferentes características o atributos que ellas puedan tener.
- c) Se utiliza técnicas de diseño experimental para poder construir alternativas hipotéticas y poder estimar el efecto individual de cada atributo.
- d) En la construcción de la encuesta, se debe tener en cuenta que las variables hipotéticas presentadas a los individuos deben tener cierto grado de realismo acorde a su experiencia vivida.
- e) Una vez obtenida la información; esta debe ser analizada con el objetivo de tener valores cuantitativos de la importancia relativa de cada atributo.

3.2.5.2.2. *Etapas de diseño de una encuesta de PD*

Según Pompilio Sartori (2006), las encuestas de PD constan de las siguientes etapas.

- a) Identificación de los atributos de cada alternativa y los diferentes niveles de variación.
- b) Diseñar un borrador con diferentes preguntas. La presentación de estas alternativas debe ser de fácil comprensión.
- c) Crear una estrategia de muestreo, con el objetivo de que los datos que se recoja sean representativos
- d) Preparación de una encuesta piloto para su posterior calibración y diseño definitivo.

- e) Realización de una simulación y poder obtener los parámetros de cada atributo. Esto se puede resolver aplicando diferentes softwares computacionales.

3.2.5.2.3. Atributos y alternativas.

Según Ortúzar y Willumsen (2008), uno de los objetivos principales de los diseños de PD es la construcción de alternativas que serán utilizados en el modelo de análisis. El diseño de estas alternativas viables se fundamenta en tres tareas diferenciadas.

- a) **Identificación del conjunto de alternativas.** Son aquellas que van a participar en el estudio y responde al cumplimiento de los objetivos.
- b) **Selección de atributos.** Cada alternativa goza de diferentes atributos; pero, se debe seleccionar las más importantes para que las respuestas que se emitan sean realistas. En lo referente a la cantidad de atributos, se recomienda que no exceda los cuatro.
- c) **Niveles de los atributos.** Se sabe que la utilidad medible es una combinación lineal de los atributos de las variables independientes, dichos atributos gozan de una cantidad de valores o niveles. A modo de ejemplo, consideremos la variable(atributo) *tiempo de viaje* en un experimento de elección modal, dicha variable puede estar sujeto a tres niveles, a saber, 30 min, 45 min y 50 min.

3.2.5.2.4. Diseño experimental de una encuesta de PD

Según Arellana et al (2011), el propósito fundamental de un diseño experimental es la creación de una encuesta que maximice la información recolectada y a su vez las observaciones suscitadas sean mínimas.

Existen dos enfoques para poder crear diseños experimentales en elección modal. El primero, es el enfoque tradicional, y tiene su fundamento en que no realiza supuestos en relación a los parámetros en la función utilidad del modelo, ejemplos de ellos son: diseños factoriales y diseños ortogonales. En el segundo grupo se encuentran aquellos diseños que aprovechan la información a priori de los parámetros, con el fin de crear diseños óptimos, donde minimice las observaciones requeridas.

En esta investigación se utiliza los diseños tradicionales y será analizado líneas abajo. Cabe resaltar que estos diseños vienen implementados en paquetes estadísticos tales como el SPSS y además pueden ser generados a través de planes maestros, tal es el caso particular de el diseño experimental de Kocur et al (1982).

Según Arellana et al (2011), estos diseños se fundamentan en la teoría del diseño experimental aplicado a los modelos de regresión lineal. En este caso se cumple que la varianza de los parámetros está dado por:

$$Var(\beta_i) = \frac{\sigma^2}{\sum x_i^2(1-r^2)} \quad [12]$$

Donde: x_i representa los niveles de los atributos, σ^2 la varianza del modelo y, r^2 la correlación que existen entre los valores mencionados.

Para Ortúzar y Román (2003), el primer paso en el diseño experimental es la construcción de los escenarios hipotéticos que se les presentará a los encuestados; y para ello, se debe definir los diferentes atributos (variables) de las alternativas que intervienen en el modelo, asu vez, identificar los distintos niveles que pueden tomar los atributos. La selección de los niveles debe darse en un marco realista y que vaya acorde a la experiencia de los entrevistados; además, la combinación de estos, define los distintos escenarios que constituyen el diseño

experimental. Estos diseños clásicos se basan en la ortogonalidad; es decir, cada atributo varía independientemente de los demás (ausencia de correlación). La ortogonalidad tiene como objetivo aislar su efecto en la función de utilidad indirecta.

Cuando se combina todos los niveles de las variables (interacción uno a uno) se obtiene un diseño factorial completo. Supóngase que el número de atributos es “n” y el número de niveles que pueden tomar cada uno es “p”, entonces, el número de combinaciones pertenecientes al diseño factorial completo es p^n ; valor que muchas veces es muy grande, y si se realiza todas las combinaciones, puede provocar fatiga en el entrevistado y a su vez pérdida de objetividad al momento de emitir sus preferencias; es por ello que, se considera una parte de los escenarios del diseño factorial completo, denominados diseño factorial fraccionado (Ortúzar y Román 2003).

Hay muchas formas de generar estos modelos. En esta investigación se utilizará las tablas del plan maestro de Kocur et al (1982). Estas tablas otorgan el número de escenarios hipotéticos necesarios para demostrar la mayoría de los diseños de interés; además, garantizan el concepto de ortogonalidad (Ortúzar y Willumsen, 2008).

3.2.6. *La Bicicleta como modo de transporte*

La *bicicleta* es un vehículo no motorizado que consta de dos ruedas, con pedales que permiten ejercer la fuerza humana a través de un engranaje a la rueda trasera, logrando el desplazamiento de un lugar a otro.

Según Fernández Heredia (2012), el creador de este vehículo fue Karl Ludwig Von Sauerbronn en el año 1817; en un principio, la estructura de la

bicicleta era diferente a la actual ya que no contaba con pedales y para poder desplazarse se tenía que impulsar los pies en el suelo de forma alternada. En el año 1839, el Escosés Kirkpatric Macmillan diseñó la primera *bicicleta* con pedales y, desde ese entonces hasta la actualidad el vehículo en análisis ha sufrido diferentes transformaciones que le han permitido adaptarse a diferentes usos, tales como: deportivo, movilidad urbana, recreación, etc.

En América Latina y el Caribe, la *bicicleta* es percibida como un vehículo con diferentes características positivas para los humanos, ya sea en lo económico, deporte, salud, medio ambiente.etc. En la parte económica es considerado un vehículo accesible para todas las personas ya que su costo es relativamente bajo en contraste con otros modos y no requiere de algún tipo de combustible para su funcionamiento. En lo referente a la salud el efecto surge a nivel físico y mental, por ejemplo, el uso frecuente de este modo permite un acondicionamiento cardiorespiratorio y la reducción de riesgos cardiovasculares.

Los beneficios del uso de la *bicicleta* como modo de transporte también tiene un impacto colectivo, además de ser amigable con el medio ambiente; es decir, existe una reducción en la congestión vehicular, reducción de los niveles de contaminación ambiental,etc. Por lo tanto, el fomento del uso de la *bicicleta* tiene un impacto positivo en la calidad de vida de las personas y de comunidades enteras (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).

Figura 7

La bicicleta



Fuente: (Municipalidad de Lima, 2017)

3.2.6.1. Infraestructura para el uso de la Bicicleta

El uso de la *bicicleta* está ligado a diferentes factores; donde, el más importante quizá sea la infraestructura vial; dicho factor debe gozar de un espacio continuo, aislado de los peatones y principalmente, protegido de los vehículos motorizados. Al conjunto de vías, estacionamientos, y espacios urbanos que permiten la libre circulación de la *bicicleta* se denomina, red de infraestructura ciclo vial (Municipalidad de Lima, 2017).

La estructura de esta red está compuesta por diferentes vías denominadas ciclo inclusivas y existe un orden jerárquico entre ellas que permite su diferenciación.

3.2.6.2. Tipologías de Infraestructura

3.2.6.2.1. Vías no Segregadas

Denominadas también vías compartidas. Este tipo de vías se caracteriza por tener una denominación de baja velocidad y poco volumen de tráfico

motorizado, eso tiene relevancia en la seguridad en los ciclistas y transeúntes. Además, se consideran como una red alimentadora a la red principal ciclo vial (Municipalidad de Lima, 2017).

En este tipo de vías se encuentran las vías denominadas, carriles compartidos y los ciclocarriles.

a) Carriles compartidos.

Son aquellas vías que se comparte con vehículos motorizados; pero, son los ciclistas quién tienen prioridad y a base de ello, tienen la libertad de poder desplazarse por cualquier parte de la franja de la vía sin preocupación a ser sobrepasado por algún vehículo motorizado. La velocidad máxima para los vehículos motorizados es de 30 km/h (Municipalidad de Lima, 2017).

Figura 8

Vías Compartidas



Fuente: (Municipalidad de Lima, 2017).

b) Ciclo carril.

Es una parte de la sección de la calzada en el sentido unidireccional de los vehículos motorizados. La señalización está dada por el pictograma de la

bicicleta. Es habitual pintar dicha franja con un color contrastante, con el efecto de optimizar la visión de los ciclistas (Municipalidad de Lima, 2017).

Figura 9

Ciclo carril



Fuente: (Municipalidad de Lima, 2017).

3.2.6.2.2. Vías no Segregadas

Está compuesta por la red principal de la infraestructura ciclo vial conectando a diferentes sectores de la ciudad que dista uno de otro. En este tipo de vías, las velocidades de los vehículos motorizados están por encima de los 40 km/h.

Debido a la configuración de estas vías, es que se acondiciona un espacio exclusivamente para la *bicicleta*. Las infraestructuras acondicionadas para la *bicicleta* son: la ciclovía y cicloaceras (Municipalidad de Lima, 2017).

a) Ciclovías

Este tipo de ciclovías puede ser unidireccional o bidireccional y está integrada a nivel de la calzada del carril o en algunos casos, está en la berma central. Estas infraestructuras son exclusivamente para los ciclistas (Municipalidad de Lima, 2017).

Figura 10

Ciclovía



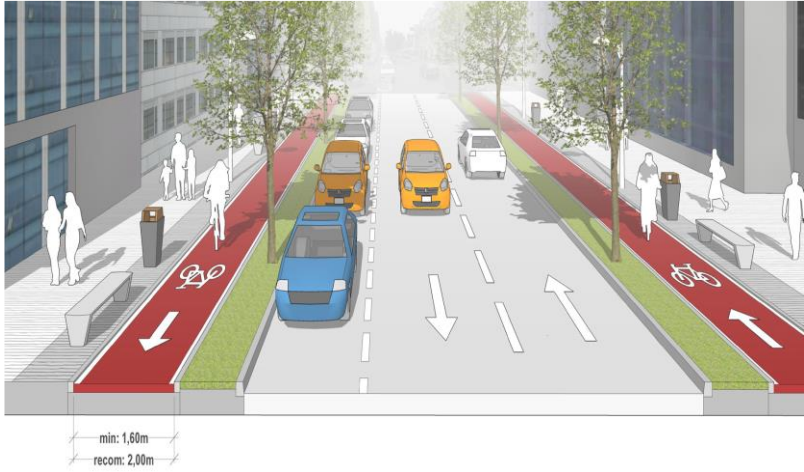
Fuente: (Municipalidad de Lima, 2017).

b) Ciclo aceras

Son vías que están integradas a la acera y en algunos casos se comparte espacio con los peatones; aunque, hay que tomar ciertas restricciones respecto a su ancho para tener un libre funcionamiento y no interactuar con los peatones (Municipalidad de Lima, 2017).

Figura 11

Ciclo Acera



Fuente: (Municipalidad de Lima, 2017).

3.3. Marco Conceptual

3.3.1. Modelo

Un modelo es, esencialmente, una representación de la realidad, una abstracción que se utiliza para lograr mayor claridad conceptual acerca de la misma, reduciendo su variedad y complejidad a niveles que permitan comprenderla y especificarla en forma adecuada para el análisis. (Ortúzar Salas, 2012, p. 27).

3.3.2. Programación Matemática

La programación matemática es una técnica de modelado utilizada en proceso de toma de decisiones, se fundamenta en tres etapas: la primera consiste en identificar las posibles decisiones que pueden tomarse, la segunda; consiste en determinar que decisiones resultan admisibles y la tercera; se calcula el costo/beneficio asociado a cada decisión admisible (Castillo et al, 2002, p.3).

3.3.3. Programación Lineal

“La programación lineal trata exclusivamente con funciones objetivos y restricciones lineales, es una parte de la programación matemática y tiene aplicaciones en la ingeniería, economía, gestión y muchas otras áreas de la ciencia, la técnica y la industria” (Castillo et al, 2002, p.3).

3.3.4. Algoritmo

“Un algoritmo es una descripción de la solución del problema mediante una secuencia finita de acciones elementales que se supone son realizables a priori” (Meza y Ortega, 2004, p.1).

IV. METODOLOGÍA

4.1. Diseño del Estudio

4.1.1. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva tiene como finalidad brindar información precisa de las propiedades, características, y perfiles de personas, procesos, objetos o cualquier fenómeno de estudio. Esta información, que se emite posterior a la medición y recolección de datos se fundamenta en diferentes interrogantes; es decir, en el ¿qué?, ¿cómo?, ¿cuándo? y ¿dónde? se encuentra el fenómeno de estudio, dejando de lado el ¿por qué? sucedió. Una de las características de este tipo de investigación es que se enfocan en realizar las investigaciones sin alterar o relacionar las variables de estudio, solo se limita a la medición y descripción de las mismas. (Hernández-Sampieri y Mendoza Torres, 2018).

La presente investigación está orientada en conocer la probabilidad de aceptación que tienen los ciudadanos del distrito de Víctor Larco Herrera por el uso de la *bicicleta*; es por ello, que se recolectó información a través de encuestas de preferencias declaradas, para luego procesarlas y emitir de manera clara y precisa los resultados. Por esta razón, se considera una investigación descriptiva.

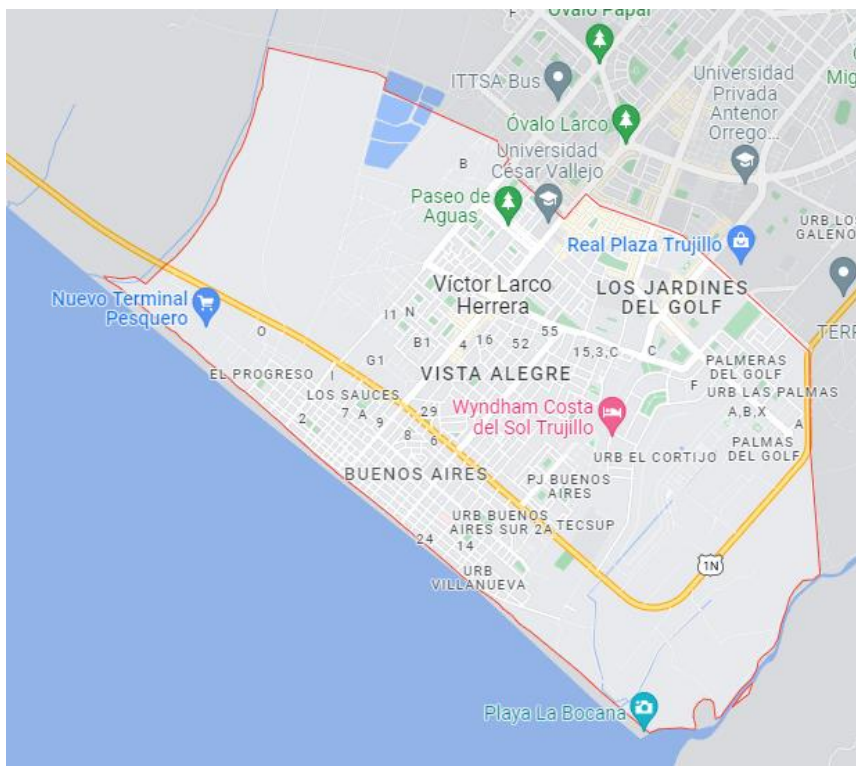
4.2. Población

El estudio se realizó en el distrito de Víctor Larco Herrera; siendo uno de los once distritos que conforma la provincia de Trujillo, y se encuentra ubicado en la región de la Libertad. Según INEI (2017), la proyección del distrito para el año 2020 fue de aproximadamente de 68,506, que corresponde al universo de este análisis.

Para efectos de esta investigación solo se consideró a ciudadanos que demanden algún tipo de viajes y además que tenga algún tipo inclinación por la *bicicleta*. En ese caso solo se ha considerado como población a personas de entre los 15 y 65 años, que corresponde un porcentaje de 66.11% del universo, es decir 45,289 personas. (INEI, 2017).

Figura 12

Distrito de Víctor Larco Herrera.



Fuente: Google Maps.

4.3. Muestra

La modalidad de muestreo que se utilizó, es aleatorio simple, esta modalidad corresponde a un tipo de muestreo denominado probabilístico, El fundamento de esta modalidad radica en que, todos los elementos de la población tienen la misma oportunidad de ser elegida (Blanco, 2011).

4.3.1. Cálculo de la muestra

Como la población es finita, haremos uso de la siguiente fórmula.

$$n = \frac{N * z^2 * \sigma^2}{e^2 * (N - 1) + z^2 * \sigma^2} \quad [12]$$

Donde:

n : Tamaño de la muestra

$N = 45, 289$: Tamaño de la población (finita)

$Z = 1.96$: Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza (95%)

$e = 5\%$: Error de estimación

$p = 50\%$: Probabilidad que ocurra un evento (éxito)

$q = 50\%$: Probabilidad que no ocurra el evento

Reemplazando los datos en la ecuación [12], se obtiene una muestra representativa de 381 personas.

4.4. Operacionalización de las variables

Para la presente investigación se consideró dos variables:

Variable 1: La *bicicleta* como modo transporte

Variable 2: Modelos de elección discreta

Tabla 2

Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTOS
La Bicicleta como Modo de Transportes	Medio de Transporte eficiente que tiene una relación inofensiva y	Modo Económico Modo eficiente	Minimización de Costo Optimización de Tiempo Optimización de Espacio	Cuestionario de Encuestas de Preferencias Declaradas y Preferencias Reveladas

	sostenible con el medio ambiente	Modo Amigable con el Medio ambiente	Contaminación Sonora	
		Modo Pro Salud	Contaminación Ambiental	
			Salud Física	
			Salud Mental	
	Denominados modelos desagregados o de segunda generación; se caracterizan porque se basan en elecciones observadas		Logit Multinomial	
Modelos de Elección Discreta	Para cada individuo	Modelos Desagregados Predictivos	Logit Jerárquico	Software Biogeme
			Logit Mixto	
			Probit Multinomial	

Fuente: Elaboración propia

4.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

4.5.1. Técnicas

Para la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas:

4.5.1.1. Análisis documental

Para tener un panorama amplio sobre la investigación que se está realizando y poder tener referencia en la interpretación de resultados, se consultó y analizó diversos trabajos de investigación, tales como: artículos de revistas, artículos científicos, normas legales, experiencias aplicadas en otros lugares, etc.

4.5.1.2. Encuestas

Esta investigación se fundamenta en el estudio de los modelos de elección discreta, específicamente en el modelo Logit multinomial. Para este tipo de

modelos se aplican dos tipos de encuestas: encuestas de preferencias reveladas y las encuestas de preferencia declarada.

4.5.2. Instrumentos

4.5.2.1. Guía de análisis documental

Es un tipo de instrumento que permitió realizar un diagnóstico y conocer la importancia de cada documento que se analizó en todo el proceso de realización de este trabajo. Una de las características fundamentales de este instrumento es la contrastación de los diferentes autores de cada investigación, permitiendo tener como guía a los más relevantes.

4.5.2.2. Cuestionario

Las preguntas que conforman el cuestionario de las encuestas, se fundamentaron bajo dos enfoques. El primero, es en la obtención de información real y palpable del caso de análisis; este tipo de preguntas corresponden a las encuestas de preferencias reveladas. El segundo enfoque, se fundamenta en la obtención de datos hipotéticos, permitiendo conocer el comportamiento de ciertas variables que se incorporaran en el futuro; este tipo de interrogantes corresponden a las encuestas declaradas.

4.6. Procedimientos

Esta investigación estudia un modelo de elección discreta con el objetivo de medir el nivel de aceptación (probabilidad) de implementar la *bicicleta* como modo de transporte alternativo a los modos tradicionales, como el *taxi*, y el *bus* en el distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo.

El modelo de elección discreta que se utilizó, tiene como base la teoría de la utilidad aleatoria. Dicha utilidad está compuesta por una combinación lineal de

los atributos de las variables; para poder estimar los parámetros de dicha combinación se tiene que recopilar información a través de encuestas. Las encuestas que se utilizó fueron las de preferencias declaradas y reveladas que se aplicó a 381 ciudadanos del distrito en análisis.

Además, el procedimiento que se siguió en este proyecto consta de varias etapas:

- Identificación y análisis del problema.
- Revisión del estado de arte.
- Realizar encuestas de preferencias reveladas y declaradas.
- Modelación a través de un modelo de elección discreta como es el modelo Logit multinomial.
- Especificación del modelo a través del programa Biogeme.
- Validación del modelo
- Análisis de los resultados. Este análisis se realizará en base lo que se obtenga en las encuestas y acorde a los objetivos trazados.

4.7. Procesamiento y análisis de datos

Para poder obtener la probabilidad de aceptación del uso de la *bicicleta* como modo de transporte alternativo en el distrito de Víctor Larco Herrera, se tiene que seguir un proceso secuencial.

En primer lugar, se tiene que recolectar información a través de encuestas a un total de 381 personas pertenecientes al distrito en análisis. Posteriormente, con los datos obtenidos se realiza un análisis estadístico descriptivo, y la estimación de un modelo de elección discreta que permita obtener el

comportamiento real de las variables evaluadas. Como pasos finales, se tiene que analizar los resultados y emitir las conclusiones pertinentes.

4.7.1. Recolección de datos

La recolección de información se obtiene a través de encuestas, donde su diseño se divide en dos partes. En la primera parte se busca obtener la información socioeconómica de los encuestados, a este enfoque se le conoce como preferencia revelada. La segunda parte, está enfocada en obtener información sobre la actuación de las personas frente a escenarios hipotéticos, este diseño corresponde a encuestas de preferencia Declaradas. Ambos enfoques contribuyen en la construcción final del cuestionario que se aplicará a una muestra de 381 personas.

4.7.1.1. Preferencias Reveladas

Como ya se mencionó anteriormente, este tipo de encuestas se utiliza para obtener información real de los individuos; A saber, nivel de estudios, sexo, edad, modo en que hizo su último viaje, etc. Para efectos de esta investigación, se utilizó las siguientes variables.

- a) Edad
- b) Sexo
- c) Ocupación laboral
- d) Ingreso mensual
- e) Nivel académico

En la tabla 3, se presentan las variables mencionadas, con sus respectivos valores y niveles.

Tabla 3*Variables Socioeconómicas*

VARIABLE	VALORES	NIVEL
Edad	Entre 15 y 25 años	1
	Entre 26 y 35 años	2
	Entre 36 y 45 años	3
	Entre 46 y 55 años	4
	entre 56 y 65 años	5
Sexo	Femenino	1
	Masculino	2
Situación Laboral	Dependiente	1
	Independiente	2
	Solo estudia	3
	Estudia y trabaja	4
	Ama de casa	5
Ingreso Mensual	Entre 0 y 500 soles	1
	Entre 501 y 1025 soles	2
	Entre 1026 y 2000 soles	3
	Mayor a 2000 soles	4
Nivel Académico	Primaria	1
	Secundaria	2
	Pregrado	3
	Posgrado	4

Fuente: Elaboración propia

4.7.1.2. Preferencia Declaradas

En esta investigación se utilizó un diseño experimental basado en las tablas del plan maestro de Kocur et al (1982). Estas tablas otorgan el número de escenarios hipotéticos necesarios para evaluar la probabilidad de aceptación de la *bicicleta* como de transporte a la hora de competir con el *bus* y el *taxi*.

4.7.1.2.1. *Diseño experimental de Preferencias Declaradas*

El diseño experimental de preferencias declaradas que se utilizó en esta investigación tiene su fundamento en el plan maestro de Kocur. Dicho plan está compuesto por unas tablas que permiten generar combinaciones con las variables analizadas. Cabe resaltar que el plan maestro de Kocur garantiza la ortogonalidad de sus variables y el adecuado balance de sus niveles.

A continuación, se detalla el proceso de construcción de este tipo de cuestionario perteneciente al diseño experimental de preferencia Declaradas

1) **Identificación de variables y niveles**

Se tuvo en cuenta las siguientes variables.

- a) **Tiempo de viaje:** Esta variable considera el tiempo de espera y el *tiempo de viaje* desde un origen hasta un destino. El origen pertenece a cualquier punto ubicado en el distrito de Víctor Larco Herrera; y, el punto de llegada, hace referencia a cualquier punto ubicado en el mismo distrito o cualquier distrito colindante. Cabe señalar que la distancia promedio que se considera es no mayor a 5 km. Para este tipo de variable se ha considerado tres niveles; el valor (minutos) de cada nivel se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Variable: Tiempo de Viaje

VARIABLE	BUS		TAXI		BICICLETA	
	Valor (min)	Nivel	Valor (min)	Nivel	Valor (min)	Nivel
Tiempo de Viaje	25	0	8	0	14	0
	30	1	10	1	18	1
	35	2	12	2	22	2

Fuente: Elaboración Propia

b) **Costo de viaje o tarifa:** El *costo de viaje* hace referencia al valor monetario que cuesta trasladarse de un punto a otro. En esta investigación se ha considerado tres niveles con respecto al *bus* y al *taxi*, en lo referente a la *bicicleta* no se ha considerado ningún costo. En la tabla 5, se representan los niveles con sus respectivos valores, tanto para el *bus*, como para el *taxi*.

Tabla 5

Variable: Costo de Viaje

VARIABLE	BUS		TAXI		BICICLETA
	Valor (S/)	Nivel	Valor (S/)	Nivel	Valor (S/)
Costo de viaje	1.0	0	4.0	0	0
	1.5	1	5.5	1	0
	2.0	2	7.0	2	0

Fuente: Elaboración propia

c) **Riesgo por contagio de covid-19.** El contexto global que vive el mundo en la actualidad a causa de la pandemia covid-19, permite considerar este tipo de variable a la hora de hacer un análisis sobre elección modal. Las políticas de estado estaban orientadas a priorizar avances en el transporte público; pero, a raíz de evitar el contagio, la ciudadanía a priorizado utilizar el transporte privado, aun cuando el *costo de viaje* es mayor. En la tabla 6, se menciona los niveles y su valor para cada alternativa de elección.

Tabla 6

Variable: Riesgo de Contagio por covid-19

VARIABLE	BUS		TAXI		BICICLETA	
	Valor	Nivel	Valor	Nivel	Valor	Nivel
<i>Riesgo de contagio por Covid-19</i>	No	0	No	0	No	0
	Si	1	Si	1	Si	1

Fuente: Elaboración propia

d) **Infraestructura para la *bicicleta*.** Una infraestructura vial, diseñada en cualquier ciudad generalmente están direccionadas a los vehículos motorizados. Si bien es cierto que la *bicicleta* puede transitar por dichas rutas, el riesgo por contraer un accidente es muy grande. Por tanto, sería injusto que la *bicicleta* compita con el *bus* y el *taxi* bajo las condiciones mencionadas; es por ello que, en esta investigación se considera una infraestructura acondicionada exclusivamente a la *bicicleta* (ciclovía, carril bici, ciclo aceras, etc.). Bajo esa hipótesis, se les consultará a los ciudadanos si elegirían o no la *bicicleta*. El efecto que tiene esta variable solo repercute en la *bicicleta*, en lo referente al *bus* y el *taxi*, es nula. En la tabla 7, se menciona los niveles con su respectivo valor.

Tabla 7

Variable: Infraestructura para la Bicicleta

VARIABLE	BICICLETA	
	Valor	Nivel
Infraestructura para la <i>bicicleta</i>	No	0
	Si	1

Fuente: Elaboración propia

2) Construcción de los escenarios hipotéticos

Siguiendo con el diseño experimental de PD, basado en el plan maestro de Kocur, se tiene que construir una matriz de ortogonalidad. Como se sabe, esta matriz va a garantizar la adecuada construcción de los escenarios hipotéticos, evitando que haya redundancia en la combinación de variables y sus niveles.

El detalle de la construcción se da en los siguientes pasos.

a) Como paso inicial se debe conocer las variables con el número total de niveles. En el apartado anterior se consideró cuatro variables; de las cuales, dos variables consideran tres niveles cada una y las otras dos consideran solo dos, una independientemente de la otra.

El resumen se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8

Variables y Niveles en el Diseño Experimental de PD

N.º DE ORDEN DE LAS VARIABLES	VARIABLES	NIVELES
1	Tiempo de viaje	3
2	Costo de viaje	3
3	Riesgo de contagio por covid-19	2
4	Infraestructura para la <i>bicicleta</i>	2

Fuente: Elaboración propia

b) Una vez definidas las variables con sus respectivos niveles, corresponde identificar el código del plan experimental de Kocur. Dicho plan permitirá obtener los siguientes datos: número de escenarios requeridos, número de plan maestro y números de columnas a usar. Esta información se obtiene del *índice de planes experimentales* de Kocur et al (1982). La tabla 9, adaptada de Kocur et al (1982) muestra la información requerida.

Tabla 9

Índice de Planes Experimentales

ÍNDICE DE PLANES EXPERIMENTALES								
Código del plan Experimental	Número total de Variables	Números de Variables				Números de escenarios requeridos	Número del plan maestro	Número de columnas a usar
		2 Niveles	3 Niveles	4 Niveles	5 Niveles			
35a	3	1	2	0	0	9	3	1, 2, 6
35b	3	1	2	0	0	18	6	1, 2, 14
36a	4	1	3	0	0	9	3	1, 2, 3, 8
36b	4	1	3	0	0	27	8	1, 2, 3, 13
36c	4	1	3	0	0	27	8	1, 2, 5, 8
37a	5	1	4	0	0	16	5	6, 7, 8, 9, 25
37b	5	1	4	0	0	27	8	1, 2, 5, 10, 13
37c	5	1	4	0	0	27	8	1, 2, 5, 8, 9
38a	6	1	5	0	0	18	6	1, 2, 3, 4, 5, 14
38b	6	1	5	0	0	27	8	1, 2, 5, 10, 11, 13
39a	7	1	6	0	0	18	6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 14
39b	7	1	6	0	0	27	8	1, 2, 5, 10, 11, 12, 13
40	8	1	7	0	0	27	8	1, 2, 5, 6, 10, 11, 12, 13
41	9	1	8	0	0	27	8	1, 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13
42	10	1	9	0	0	27	8	1, 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13
43a	3	2	1	0	0	8	2	2, 6, 7
43b	3	2	1	0	0	12	4	
44a	4	2	2	0	0	9	3	1, 2, 7, 8

Fuente: Adaptado de Kocur et al (1982)

En esta investigación se está analizando cuatro variables, dos de ellas con tres niveles cada una, y las otras dos, con dos. Con esa información y según la tabla 9, corresponde aplicar el plan experimental *44a*

En la tabla 10, se muestra la información referente al plan experimental *44a*.

Tabla 10

Plan Experimental 44a

Plan Experimental 44a	
Escenarios Requeridos	9

Plan Maestro	3
Columnas a Usar	1, 2, 7, 8

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 10, se tiene que considerar 9 escenarios hipotéticos, donde el plan maestro a utilizar es el 3; además, las columnas a usar de dicho plan son: 1, 2, 7 y 8. En la tabla 11, se muestra el *plan maestro 3* y los valores que asume las columnas 1, 2, 7 y 8.

Tabla 11

Master Plan 3 de Kocur

MASTER PLAN 3							
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	0	1	1	0
0	2	2	1	0	0	0	1
1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	2	0	1	1	1	0
1	2	0	2	1	0	0	0
2	0	2	2	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0	1
2	2	1	0	0	0	1	0

Fuente: Adaptado de Kocur et al (1982)

La tabla 11, está compuesta por filas y columnas que servirán para construir la matriz de ortogonalidad. En la tabla 12, se muestra los datos que asumirán las variables en la matriz ortogonal.

Tabla 12

Master Plan adaptado a las Variables

MASTER PLAN 3			
1	2	7	8

Tiempo de viaje	Costo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Infraestructura para la bicicleta
0	0	0	0
0	1	1	0
0	2	0	1
1	0	1	1
1	1	1	0
1	2	0	0
2	0	0	0
2	1	0	1
2	2	1	0

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 12, a la variable *tiempo de viaje*, le corresponde la columna 1, a la variable *costo de viaje*, le corresponde la columna 2, a la variable *riesgo de contagio por covid-19*, le corresponde la columna 7 y a la variable *infraestructura para la bicicleta*, le corresponde la columna 8.

c) Una vez definido el Master plan e identificado los valores que asumen las variables, el siguiente paso es construir la matriz de ortogonalidad.

Tabla 13

Matriz Ortogonal

Escenario	MATRIZ ORTOGONAL								
	BUS			TAXI			BIBICLETA		
	Tiempo de viaje	Costo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Tiempo de viaje	Costo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Tiempo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Infraestructura para la bicicleta
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	1	1	0	1	0
3	0	2	0	0	2	0	0	0	1
4	1	0	1	1	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	0
6	1	2	0	1	2	0	1	0	0
7	2	0	0	2	0	0	2	0	0
8	2	1	0	2	1	0	2	0	1
9	2	2	1	2	2	1	2	1	0

Fuente: Elaboración Propia

Los valores 0, 1 y 2 que conforman la matriz ortogonal, corresponden a los niveles que asumen las variables en cada alternativa. Además, las 9 filas representan los 9 escenarios que se utilizará en el cuestionario.

A continuación, se procede a construir los 9 escenarios hipotéticos.

- **Escenario 1.** Este escenario corresponde a la primera fila de la matriz ortogonal. Los datos que se encuentran en dicha fila, corresponden a los niveles de las variables, según la alternativa a la cual pertenece. En la tabla 14, se resalta los valores de la fila 1.

Tabla 14

Matriz Ortogonal, Escenario 1

Escenario	MATRIZ ORTOGONAL								
	BUS			TAXI			BIBICLETA		
	Tiempo de viaje	Costo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Tiempo de viaje	Costo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Tiempo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Infraestructura para la bicicleta
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	1	1	0	1	0
3	0	2	0	0	2	0	0	0	1
4	1	0	1	1	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	0
6	1	2	0	1	2	0	1	0	0
7	2	0	0	2	0	0	2	0	0
8	2	1	0	2	1	0	2	0	1
9	2	2	1	2	2	1	2	1	0

Fuente: Elaboración propia

Para tener un panorama más claro, los valores de la fila 1, lo representamos en la siguiente tabla.

Tabla 15

Niveles, Escenario 1

ESCENARIO 1	BUS	TAXI	BICICLETA
Tiempo de viaje	0	0	0
Costo de viaje	0	0	0

Riesgo de contagio por covid-19	0	0	0
Infraestructura para la <i>bicicleta</i>	-	-	0

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se coloca los valores de los niveles que asume cada variable en cada alternativa a la cual pertenecen. Dichos valores se encuentran en las tablas: 4, 5, 6 y 7.

Tabla 16

Valores de Niveles, Escenario 1

ESCENARIO 1	BUS	TAXI	BICICLETA
Tiempo de viaje (min)	25	8	14
Costo de viaje (S/.)	1.0	4.0	0
Riesgo de contagio por covid-19	NO	NO	NO
Infraestructura para la <i>bicicleta</i>	-	-	NO

Fuente: Elaboración propia

La tabla 16, representa el primer caso que se les presentará a los encuestados. En este escenario, el riesgo por contagio de covid-19, no existe; se puede asumir que esta situación se daría en un futuro cuando dicha pandemia sea erradicada por completo. También no se considera una *infraestructura para la bicicleta*; es decir, tendría que transitar por las vías que existen en la actualidad. Quizá las variables más relevantes en este caso sean el tiempo y *costo de viaje*. Con todas las características mencionadas el encuestado tiene que elegir una de las tres alternativas.

- **Escenario 2.** Este escenario corresponde a la segunda fila de la matriz ortogonal. Los datos que se encuentran en dicha fila, corresponden a los niveles de las variables, según la alternativa a la cual pertenece. En la tabla 17, se resalta los valores de la fila 2.

Tabla 17*Matriz Ortogonal, Escenario 2*

Escenario	MATRIZ ORTOGONAL								
	BUS			TAXI			BIBICLETA		
	Tiempo de viaje	Costo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Tiempo de viaje	Costo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Tiempo de viaje	Riesgo de contagio por covid-19	Infraestructura para la bicicleta
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	1	1	0	1	0
3	0	2	0	0	2	0	0	0	1
4	1	0	1	1	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	0
6	1	2	0	1	2	0	1	0	0
7	2	0	0	2	0	0	2	0	0
8	2	1	0	2	1	0	2	0	1
9	2	2	1	2	2	1	2	1	0

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con el mismo procedimiento del escenario 1, se construye la siguiente tabla:

Tabla 18*Niveles, Escenario 2*

ESCENARIO 1	BUS	TAXI	BICICLETA
Tiempo de viaje (min.)	0	0	0
Costo de viaje (S/.)	1	1	0
Riesgo de contagio por covid-19	1	1	1
Infraestructura para la <i>bicicleta</i>	-	-	0

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se coloca los valores de los niveles que asume cada variable en cada alternativa a la cual pertenecen. Dichos valores se encuentran en las tablas: 4, 5, 6 y 7.

Tabla 19*Valores de Niveles, Escenario 2.*

ESCENARIO 2	BUS	TAXI	BICICLETA
Tiempo de viaje (min.)	25	8	14
Costo de viaje (S/.)	1.5	5.5	0
Riesgo de contagio por covid-19	SI	SI	SI
Infraestructura para la <i>bicicleta</i>	-	-	NO

Fuente: Elaboración propia

La tabla 19, representa el segundo caso hipotético. En este escenario, el riesgo por contagio de covid-19 existe en las tres alternativas; por tanto, no hay desventaja una sobre otra en dicha línea, Por otra parte, no se considera una *infraestructura para la bicicleta*; por tanto, se puede asumir que existe una desventaja por dicho modo que quizá sea absorbido por el hecho de carecer de *costo de viaje*. Bajo las características mencionadas y los valores que asuman el tiempo y *costo de viaje*, el encuestado tendría que analizar que alternativa escoger.

Análogamente, se construye los nueve escenarios hipotéticos. Dichos casos, sirvieron para una encuesta piloto, que se realizó a 30 personas. Cuando se les consultó a las personas encuestadas sobre el diseño de la encuesta, la crítica surgió a partir de la forma de la encuesta; es por ello que la calibración tuvo efecto en la forma, con el objetivo de que haya claridad del encuestado a la hora de responder.

A continuación, se presenta el diseño definitivo de los 9 escenarios hipotéticos de la encuesta de PD que se aplicó a los ciudadanos de Víctor Larco Herrera, Trujillo.

Tabla 20

Escenario 1




ESCENARIO 1	BUS	TAXI	BICICLETA
-------------	-----	------	-----------

			
TIEMPO DE VIAJE	25 min.	8 min.	14 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.0	S/ 4	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21

Escenario 2

ESCENARIO 2	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	25 min.	8 min.	14 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.5	S/ 5.5	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	SI	SI	SI
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Escenario 3



ESCENARIO 3	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	25 min.	8 min.	14 min.

COSTO DE VIAJE	S/ 2.0	S/ 7.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	SI

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23




Escenario 4

ESCENARIO 4	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	30 min.	10 min.	18 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.0	S/ 4.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	SI	SI	SI
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	SI

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24




Escenario 5

ESCENARIO 5	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	30 min.	10 min.	18 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.5	S/ 5.5	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	SI	SI	SI
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25




Escenario 6

ESCENARIO 6	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	30 min.	12 min.	18 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 2.0	S/ 7.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26




Escenario 7

ESCENARIO 7	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	35 min.	12 min.	22 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.0	S/ 4.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27

Escenario 8

ESCENARIO 8	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	35 min.	12 min.	22 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.5	S/ 5.5	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	SI

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Escenario 9

ESCENARIO 9	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	35 min.	12 min.	22 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 2.0	S/ 7.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	SI	SI	SI
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Base de Datos

Con el diseño de la encuesta, definido en el párrafo anterior, se procede a recolectar los datos que serán tabulados empleando el programa Excel desde la perspectiva de la Estadística descriptiva. Posterior a ello, se aplicará la estimación de varios modelos logit multinomial como parte de los modelos de elección

discreta. Esta estimación se realizará con el software Biogeme, de código abierto (Bierlaire, 2020).

4.7.2.1. Diseño de la base datos

Para que el software Biogeme, pueda procesar los datos de manera eficiente; estos tienen que cumplir con ciertas condiciones; las cuales se presentan a continuación:

- a) La base datos que se va a cargar al programa, tiene que tener una extensión .csv, o también .dat.
- b) El encabezado de la base de datos está compuesto por las variables que se utilizará en el software Biogeme. En la figura 13, se muestra las variables utilizadas en la base de datos.

Figura 13

Base de Datos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1	ID	EDAD	SEXO	OCCUPACIÓN	INGRESO MENSUAL	NIVEL ACADÉMICO	ESCENARIO	TV_BUS	CV_BUS	COVID_BUS	TV_TAXI	CV_TAXI	COVID_TAXI	TV_BICI	COVID_BICI	INFR_BICI	CHOICE	V_BUS	V_TAXI	V_BICI	
2	1	5	2	1	4	2	1	25	1.5	0	8	6	0	14	0	0	1	1	1	1	
3	1	5	2	1	4	2	2	25	2	1	8	8	1	14	1	0	1	1	1	1	
4	1	5	2	1	4	2	3	25	2.5	0	8	10	0	14	0	1	1	1	1	1	
5	1	5	2	1	4	2	4	30	1.5	1	12	6	1	18	1	1	1	1	1	1	
6	1	5	2	1	4	2	5	30	2	1	12	8	1	18	1	0	1	1	1	1	
7	1	5	2	1	4	2	6	30	2.5	0	12	10	0	18	0	0	1	1	1	1	
8	1	5	2	1	4	2	7	35	1.5	0	16	6	0	22	0	0	1	1	1	1	
9	1	5	2	1	4	2	8	35	2	0	16	8	0	22	0	1	1	1	1	1	
10	1	5	2	1	4	2	9	35	2.5	1	16	10	1	22	1	0	1	1	1	1	
11	2	4	2	2	3	3	1	25	1.5	0	8	6	0	14	0	0	1	1	1	1	
12	2	4	2	2	3	3	2	25	2	1	8	8	1	14	1	0	1	1	1	1	
13	2	4	2	2	3	3	3	25	2.5	0	8	10	0	14	0	1	1	1	1	1	
14	2	4	2	2	3	3	4	30	1.5	1	12	6	1	18	1	1	1	1	1	1	
15	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Fuente: Adaptado de la base datos en Excel (elaboración propia)

Donde:

- ID: Representa al número de la encuesta (en el párrafo anterior se consideró 9 escenarios hipotéticos; por lo cual, cada participante emitirá 9 respuestas, perteneciente a los 9 escenarios).
- EDAD: Representa la edad de cada participante.
- SEXO: Indica el sexo del participante

- OCUPACIÓN: Indica el tipo de trabajo de cada encuestado.
- INGRESO MENSUAL: Representa la cantidad de dinero que percibe el encuestado en el lapso de 30 días calendarios.
- NIVEL ACADÉMICO: Representa el nivel académico de cada encuestado.
- ESCENARIO: Representa a los 9 casos hipotéticos que se consideró en el diseño experimental de la encuesta de preferencia declarada.
- TV_BUS: Tiempo de viaje en *bus*.
- CV_BUS: Costo de viaje en *bus*.
- COVID_BUS: Riesgo por contagio de covid19 en *bus*.
- TV_TAXI: Tiempo de viaje en *taxi*.
- CV_TAXI: Costo de viaje en *taxi*.
- COVID_TAXI: Riesgo por contagio de covid19 en *taxi*.
- TV_BICI: Tiempo de viaje en *bicicleta*.
- COVID_BICI: Riesgo por contagio de covid19 en *bicicleta*.
- INFR_BICI: Infraestructura acondicionada para la *bicicleta*.
- CHOICE: Representa la elección del participante (1 representa la elección del *bus*, 2 representa la elección del *taxi*, y 3 la elección de la *bicicleta*).
- V_BUS: Función de utilidad del *bus*.
- V_TAXI: Función de utilidad del *taxi*.
- V_BICI: Función de utilidad de la *bicicleta*.

c) Para que el programa Biogeme, pueda leer los valores que asumen las variables; estas se tienen que representar en forma numérica. En la tabla 29, se muestra la codificación de los valores de las variables que se utilizará en la base de datos.

Tabla 29

Codificación de los Valores de las Variables

VARIABLE	VALORES	CODIFICACIÓN
Edad	Entre 15 y 25 años	1
	Entre 26 y 35 años	2
	Entre 36 y 45 años	3
	Entre 46 y 55 años	4
	entre 56 y 65 años	5
Sexo	Femenino	1
	Masculino	2
Situación Laboral	Dependiente	1
	Independiente	2
	Solo estudia	3
	Estudia y trabaja	4
	Ama de casa	5
Ingreso Mensual	Entre 0 y 500 soles	1
	Entre 501 y 1025 soles	2
	Entre 1026 y 2000 soles	3
	Mayor a 2000 soles	4
Nivel Académico	Primaria	1
	Secundaria	2
	Pregrado	3
	Posgrado	4
CHOICE	BUS	1
	TAXI	2
	BICICLETA	3

Fuente: Elaboración propia.

4.8. Consideraciones Éticas

La presente investigación cumple con las normas establecidas por el comité de ética de la UPAO, al ser una investigación original en el campo de la elección modal como parte de la planificación del transporte en el distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo. Además, se utilizó las Normas APA Séptima Edición para citar las referencias bibliográficas que se utilizó como consulta en esta investigación.

V. RESULTADOS

5.1. Análisis Estadístico Descriptivo de la base de datos

5.1.1. Distribución por Sexo

Tabla 30

Frecuencia de la Muestra según Sexo

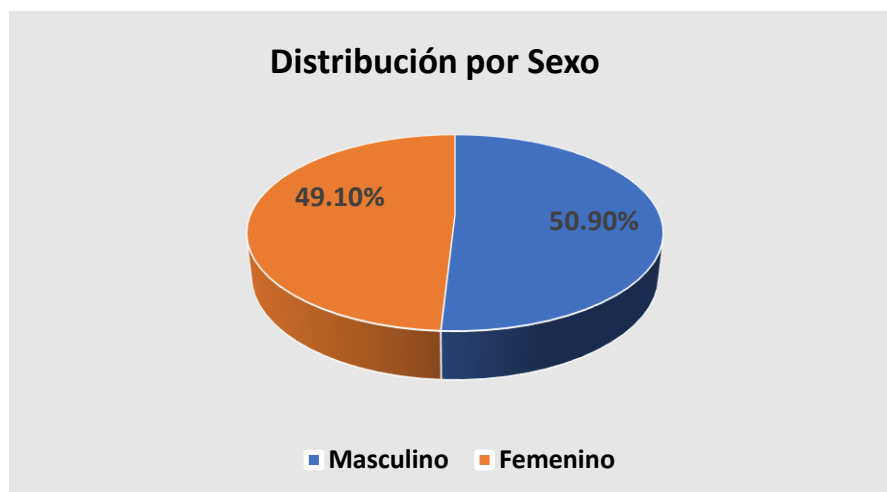
Sexo	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
Masculino	194	50.9%
Femenino	187	49.1%
Total	381	100%

Fuente: Elaboración propia

Del total de encuestados se observa que, el 50.9% son de sexo masculino, y el 49.1% son de sexo femenino, ver Tabla 30.

Figura 14

Distribución por Sexo



Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Distribución por Edad

Tabla 31

Frecuencia según la Edad

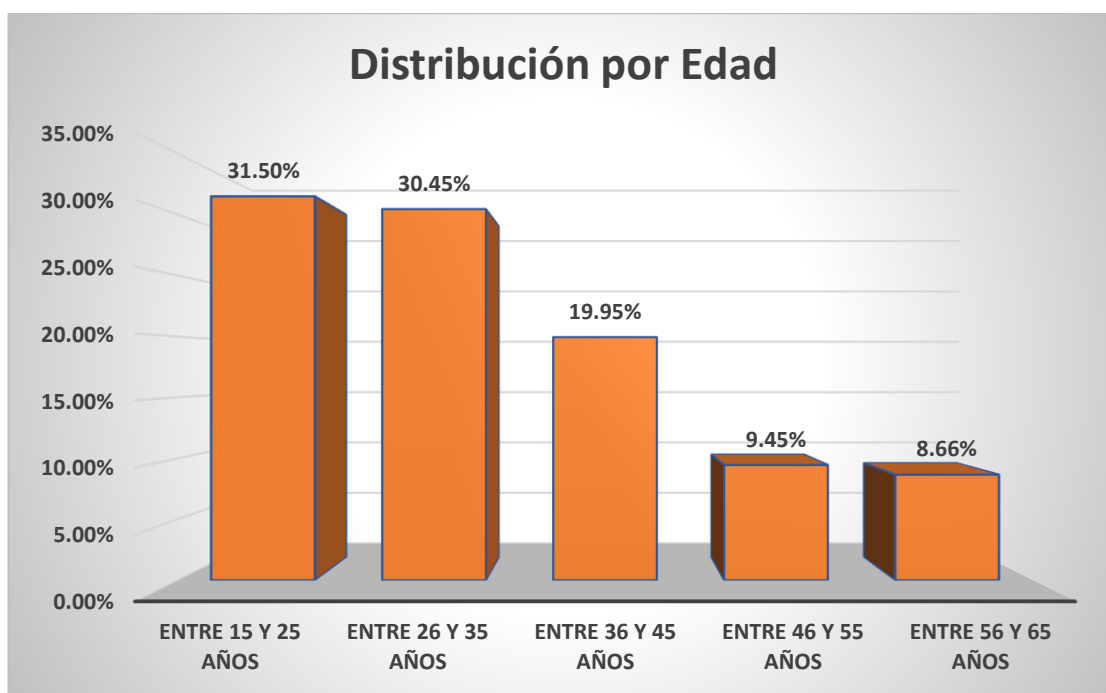
CATEGORÍA	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
Entre 15 y 25 años	120	31.50%
Entre 26 y 35 años	116	30.45%
Entre 36 y 45 años	76	19.95%
Entre 46 y 55 años	36	9.45%
Entre 56 y 65 años	33	8.66%
TOTAL	381	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

Del total de encuestados se observa que, el 31.50% corresponde a personas entre 15 y 25 años, el 30.45% entre 26 y 35 años, el 19.95% entre 36 y 45 años, el 9.45% entre 46 y 55 años y el 8.66% corresponde a personas entre 56 y 65 años. ver Tabla 31.

Figura 15

Distribución por Edad



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Distribución según Situación Laboral

Tabla 32

Frecuencia según Situación Laboral

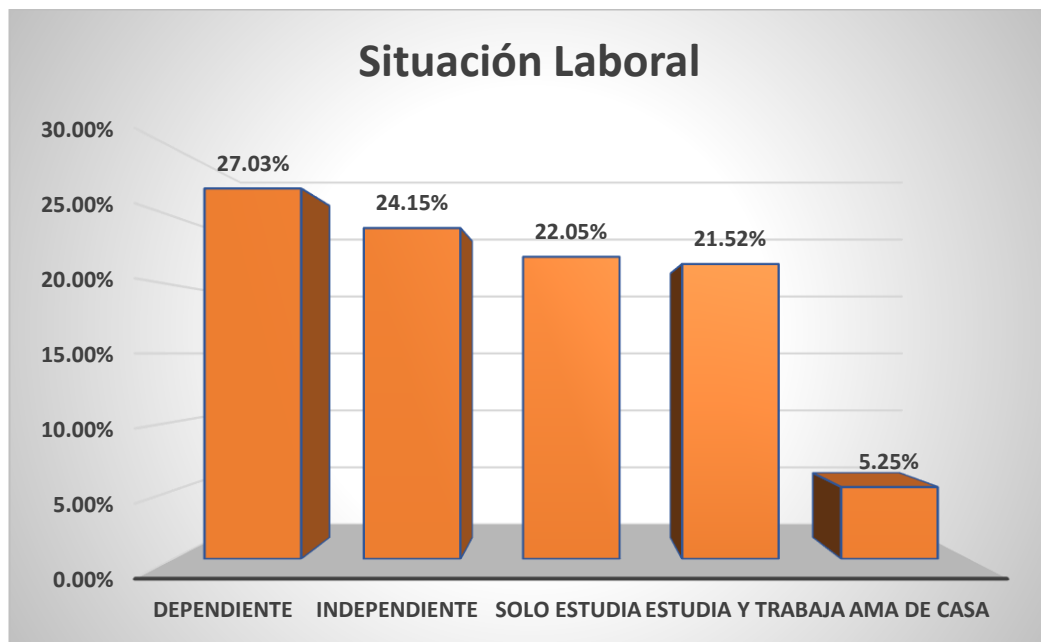
CATEGORIA	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
Dependiente	103	27.03%
Independiente	92	24.15%
Solo estudia	84	22.05%
Estudia y trabaja	82	21.52%
Ama de casa	20	5.25%
TOTAL	381	100%

Fuente: Elaboración propia.

Del total de encuestados se observa que, el 27.03% corresponde a personas con un trabajo dependiente, el 24.15% son independientes, el 22.05% solo estudia, el 21.52% estudia y trabaja, y el 5.25% es ama de casa. Ver tabla 32.

Figura 16

Distribución según Situación Laboral



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Distribución según Nivel Académico

Tabla 33

Frecuencia según Nivel Académico

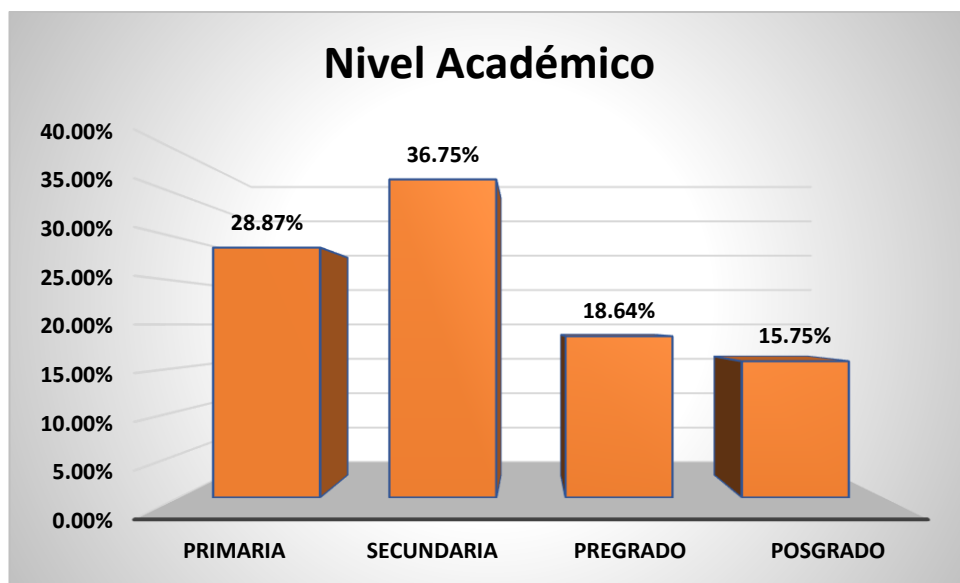
CATEGORIA	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
Primaria	110	28.87%
Secundaria	140	36.75%
Pregrado	71	18.64%
Posgrado	60	15.75%
TOTAL	381	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

Del total de encuestados se observa que, el 28.87% tiene estudios solo de primaria, el 36.75% tiene estudios secundarios, el 18.64% de pregrado y el 15.75% tiene un posgrado. ver tabla 33.

Figura 17

Distribución según Nivel Académico



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5. Preferencia del Modo de Transporte

Tabla 34

Frecuencia de preferencia de Modo de Transporte

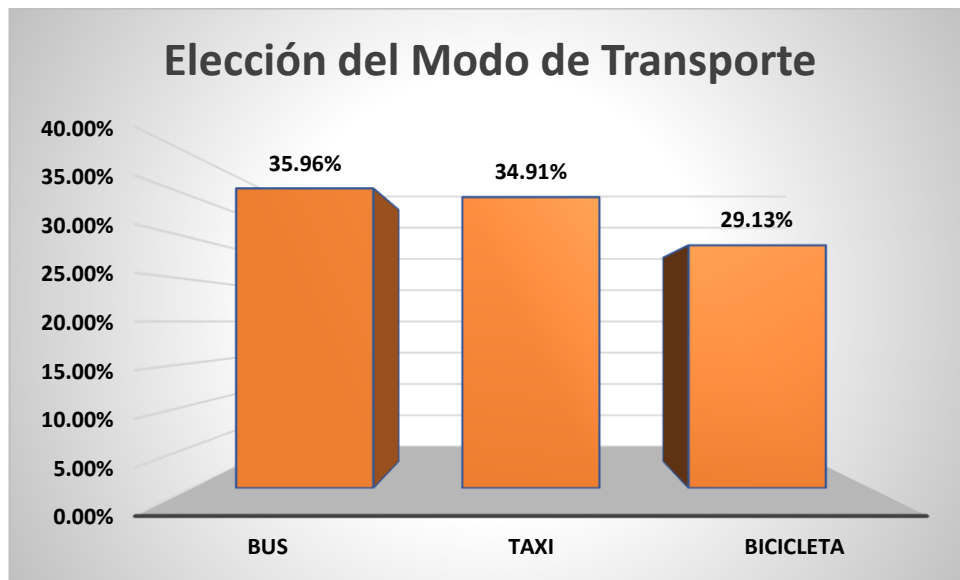
MODO DE TRANSPORTE	<i>Frecuencia Absoluta</i>	<i>Frecuencia Relativa</i>
Bus	137	35.96%
Taxi	133	34.91%
Bicicleta	111	29.13%
Total	381	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

Del total de encuestados se observa que, el 35.96% tiene preferencia por el *bus*, el 34.91% por el *taxi* y el 29.13% tiene preferencia por la *bicicleta*, ver Tabla 34.

Figura 18

Preferencia del Modo de Transporte



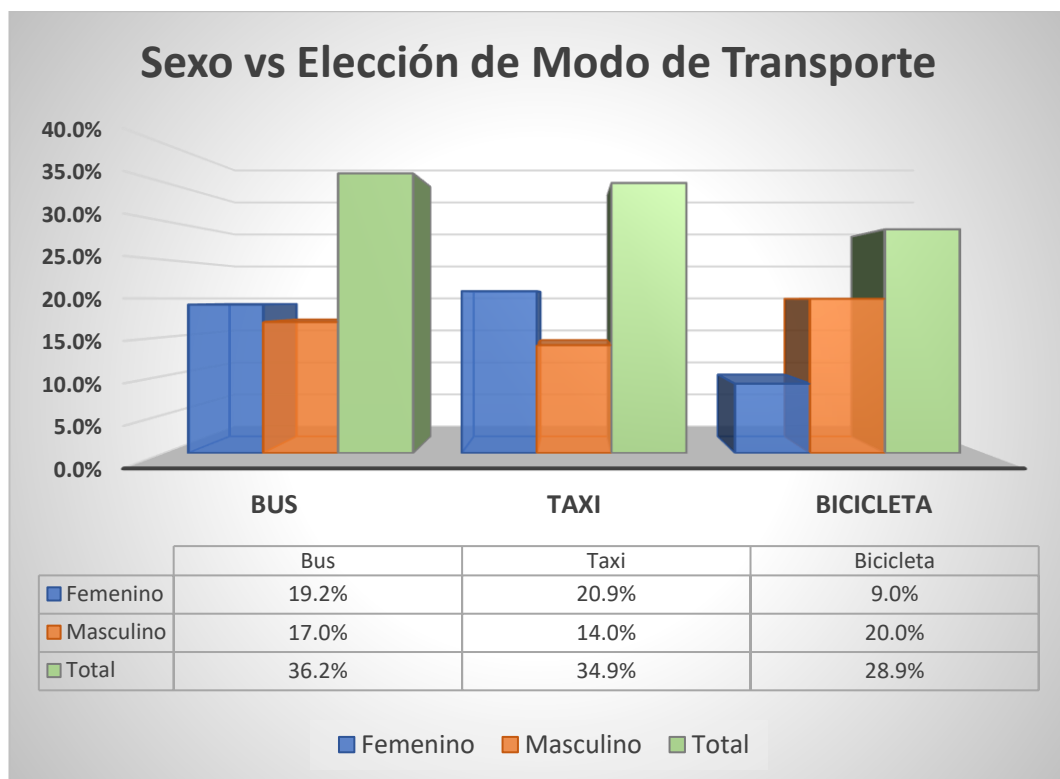
Fuente: Elaboración propia

5.1.6. Sexo vs Preferencia de Modo de Transporte

Del total de hombres encuestados, el 17% tuvo inclinación por el *bus*, el 14% por el *taxi* y el 20% por la *bicicleta*. También, del total de mujeres encuestadas, el 19.2% tuvo inclinación por el *bus*, el 20.9% por el *taxi* y el 9% por la *bicicleta*. Ver figura 19.

Figura 19

Sexo vs Elección de Modo de Transporte



Fuente: Elaboración propia.

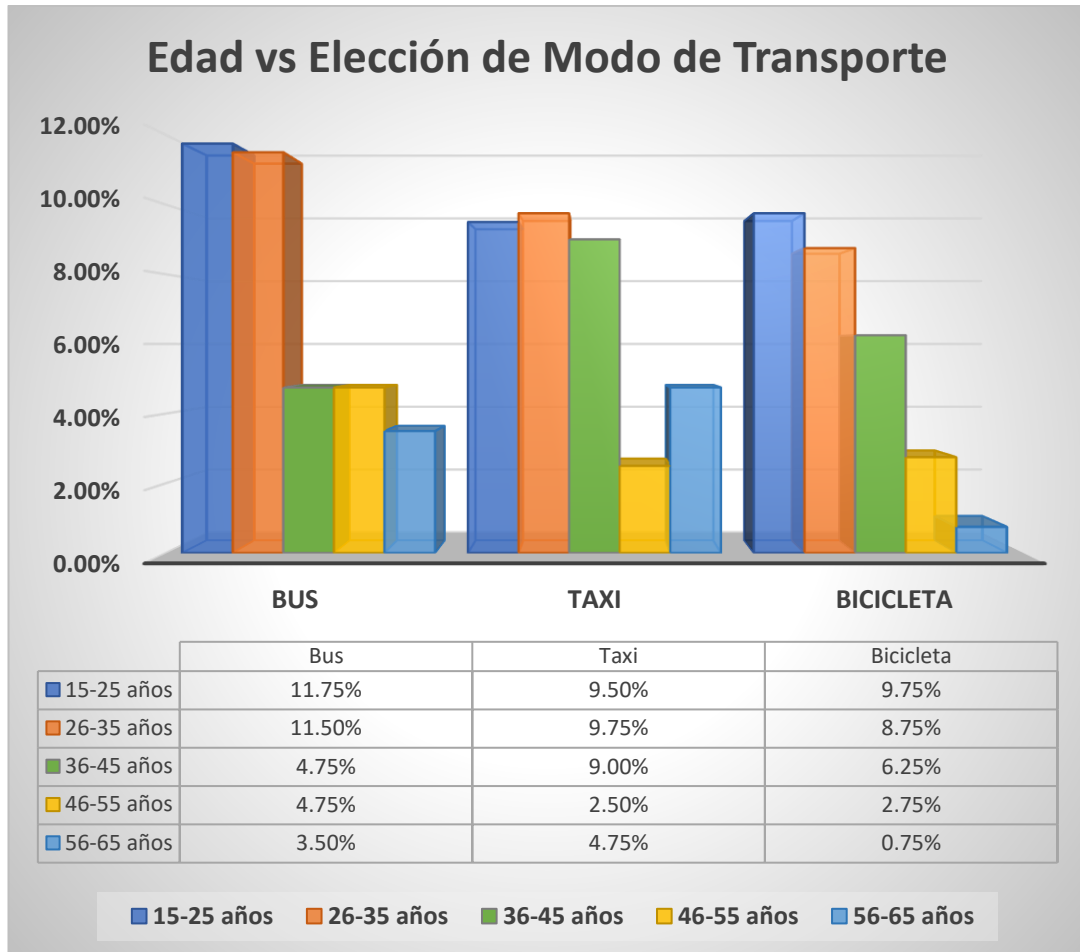
5.1.7. Edad vs Preferencia de Modo de Transporte

Para efectos de esta investigación se consideró a personas cuyas edades oscilan entre los 15 y 65 años, de los cuales sus preferencias se distribuyeron de la siguiente forma:

- **Entre 15 y 25 años:** El 11.75% se inclinaron por el *bus*, el 9.50% por el *taxi* y el 9.75% por la *bicicleta*.
- **Entre 26 y 35 años:** El 11.50% se inclinaron por el *bus*, el 9.75% por el *taxi* y el 8.75% por la *bicicleta*.
- **Entre 36 y 45 años:** El 4.75% se inclinaron por el *bus*, el 9.00% por el *taxi* y el 6.25% por la *bicicleta*.
- **Entre 46 y 55 años:** El 4.75% se inclinaron por el *bus*, el 2.50% por el *taxi* y el 2.75% por la *bicicleta*.
- **Entre 56 y 65 años:** El 3.50% se inclinaron por el *bus*, el 4.75% por el *taxi* y el 0.75% por la *bicicleta*.

Figura 20

Edad vs Elección de Modo de Transporte



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Estimación modal mediante modelos logit multinomial.

En esta sección se presenta, la estimación de elección modal aplicado al distrito de Víctor Larco Herrera, mediante los modelos de elección discreta; particularmente se utilizó los modelos logit multinomial; que, a su vez fueron estimados mediante el software Biogeme de código abierto (Bierlaire, 2020).

Los modos de transportes que se consideró en esta investigación son el *bus*, *taxi* y *bicicleta*, que representan las variables dependientes del modelo; por lo tanto, la ecuación [7], queda expresada de la siguiente forma:

$$U_{bus} = \beta_{bus} + \beta_1 q_{bus1} + \beta_2 q_{bus2} + \dots + \beta_n q_{busn} + \varepsilon_{bus}$$

$$U_{taxi} = \beta_{taxi} + \beta_1 q_{taxi1} + \beta_2 q_{taxi2} + \dots + \beta_n q_{taxin} + \varepsilon_{taxi} \quad [13]$$

$$U_{bici} = \beta_{bici} + \beta_1 q_{bici1} + \beta_2 q_{bici2} + \dots + \beta_n q_{bicin} + \varepsilon_{bici}$$

La expresión [13], es un modelo matemático que representa la Utilidad de cada alternativa que se intenta maximizar desde la perspectiva del modelador.

Cabe resaltar que dicha utilidad está representada por una parte determinística V_q y una parte probabilística ε_q . La parte determinística V_q , queda expresada así:

$$\begin{aligned} V_{bus} &= \beta_{bus} + \beta_1 q_{bus1} + \beta_2 q_{bus2} + \dots + \beta_n q_{busn} \\ V_{taxi} &= \beta_{taxi} + \beta_1 q_{taxi1} + \beta_2 q_{taxi2} + \dots + \beta_n q_{taxin} \\ V_{bici} &= \beta_{bici} + \beta_1 q_{bici1} + \beta_2 q_{bici2} + \dots + \beta_n q_{bicin} \end{aligned} \quad [14]$$

Donde:

V_{bus} : Función de utilidad del *bus*

V_{taxi} : Función de utilidad del *taxi*

V_{bici} : Función de utilidad de la *bicicleta*

Las funciones de utilidad están compuestas por variables explicativas y parámetros a estimar. Las variables explicativas son: $q_{bus1}, q_{taxi1}, q_{bici1}, q_{bus2}, \dots, q_{bicin}$. Estos valores se obtienen de la base datos que se obtuvo de aplicar la encuesta de preferencia declarada en el distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo.

Por otra parte, los parámetros a estimar pertenecientes a las funciones de utilidad de cada alternativa son:

β_{bus} : Constante específica del *bus*.

β_{taxi} : Constante específica del *taxi*.

β_{bici} : Constante específica de la *bicicleta*.

β_i ; $i = \overline{1, n}$: Parámetro asociado a las variables explicativas de cada alternativa.

Para la estimación de dichos parámetros se utilizó el programa Biogeme, cuyos resultados, según Bierlaire (2020), son valores que están expresados en términos logarítmicos; y, al ser reemplazados en las funciones de utilidad de la expresión [14] también se obtendrán valores logarítmicos para las utilidades; por tanto, se requiere transformar dichos resultados en términos probabilísticos entre cero y uno, con el objetivo de poder comparar dichas utilidades y elegir aquella que tenga un mayor valor. Según Ortúzar y Willumsen (2008), existen diversos métodos matemáticos para transformar los valores logarítmicos. En esta investigación se utilizó los modelos logit multinomial, cuyas ecuaciones quedan definida de la siguiente forma:

$$P_{bus} = \frac{e^{V_{bus}}}{e^{V_{bus}} + e^{V_{taxi}} + e^{V_{bici}}} \quad [15]$$

$$P_{taxi} = \frac{e^{V_{taxi}}}{e^{V_{bus}} + e^{V_{taxi}} + e^{V_{bici}}} \quad [16]$$

$$P_{bici} = \frac{e^{V_{bici}}}{e^{V_{bus}} + e^{V_{taxi}} + e^{V_{bici}}} \quad [17]$$

Donde:

V_{bus} : Función de utilidad del *bus*

V_{taxi} : Función de utilidad del *taxi*

V_{bici} : Función de utilidad de la *bicicleta*

P_{bus} : Probabilidad de elección del *bus*.

P_{taxi} : Probabilidad de elección del *taxi*.

P_{bici} : Probabilidad de elección de la *bicicleta*.

$e = 2.7182$: Constante de Napier o número de Euler.

A continuación, se describe los parámetros y variables que participan en los distintos modelos que se analizará más adelante; a su vez, se muestra la nomenclatura que se utilizó en el programa Biogeme.

Tabla 35

Nomenclatura de Parámetros

Parámetros a Estimar	Nomenclatura	Nomenclatura para Biogeme
Constante específica del <i>bus</i>	β_{bus}	CEA_BUS
Constante específica del <i>taxi</i>	β_{taxi}	CEA_TAXI
Constante específica de la <i>bicicleta</i>	β_{bici}	CEA_BICI
Parámetro asociado al <i>tiempo de viaje</i>	β_{tv}	B_TV
Parámetro asociado al <i>costo de viaje</i>	β_{cv}	B_CV
Parámetro asoc. al riesgo de contagio	β_{covid}	B_COVID
Parámetro asociado a la edad	β_{edad}	B_EDAD
Par. asoc. a infraestructura de <i>bicicleta</i>	β_{infra}	B_INFRA
Parámetro asociado al sexo	β_{sexo}	B_SEXO
Par. asociado al ingreso mensual	β_{ingr}	B_INGR

Fuente: Elaboración propia

Los valores de los parámetros de la tabla 35, será estimados por el programa Biogeme.

Tabla 36

Nomenclatura de Variables

Variables	Nomenclatura	Nomenclatura para Biogeme
Tiempo de viaje en <i>bus</i>	tv_{bus}	TV_BUS

Tiempo de viaje en <i>taxi</i>	tv_{taxi}	TV_TAXI
Tiempo de viaje en <i>bicicleta</i>	tv_{bici}	TV_BICI
Costo de viaje en <i>bus</i>	cv_{bus}	CV_BUS
Costo de viaje en <i>taxi</i>	cv_{taxi}	CV_TAXI
Riesgo de contagio por Covid en <i>bus</i>	$covid_{bus}$	COVID_BUS
Riesgo de contagio por Covid en <i>taxi</i>	$covid_{taxi}$	COVID_TAXI
Riesgo de contagio por Covid en <i>bici</i>	$covid_{bici}$	COVID_BICI
Infraestructura para <i>bicicleta</i>	$infra_{bici}$	INFRA_BICI
Edad de 15 a 25 años	$edad_1$	EDAD1
Edad de 26 a 35 años	$edad_2$	EDAD2
Edad de 36 a 45 años	$edad_3$	EDAD3
Edad de 46 a 55 años	$edad_4$	EDAD4
Edad de 56 a 65 años	$edad_5$	EDAD5
Sexo femenino	sex_1	SEX1
Sexo masculino	sex_2	SEX2
Ingr. mensual de S/ (0 – 500)	$ingr_1$	INGR1
Ingr. mens. de S/ (501 - 1025)	$ingr_2$	INGR2
Ingr. mens. de S/ (1026 – 2000)	$ingr_3$	INGR3
Ingr. mensual > S/ 2000	$ingr_4$	INGR4
Función de utilidad del <i>bus</i>	V_{bus}	V_BUS
Función de utilidad del <i>taxi</i>	V_{taxi}	V_TAXI
Función de utilidad de la <i>bicicleta</i>	V_{bici}	V_BICI

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de las variables de la tabla 36, se encuentran en la base de datos y se asumirá de acuerdo en el escenario hipotético que se esté trabajando.

5.2.1. Estimación de Modelos

5.2.1.1. Modelo 1: Incluye las variables costo de viaje y tiempo de viaje.

El modelo que se analiza en esta sección se considera un modelo básico, ya que participan solo las variables principales: *costo de viaje* y *tiempo de viaje*.

La expresión matemática [Mod. 1], muestra la estructura del modelo, cuya nomenclatura de los parámetros y variables se explica en las tablas 35 y 36 respectivamente.

$$V_{bus} = \beta_{bus} + \beta_{tv} * tv_{bus} + \beta_{cv} * cv_{bus}$$

$$V_{taxi} = \beta_{taxi} + \beta_{tv} * tv_{taxi} + \beta_{cv} * cv_{taxi} \quad [\text{Mod. 1}]$$

$$V_{bici} = \beta_{bici} + \beta_{tv} * tv_{bici} + \beta_{cv} * 0$$

La estimación de las constantes y parámetros de la expresión [Mod. 1], se realiza en el programa Biogeme, cuyos resultados se muestran en la tabla 37. La sintaxis del programa se muestra en el Anexo 2.

Tabla 37

Estimación de Parámetros del Modelo 1

Estimated parameters

Name	Value	Std err	t-test	p-value	Rob. Std err	Rob. t-test	Rob. p-value
CEA_BICI	-1.899	0.359	-5.290	1.389e-07	0.36	-5.2750	1.449e-07
CEA_TAXI	-0.896	0.453	-1.978	0.0714	0.456	-1.9649	0.0731
B_CV	-0.496	0.0804	-6.169	6.938e-10	0.081	-6.1235	8.738e-10
B_TV	-0.116	0.0279	-4.158	4.328e-05	0.0281	-4.1281	4.878e-05

Nota: Valores estimados por el programa Biogeme.

Como se puede observar en la tabla 37, los resultados son significativos con un nivel de confianza mayor al 95%; es decir, los valores Rob. t-test, son

mayores o iguales a 1.96 en valor absoluto. Otro buen indicador de que estos resultados son correctos es que, el signo de los parámetros asociados a las variables: *costo de viaje* y *tiempo de viaje*, son negativos.

Una vez obtenido los parámetros, el siguiente paso es evaluar las funciones de utilidad y la probabilidad de elección de cada alternativa del **[Mod.1]**. Para ello, el valor de las variables se tiene que considerar en los nueve escenarios hipotéticos que se construyó en la encuesta de preferencia declarada. A continuación, se hace el análisis para cada uno de los 9 escenarios hipotéticos:

a) Escenario 1

Los valores de las variables y parámetros se toman de la tabla 13 y 37 respectivamente; posterior a ello, estos valores se reemplazan en la expresión **[Mod.1]**, obteniéndose la siguiente expresión:

$$V_{bus} = 0 - 0.116 * 25 - 0.496 * 1.0$$

$$V_{taxi} = -0.896 - 0.116 * 8 - 0.496 * 4.0$$

$$V_{bici} = -1.899 - 0.116 * 14 + \beta_{cv} * 0$$

De donde se obtiene:

$$V_{bus} = -3.396$$

$$V_{taxi} = -3.808$$

$$V_{bici} = -3.523$$

Estos valores pertenecen a las utilidades de cada alternativa. El siguiente paso es calcular las probabilidades de elección de cada alternativa; para ello, dichos valores se reemplazan en las ecuaciones **[15]**, **[16]** y **[17]**; es decir:

$$P_{bus} = \frac{e^{-3.396}}{e^{-3.396} + e^{-3.808} + e^{-3.523}}$$

$$P_{taxi} = \frac{e^{-3.808}}{e^{-3.396} + e^{-3.808} + e^{-3.523}}$$

$$P_{bici} = \frac{e^{-3.523}}{e^{-3.396} + e^{-3.808} + e^{-3.523}}$$

De donde se obtiene:

$$P_{bus} = 39.32\%$$

$$P_{taxi} = 26.04\%$$

$$P_{bici} = 34.63\%$$

Estos valores, representan la probabilidad de que cada alternativa sea escogida como modo de transporte bajo las condiciones del escenario 1. Según los resultados, la alternativa con mayor preferencia es el *bus*, con una probabilidad de elección igual a 39.32%, el segundo lugar lo ocupa la *bicicleta*, con una probabilidad de elección del 34.63% y por último, el *taxi*, con una probabilidad de elección igual a 26.04%.

b) Escenario 2

Los valores de las variables y parámetros se toman de la tabla 14 y 37 respectivamente; posterior a ello, estos valores se reemplazan en la expresión [Mod.1], obteniéndose la siguiente expresión:

$$V_{bus} = 0 - 0.116 * 25 - 0.496 * 1.5$$

$$V_{taxi} = -0.896 - 0.116 * 8 - 0.496 * 5.5$$

$$V_{bici} = -1.899 - 0.116 * 14 + \beta_{cv} * 0$$

De donde:

$$V_{bus} = -3.644$$

$$V_{taxi} = -4.552$$

$$V_{bici} = -3.523$$

Estos valores se reemplazan en las ecuaciones [15], [16] y [17]:

$$P_{bus} = \frac{e^{-3.644}}{e^{-3.644} + e^{-4.552} + e^{-3.523}}$$

$$P_{taxi} = \frac{e^{-4.552}}{e^{-3.892} + e^{-5.792} + e^{-3.523}}$$

$$P_{bici} = \frac{e^{-3.523}}{e^{-3.892} + e^{-5.792} + e^{-3.523}}$$

De donde se obtiene:

$$P_{bus} = 39.50\%$$

$$P_{taxi} = 15.93\%$$

$$P_{bici} = 44.58\%$$

Estos valores, representan la probabilidad de que cada alternativa sea escogida como modo de transporte bajo las condiciones del escenario 2. Según los resultados, la alternativa con mayor preferencia es la *bicicleta*, con una probabilidad de elección igual a 44.58%, el segundo lugar va para el *bus*, con una probabilidad de elección igual a 39.50% y por último, el *taxi*, con una probabilidad de elección igual a 15.93%.

Análogamente, se calcula la probabilidad de elección del modelo 1, en los 7 escenarios restantes. En la tabla 38, se presentan los resultados probabilísticos de elección del modelo 1 en los 9 escenarios hipotéticos.

Tabla 38

Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 1

MODELO 1						
Escenario	V_{bus}	V_{taxi}	V_{bici}	P_{bus}	P_{taxi}	P_{bici}
1	-3.396	-3.808	-3.523	39.32%	26.04%	34.63%
2	-3.644	-4.552	-3.523	39.50%	15.93%	44.58%
3	-3.892	-5.296	-3.523	37.15%	9.12%	53.73%

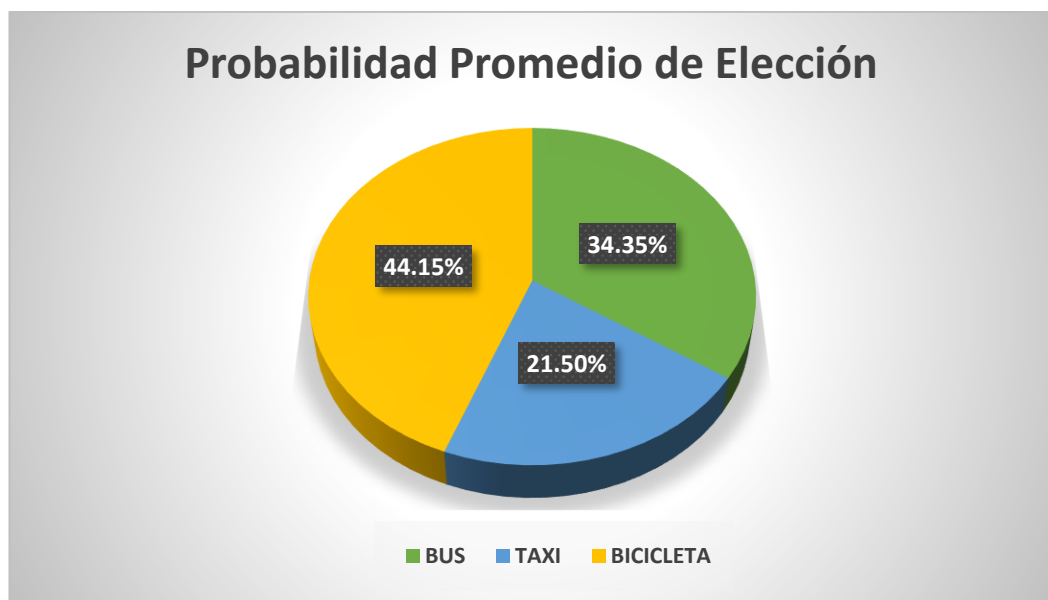
4	-3.976	-4.04	-3.987	34.16%	32.05%	33.79%
5	-4.224	-4.784	-3.987	35.23%	20.12%	44.65%
6	-4.472	-5.528	-3.987	33.65%	11.70%	54.65%
7	-4.556	-4.272	-4.451	29.08%	38.63%	32.30%
8	-4.804	-5.016	-4.451	30.94%	25.03%	44.03%
9	-5.052	-5.76	-4.451	30.15%	14.85%	54.99%
Promedio	-4.22	-4.78	-3.99	34.35%	21.50%	44.15%

Fuente: Elaboración propia.

Cada resultado que muestra la tabla 38, diverge en cada escenario; sin embargo, el promedio muestra que la *bicicleta* es el modo de transporte con mayor preferencia en los ciudadanos de Víctor Larco Herrera, bajo las condiciones del modelo1. En la figura 21, se muestra el gráfico estadístico de la probabilidad promedio de los escenarios hipotéticos en el modelo 1.

Figura 21

Probabilidad Promedio de los escenarios en el Modelo 1



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2. Modelo 2: Incluye la variable *Riesgo por contagio de covid-19*

En este modelo se adiciona la variable *riesgo por contagio de covid-19*, a las variables ya existentes (*tiempo de viaje y costo de viaje*). El objetivo de la inclusión de esta variable es determinar cómo actúan las personas en la elección del modo de transporte en una situación de pandemia.

En la expresión [Mod.2], se muestra la estructura del modelo 2.

$$V_{bus} = \beta_{bus} + \beta_{tv} * tv_{bus} + \beta_{cv} * cv_{bus} + \beta_{covid} * covid_{bus}$$

$$V_{taxi} = \beta_{taxi} + \beta_{tv} * tv_{taxi} + \beta_{cv} * cv_{taxi} + \beta_{covid} * covid_{taxi} \quad [\text{Mod.2}]$$

$$V_{bici} = \beta_{bici} + \beta_{tv} * tv_{bici} + \beta_{cv} * 0 + \beta_{covid} * covid_{taxi}$$

Los valores de los parámetros, se muestran en la tabla 39. Dichos valores fueron estimados por el software Biogeme.

Tabla 39

Estimación de Parámetros del Modelo 2

Estimated parameters

Name	Value	Std err	t-test	p-value	Rob. Std err	Rob. t-test	Rob. p-value
CEA_TAXI	-1.099	0.559	-1.966	0.02014	0.499	-2.2024	0.0281
CEA_BICI	-2.097	0.373	-5.622	3.93e-09	0.356	-5.8904	3.449e-09
B_TV	-0.129	0.0104	-12.404	1.538e-05	0.0281	-4.5907	1.778e-05
B_CV	-0.454	0.0279	-16.272	1.328e-09	0.0788	-5.7614	1.4847e-09
B_COVID	-0.301	0.0804	-3.744	1.938e-05	0.0499	-6.0321	1.738e-05

Nota: Parámetros obtenidos en el Programa Biogeme

Una vez obtenido los parámetros, el siguiente paso es evaluar las funciones de utilidad de cada alternativa del modelo 2; para ello, el valor de las variables se tiene que considerar de los nueve escenarios hipotéticos que se construyó en la encuesta de preferencia declarada. Siguiendo con el mismo

procedimiento de cálculo del modelo 1, en la tabla 40 se muestran los resultados de las utilidades y probabilidad de elección para cada escenario.

Tabla 40

Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 2

MODELO 2						
Escenario	V_{bus}	V_{taxi}	V_{bici}	P_{bus}	P_{taxi}	P_{bici}
1	-3.679	-3.947	-3.903	39.00%	29.83%	31.17%
2	-4.207	-4.929	-4.204	40.18%	19.52%	40.30%
3	-4.133	-5.309	-3.903	38.95%	12.02%	49.03%
4	-4.625	-4.506	-4.72	32.94%	37.10%	29.96%
5	-4.852	-5.187	-4.72	35.01%	25.04%	39.95%
6	-4.778	-5.567	-4.419	34.65%	15.74%	49.61%
7	-4.969	-4.463	-4.935	27.08%	44.91%	28.01%
8	-5.196	-5.144	-4.935	29.84%	31.43%	38.73%
9	-5.724	-6.126	-5.236	30.32%	20.28%	49.39%
Promedio	-4.68	-5.02	-4.55	34.22%	26.21%	39.57%

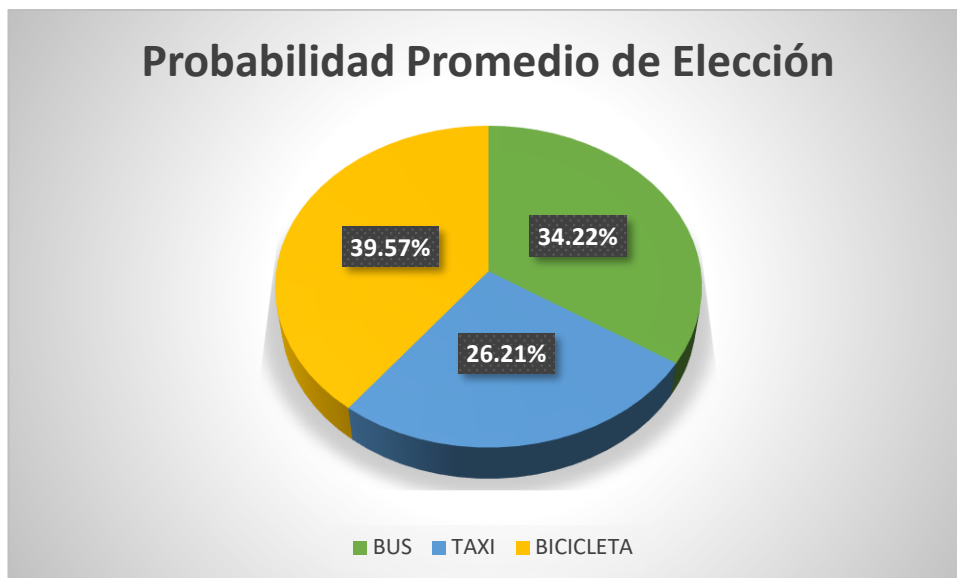
Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la tabla 40, la probabilidad de elección varía en cada escenario; sin embargo, la probabilidad promedio muestra que la *bicicleta* es el modo de transporte con mayor preferencia en tiempos de pandemia.

En la figura 22, se muestra el gráfico estadístico de la probabilidad promedio de los escenarios hipotéticos en el modelo 2.

Figura 22

Probabilidad Promedio de los escenarios en el Modelo 2



Fuente: Elaboración propia.

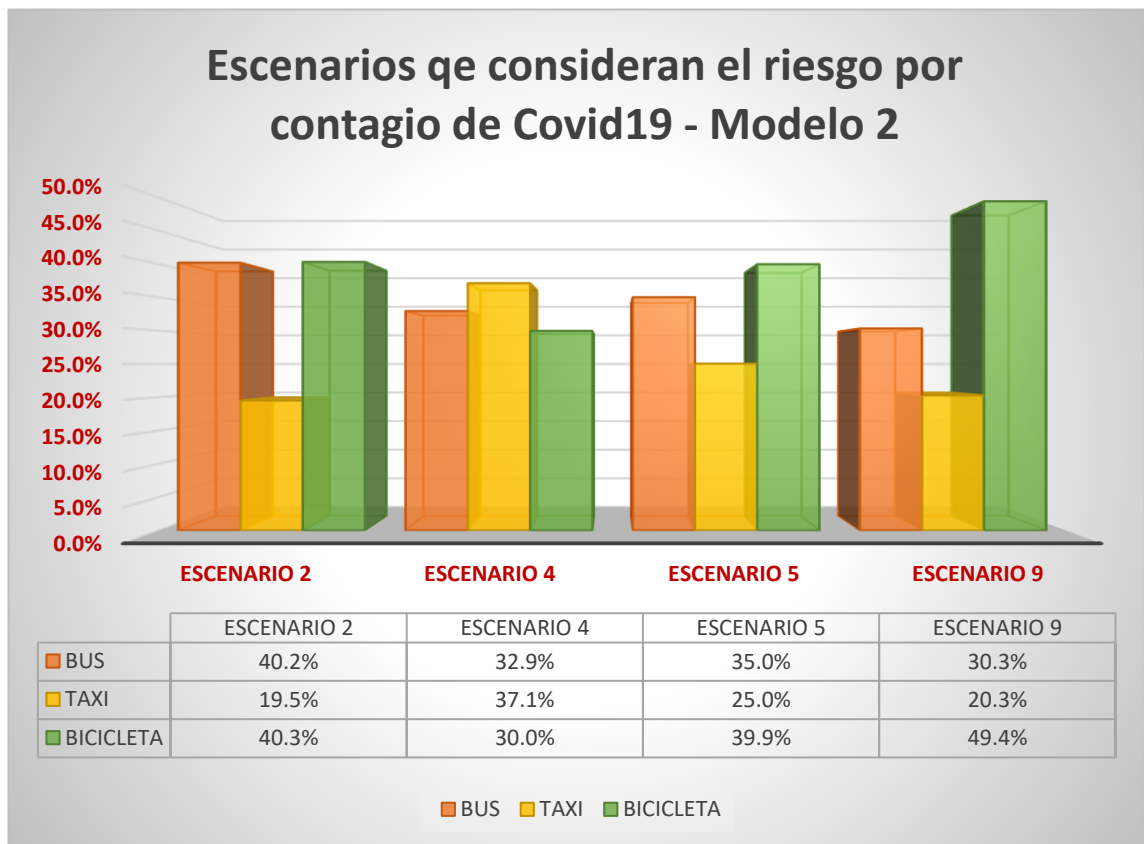
Si bien es cierto, en el modelo 2 se incluye la variable *Riesgo por contagio de covid-19*; sin embargo, no todos los escenarios consideran dicha variable. A continuación, se presenta un análisis comparativo entre la probabilidad de elección del modelo 1 y modelo 2, considerando los escenarios donde se incluye la variable en análisis.

5.2.1.2.1. Análisis comparativo de probabilidad de elección entre los modelos 1 y 2 considerando el Riesgo por contagio de covid-19.

Los escenarios 2, 4, 5 y 9 consideran la variable *Riesgo por contagio de covid-19*. La figura 23, muestra las probabilidades de elección de cada alternativa en el modelo 2.

Figura 23

Probabilidad de Elección en Escenarios que Consideran la Variable Riesgo por Contagio de covid-19 – Modelo2

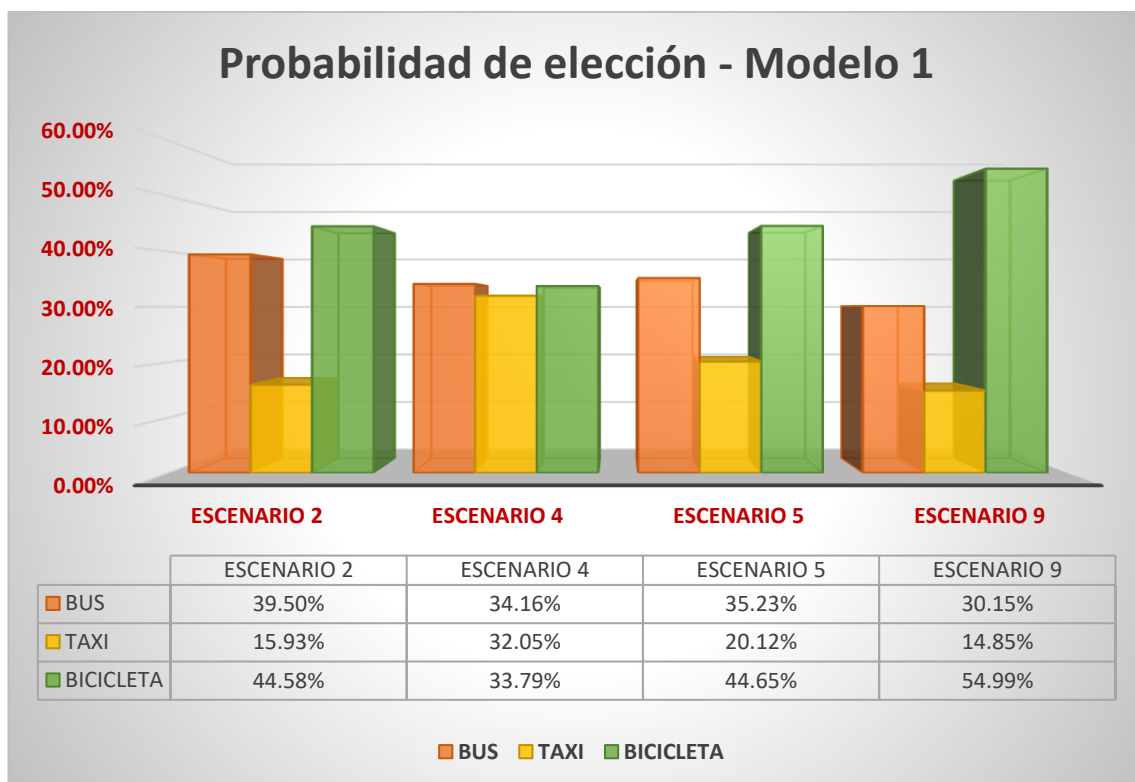


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 24, se muestra la probabilidad de elección de los escenarios: 2, 4, 5 y 9 en el modelo 1.

Figura 24

Probabilidad de elección de los escenarios: 2, 4, 5 y 9 - Modelo 1.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo de probabilidades de elección del modelo 1 y modelo 2, en los escenarios donde se considera la variable riesgo por contagio de covid-19.

Tabla 41

Cuadro Comparativo de Probabilidad de elección entre los modelos 1 y 2.

CUADRO COMPARATIVO		BUS	TAXI	BICICLETA
Escenario 2	Modelo 1	39.50%	15.93%	44.58%
	Modelo 2	40.18%	19.52%	40.30%
Escenario 4	Modelo 1	34.16%	32.05%	33.79%
	Modelo 2	32.94%	37.10%	29.96%
Escenario 5	Modelo 1	35.23%	20.12%	44.65%
	Modelo 2	35.01%	25.04%	39.95%
Escenario 9	Modelo 1	30.15%	14.85%	54.99%
	Modelo 2	30.32%	20.28%	49.39%

Nota: Elaboración propia.

La tabla 41, muestra que en el caso del *taxi* aumenta la probabilidad de elección, mientras en el *bus* y la *bicicleta* la probabilidad baja.

5.2.1.3. Modelo 3: Incluye la variable *infraestructura para la bicicleta*

En este modelo se analizan las variables, *costo de viaje*, *tiempo de viaje* e *infraestructura para la bicicleta*. Este modelo permitirá evaluar que tan relevante es la existencia de una *infraestructura para la bicicleta* al momento de elegirla como modo transporte. En la expresión **[Mod.3]**, se muestra la estructura del modelo.

$$V_{bus} = \beta_{bus} + \beta_{tv} * tv_{bus} + \beta_{cv} * cv_{bus} + \beta_{infra} * 0$$

$$V_{taxi} = \beta_{taxi} + \beta_{tv} * tv_{taxi} + \beta_{cv} * cv_{taxi} + \beta_{infra} * 0 \quad \text{[Mod.3]}$$

$$V_{bici} = \beta_{bici} + \beta_{tv} * tv_{bici} + \beta_{cv} * 0 + \beta_{infra} * infra_{bici}$$

Los valores de los parámetros, se muestran en la tabla 42. Dichos valores fueron estimados por el software Biogeme.

Tabla 42

Estimación de Parámetros del Modelo 3

Estimated parameters

Name	Value	Std err	t-test	p-value	Rob. Std err	Rob. t-test	Rob. p-value
CEA_BUS	2.369	0.353	6.711	1.249e-10	0.359	6.5989	1.249e-10
CEA_TAXI	1.419	0.243	5.840	1.909e-09	0.251	5.6534	1.809e-09
B_TV	-0.121	0.0294	-4.116	2.37e-05	0.0291	-4.1581	2.407e-05
B_CV	-0.501	0.0779	-6.431	3.649e-10	0.0788	-6.3579	3.949e-10
B_INFRA	0.597	0.0869	6.870	0	0.0899	6.6407	0

Nota: Parámetros obtenidos por el programa Biogeme

Siguiendo con el mismo procedimiento de cálculo del modelo 1 y 2, en la tabla 43, se muestran los resultados de las utilidades y probabilidad para cada escenario.

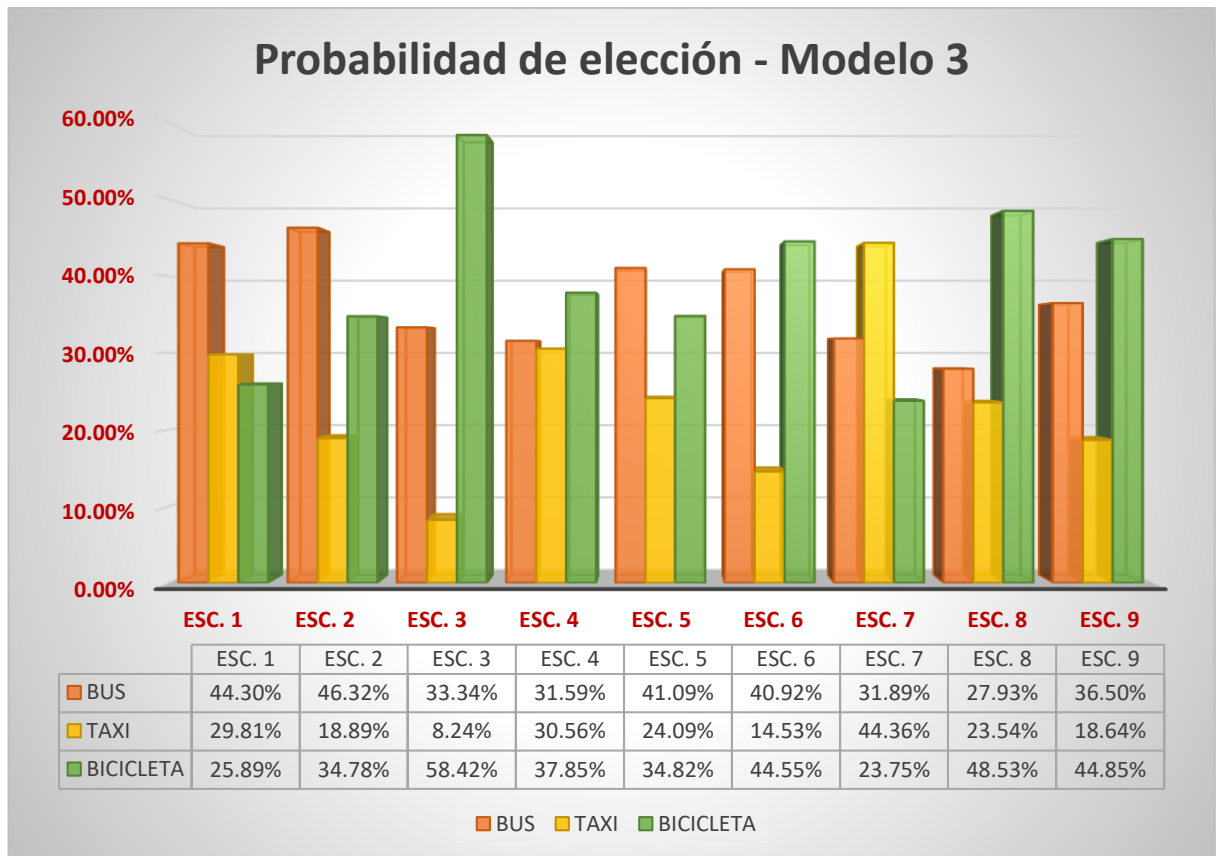
Tabla 43*Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 3*

MODELO 3						
Escenario	V_{bus}	V_{taxi}	V_{bici}	P_{bus}	P_{taxi}	P_{bici}
1	-1.157	-1.553	-1.694	44.30%	29.81%	25.89%
2	-1.407	-2.304	-1.694	46.32%	18.89%	34.78%
3	-1.658	-3.056	-1.097	33.34%	8.24%	58.42%
4	-1.762	-1.795	-1.581	31.59%	30.56%	37.85%
5	-2.012	-2.546	-2.178	41.09%	24.09%	34.82%
6	-2.263	-3.298	-2.178	40.92%	14.53%	44.55%
7	-2.367	-2.037	-2.662	31.89%	44.36%	23.75%
8	-2.617	-2.788	-2.065	27.93%	23.54%	48.53%
9	-2.868	-3.540	-2.662	36.50%	18.64%	44.85%
Promedio	-2.01	-2.55	-1.98	37.10%	23.63%	39.27%

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 43, la probabilidad de elección varía en cada escenario para cada modo de transporte; sin embargo, la probabilidad promedio muestra que la *bicicleta* es el modo de transporte con mayor preferencia cuando existe una infraestructura exclusiva para ella. En la figura 25, se muestra el gráfico estadístico de la probabilidad de elección en el modelo 3.

Figura 25*Probabilidad de elección Modal - Modelo 3.*



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.4. Modelo 4: Incluye la variable *ingreso mensual (categoría 1)*

En este modelo se analizan las variables: *costo de viaje, tiempo de viaje e ingreso mensual (categoría 1)*. La inclusión de esta variable permite evaluar la elección de modo de transporte considerando el nivel económico de las personas.

En la expresión [Mod. 4], se muestra la estructura del modelo.

$$V_{bus} = \beta_{bus} + \beta_{tv} * tv_{bus} + \beta_{cv} * cv_{bus} + \beta_{ingr} * ingr_1$$

$$V_{taxi} = \beta_{taxi} + \beta_{tv} * tv_{taxi} + \beta_{cv} * cv_{taxi} + \beta_{ingr} * ingr_1 \quad [\text{Mod.4}]$$

$$V_{bici} = \beta_{bici} + \beta_{tv} * tv_{bici} + \beta_{cv} * 0 + \beta_{ingr} * ingr_1$$

La variable $ingr_1$, está relacionada a las personas que tienen un ingreso mensual menores a S/. 501; por tanto, esta variable asume el valor de 1 cuando el dato corresponde a una persona cuyo ingreso mensual oscila en ese rango. Para

evaluar los parámetros en el programa Biogeme, se tiene que excluir de la base de datos a aquellas personas cuyo ingreso mensual esté en otro rango; posterior a ello, la nueva base de datos se analizará en los nueve escenarios hipotéticos.

Los valores de los parámetros se muestran en la tabla 44. Dichos parámetros fueron estimados por el programa Biogeme.

Tabla 44

Estimación de Parámetros del Modelo 4.

Estimated parameters

Name	Value	Std err	t-test	p-value	Rob. Std err	Rob. t-test	Rob. p-value
CEA_BICI	-2.899	0.369	-7.856	5.249e-15	0.375	-7.7307	6.249e-15
CEA_TAXI	-1.909	0.601	-3.176	0.000187	0.513	-3.7212	0.00101
B_TV	-0.121	0.0294	-4.116	2.37e-05	0.0289	-4.1869	2.407e-05
B_CV	-0.501	0.0879	-5.700	3.649e-10	0.0788	-6.3579	3.749e-10
B_INGR	-0.525	0.0401	-13.092	0	0.0499	-10.5210	0

Nota: Parámetros estimados con el programa Biogeme.

Siguiendo con el mismo procedimiento de cálculo del modelo 1, en la tabla 45, se muestran los resultados de las utilidades y probabilidad para cada escenario.

Tabla 45

Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 4.

MODELO 4						
Escenario	V_{bus}	V_{taxi}	V_{bici}	P_{bus}	P_{taxi}	P_{bici}
1	-4.051	-5.406	-5.118	62.42%	16.10%	21.48%
2	-4.3015	-6.1575	-5.118	62.57%	9.78%	27.65%
3	-4.552	-6.909	-5.118	60.15%	5.70%	34.15%
4	-4.656	-5.648	-5.602	56.85%	21.08%	22.07%
5	-4.9065	-6.3995	-5.602	58.02%	13.04%	28.94%
6	-5.157	-7.151	-5.602	56.28%	7.66%	36.06%

7	-5.261	-5.89	-6.086	50.73%	27.04%	22.23%
8	-5.5115	-6.6415	-6.086	53.02%	17.13%	29.85%
9	-5.762	-7.393	-6.086	52.11%	10.20%	37.69%
Promedio	-4.91	-6.40	-5.60	56.91%	14.19%	28.90%

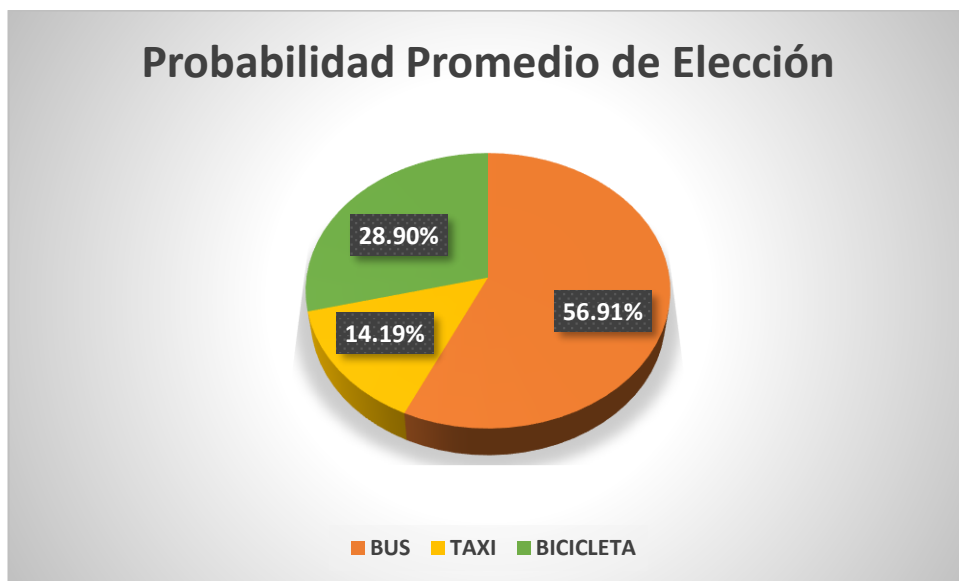
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 45, muestra que: el *bus*, es el modo de transporte preferido por los encuestados, con una probabilidad promedio de elección del 56.91%, el segundo lugar lo ocupa la *bicicleta*, con una probabilidad promedio de 28.90% y, por último, el *taxi*, con una probabilidad promedio de 14.19%.

En la figura 26, se muestra el gráfico estadístico de la probabilidad promedio de los escenarios hipotéticos en el modelo 2.

Figura 26

Probabilidad Promedio de los escenarios en el Modelo 4.

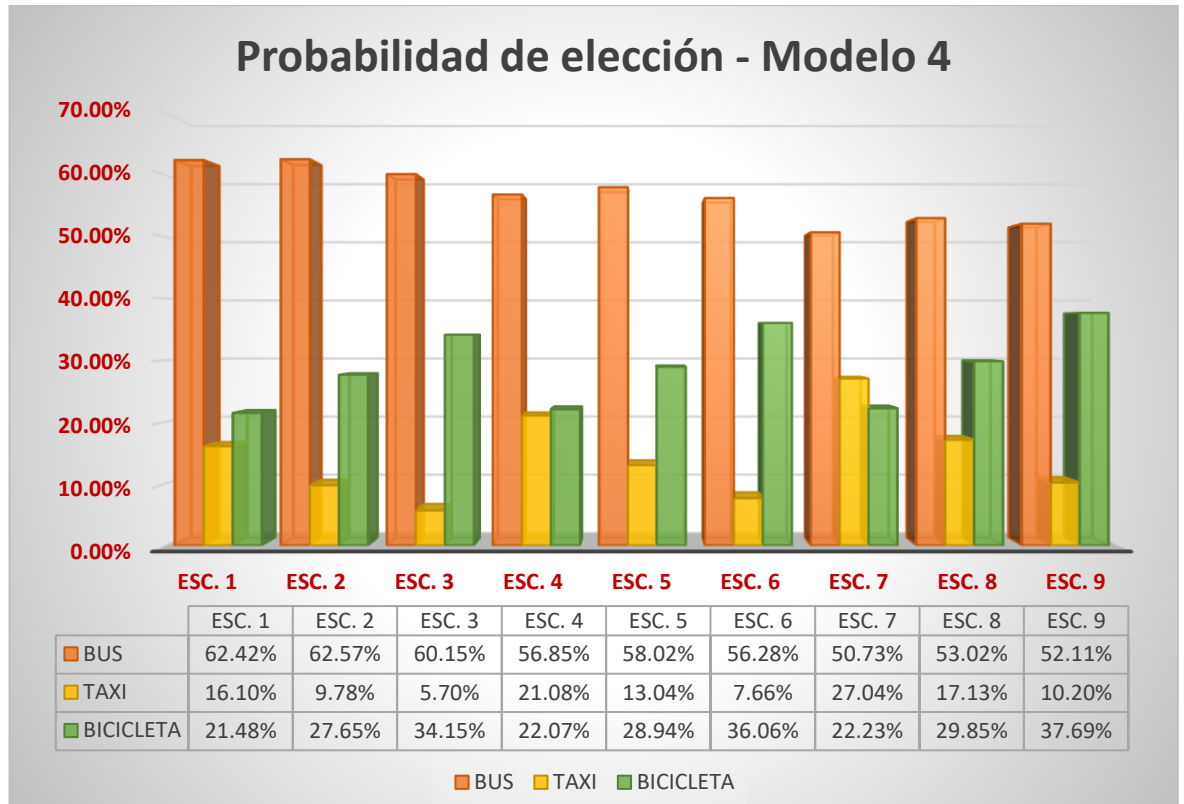


Fuente: Elaboración propia.

. En la figura 27, se muestra el gráfico estadístico de la probabilidad de elección en el modelo 4.

Figura 27

Probabilidad de elección Modal - Modelo 4.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.5. Modelo 5: Incluye las variables *ingreso mensual* y *Riesgo por contagio de covid-19*.

En este modelo se analizan las variables básicas, con la inclusión de las variables *riesgo por contagio de covid-19* e *ingreso mensual* (global). La inclusión de estas variables permite evaluar la elección de modo de transporte, considerando el nivel económico de las personas y a su vez, el riesgo por contagio a causas de la pandemia. La siguiente expresión, muestra la estructura del modelo.

$$V_{bus} = \beta_{bus} + \beta_{tv} * tv_{bus} + \beta_{cv} * cv_{bus} + \beta_{ingr} * ingr + \beta_{covid} * covid_{bus}$$

$$V_{taxi} = \beta_{taxi} + \beta_{tv} * tv_{taxi} + \beta_{cv} * cv_{taxi} + \beta_{ingr} * ingr + \beta_{covid} * covid_{taxi}$$

$$V_{bici} = \beta_{bici} + \beta_{tv} * tv_{bici} + \beta_{cv} * 0 + \beta_{ingr} * ingr + \beta_{covid} * covid_{bici}$$

La variable *ingr*, hace referencia al ingreso mensual de las personas. En el modelo 4, esta variable se restringió a aquellas personas que estaban en la primera categoría; es decir, la base de datos que se consideró, excluyó a aquellas personas que no estaban en esa categoría. En este modelo se va a considerar toda la base de datos, por tanto, esta variable asumirá el valor de 1 en todos los 9 escenarios.

Los valores de los parámetros se muestran en la tabla 46. Dichos parámetros fueron estimados por el programa Biogeme.

Tabla 46

Estimación de Parámetros del Modelo 5

Estimated parameters

Name	Value	Std err	t-test	p-value	Rob. Std err	Rob. t-test	Rob. p-value
CEA TAXI	-2.229	0.509	-4.379	1.549e-05	0.525	-4.2457	1.9329e-05
CEA BICI	-3.202	0.401	-7.985	0	0.413	-7.7530	0.00201
B TV	-0.128	0.0284	-4.507	1.07e-05	0.029	-4.4138	2.407e-05
B CV	-0.502	0.087	-5.770	1.649e-09	0.0788	-6.3706	3.649e-09
B COVID	-0.305	0.0501	-6.088	5.99e-07	0.0569	-5.3603	4.99e-07
B INGR	-0.523	0.0301	-17.375	0	0.0324	-16.1420	0

Nota: Parámetros estimados en el programa Biogeme.

Siguiendo con el mismo procedimiento de cálculo del modelo 1, en la tabla 47, se muestran los resultados de las utilidades y probabilidad para cada escenario.

Tabla 47

Utilidad y Probabilidad de Elección de las Alternativas del Modelo 5.

MODELO 5						
Escenario	V_{bus}	V_{taxi}	V_{bici}	P_{bus}	P_{taxi}	P_{bici}
1	-4.225	-5.784	-5.517	67.34%	14.16%	18.50%
2	-4.781	-6.842	-5.822	67.55%	8.60%	23.85%
3	-4.727	-7.29	-5.517	65.32%	5.03%	29.65%

4	-5.17	-6.345	-6.334	61.69%	19.05%	19.26%
5	-5.421	-7.098	-6.334	62.96%	11.77%	25.27%
6	-5.367	-7.546	-6.029	61.39%	6.95%	31.67%
7	-5.505	-6.296	-6.541	55.30%	25.07%	19.62%
8	-5.756	-7.049	-6.541	57.78%	15.86%	26.36%
9	-6.312	-8.107	-6.846	57.07%	9.48%	33.45%
Promedio	-5.25	-6.93	-6.16	61.82%	12.89%	25.29%

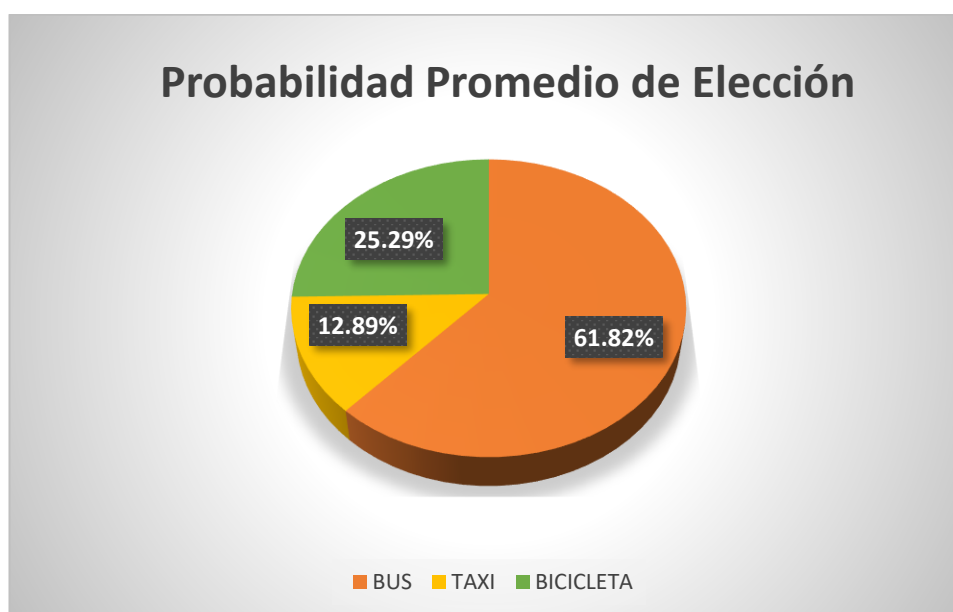
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 47 muestra que, en una situación donde se considera las variables: *riesgo por contagio de covid-19 e ingreso mensual*, el *bus*, es el modo de transporte preferido por los encuestados, con una probabilidad promedio de elección del 61.82%, el segundo lugar lo ocupa la *bicicleta*, con una probabilidad promedio de 25.29% y, por último, el *taxi*, con una probabilidad promedio de 12.89%.

En la figura 28, se muestra el gráfico estadístico de la probabilidad promedio de los escenarios hipotéticos en el modelo 5.

Figura 28

Probabilidad Promedio de los escenarios en el Modelo 5.

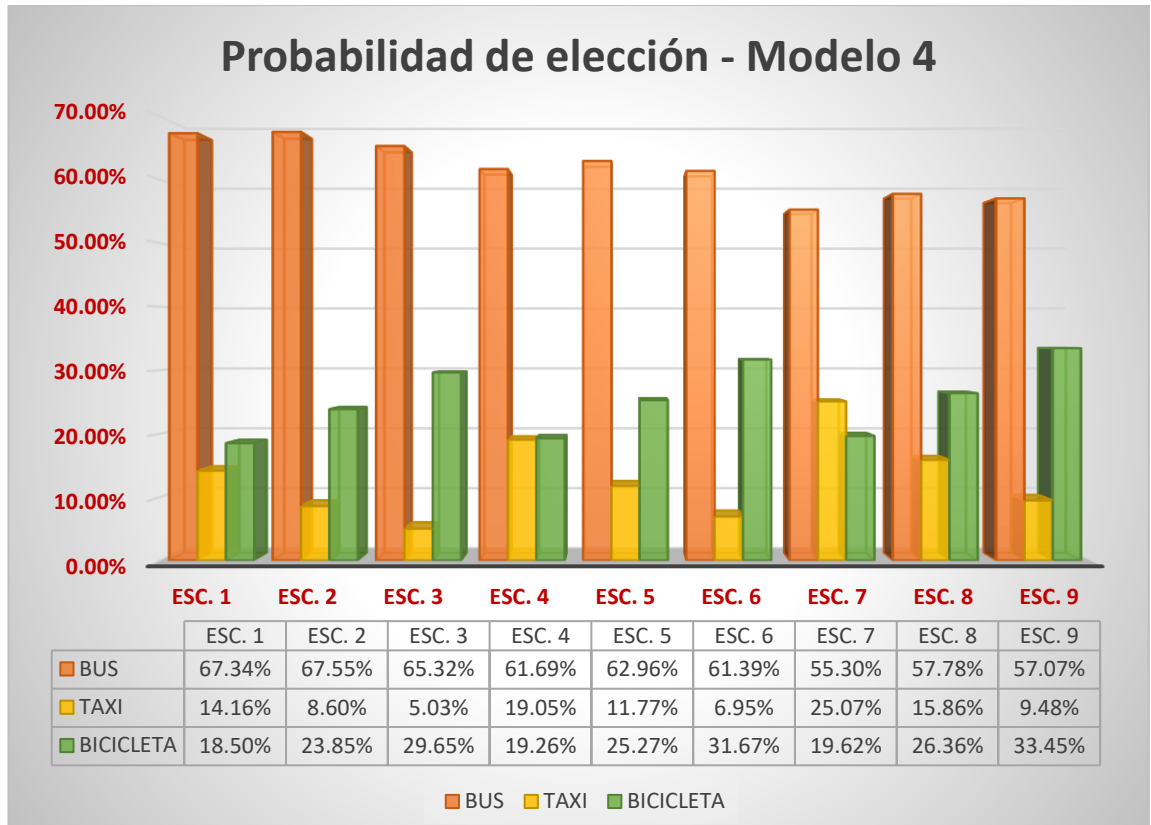


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 29, se muestra el gráfico estadístico de la probabilidad de elección en el modelo 5.

Figura 29

Probabilidad de elección Modal - Modelo 5.



Fuente: Elaboración propia.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- La recolección de la data se obtuvo a través de encuestas de preferencias declaradas a los ciudadanos del distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo. Cabe resaltar que hubo mucha limitación para obtener la información requerida, siendo el factor principal: la pandemia covid-19.
- En esta investigación se consideró cinco modelos de elección discreta, diferenciándose uno con otro por las variables que participaron en cada uno. La estimación de estos modelos se llevó a cabo por el software Biogeme que es un paquete de Python de código abierto. La veracidad de los resultados se fundamenta en que este programa está diseñado para la estimación de máxima verosimilitud de modelos paramétricos. (Bierlaire, 2020). La sintaxis del modelo 1 se muestra en el anexo 2.
- En cuanto a los parámetros estimados por el software Biogeme todos son significativos con un nivel de confianza mayor al 95%; es decir, los valores Rob. t-test, son mayores o iguales a 1.96 en valor absoluto. ($|Rob.t - test| \geq 1.96$).
- Los resultados obtenidos en el modelo 1, muestran que el modo de transporte con mayor aceptación es la *bicicleta*, con una probabilidad promedio de 44.15%, el segundo y tercer lugar lo ocupan el *bus* (34.35%) y el *taxi* respectivamente (21.50%). Lo que justifica estos resultados, es que en este modelo solo se tomó en cuenta las variables *costo de viaje* y *tiempo de viaje*; donde, en el caso de la *bicicleta* no se considera costo alguno, y el *costo de viaje* del *bus* es mucho menor que el del *taxi*.

- En referencia al punto anterior, estos resultados no son concluyentes. Es decir, se tomó solo la probabilidad promedio. Los escenarios donde siguen esa lógica son aquellos donde el *costo de viaje* del *bus* es mayor a S/ 1.00, es decir, los escenarios 2, 3, 5, 6, 8 y 9. En los escenarios donde el costo del *bus* es S/ 1.00 (2 y 4) gana el *bus*. Por otro lado, el *taxi* toma ventaja cuando su *costo de viaje* es el mínimo (S/ 4.00) y el *tiempo de viaje* tanto para el *bus* y la *bicicleta* es el máximo.
- Los resultados obtenidos en el modelo 2 muestran que la *bicicleta* sigue liderando las preferencias con una probabilidad promedio de 39.57%, el segundo (34.22%) y tercer (26.21%) lugar lo ocupan el *bus* y el *taxi* respectivamente. Si solo consideramos aquellos escenarios (2, 4, 5 y 9) donde se considera la variable *riesgo por contagio de covid-19*, se observa que el *bus* y la *bicicleta* pierden preferencia, mientras que la del *taxi* asciende, eso justifica que las personas tienen miedo al contagio de covid-1; pero, según los resultados, pesa más su situación económica.
- En el modelo 3 se incluyó la variable *infraestructura para la bicicleta*, donde los resultados dan a la *bicicleta* un primer lugar con una probabilidad promedio de 39.27%; el 37.10 % y 23.63% le corresponden al *bus* y al *taxi* respectivamente. En primera instancia se observa que la variable considerada en este modelo es irrelevante; pero, si se hace el análisis comparativo entre los modelos 1, 2 y 3, en aquellos escenarios donde consideran la variable mencionada, se observa que la preferencia es por la *bicicleta* por un margen elevado. La tabla 49 muestra los resultados probabilísticos de comparar los modelos 1, 2 y 3.

Tabla 48

Cuadro Comparativo de Probabilidades en los Modelos 1, 2 y 3 en Escenarios

donde se Considera la Variable: Infraestructura para la Bicicleta.

CUADRO COMPARATIVO		BUS	TAXI	BICICLETA
ESCENARIO 3	Modelo 1	37.15%	9.12%	53.73%
	Modelo 2	38.95%	12.02%	49.03%
	Modelo 3	33.34%	8.24%	58.42%
ESCENARIO 4	Modelo 1	34.16%	32.05%	33.79%
	Modelo 2	32.94%	37.10%	29.96%
	Modelo 3	31.59%	30.56%	37.85%
ESCENARIO 8	Modelo 1	30.94%	25.03%	44.03%
	Modelo 2	29.84%	31.43%	38.73%
	Modelo 3	27.93%	23.54%	48.53%

Fuente: Elaboración propia.

- Los resultados obtenidos en el modelo 4, muestran que el *bus* es el modo de transporte preferido por los encuestados, con una probabilidad promedio del 56.91%, el segundo (28.90%) y tercer (14.19%) lugar lo ocupan la *bicicleta* y el *taxi* respectivamente. Una particularidad de este modelo es que solo se analiza a una fracción de los encuestados; es decir, aquellos cuyo ingreso está en la categoría 1.

VII. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que los modelos de elección discreta miden el nivel de aceptación de utilizar la *bicicleta* como modo de transporte alternativo a los modos tradicionales. En un principio se planteó un modelo donde solo se incluyó las variables *tiempo de viaje* y *costo de viaje*, obteniendo la *bicicleta* una probabilidad promedio por encima de los otros modos. Posterior a ello, se planteó cuatro modelos con la inclusión de otras variables, en donde los resultados de los modelos 2, 3 y 4, siguen la tendencia del primer modelo.
- Sin embargo, los resultados para el quinto modelo favorecen al *bus* (61.82%), seguido por la *bicicleta* (25.29%) y por último el *taxi* (12.89%). Lo particular de este modelo es que su configuración se adapta a las circunstancias actuales; es decir, las variables que participan son: *costo de viaje*, *tiempo de viaje*, *ingreso mensual* y *riesgo de contagio por covid-19*. Por tanto, se concluye que los ciudadanos de Víctor Larco Herrera, priorizan el *costo de viaje* por encima del riesgo de contagio o tiempo de traslado.
- Con el desarrollo de esta investigación, se ha logrado un avance importante en el campo de la elección modal, teniendo a la *bicicleta* como modo de transporte alternativo frente a otros modos tradicionales, como es el *taxi* y el *bus*.
- Esta investigación se fundamenta en la teoría de utilidad aleatoria, que es el marco de referencia para los modelos de elección discreta con el desarrollo de encuestas de preferencias declaradas bajo el diseño

experimental del plan maestro de Kocur. En relación a los modelos de elección discreta que se utilizó, fueron los modelos logit multinomial cuya estimación se realizó con el software Biogeme cuyos valores estimados son significativos con un nivel de confianza mayor al 95%.

- Al realizar la recolección de la data, los ciudadanos afirman que la infraestructura vial está direccionada para vehículos motorizados, exponiendo a algún accidente a aquellos que utilicen la *bicicleta* para movilizarse. Es importante realizar este tipo de investigaciones porque se recoge la percepción de las personas frente al transporte; donde, muchas veces son ignorados las autoridades municipales, regional y nacional.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realicen estudios relacionados a la demanda de transporte en zonas cercanas al distrito en estudio.
- Realizar las encuestas de manera individual es muy complicado, ya que al ser un número elevado demanda mucho tiempo; por tal motivo, se recomienda contratar personal y capacitarlo para realizar una correcta ejecución de las mismas.
- El distrito de Víctor Larco Herrera tiene un denominador común con la mayoría de los distritos urbanos del Perú: elevada densidad de vehículos motorizados. Siendo estos los principales causantes de: congestión vehicular, contaminación ambiental, contaminación acústica, entre otros. Por tal motivo se recomienda fomentar el uso de modos eficientes y amigables con el medio ambiente, por ejemplo, la *bicicleta*.
- Se recomienda que los órganos competentes relacionados al transporte en la municipalidad de Víctor Larco Herrera prioricen la creación de ciclovías integradas, con el objetivo de fomentar el uso de la *bicicleta* ya que servirá para que los niños, jóvenes y adultos se trasladen sin riesgo alguno.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, los modelos logit multinomial como parte de los modelos de elección discreta, miden el nivel de aceptación de implementar un modo de transporte. Por tal motivo, se recomienda que en estudios posteriores se utilice otros modelos de elección discreta, por ejemplo: Logit jerárquico, Logit anidado, Logit mixto, Probit multinomial, entre otros.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arellana, J., Ortúzar, J., & Rizzi, L. (2011). Diseño Experimental de PD con Dependencia entre Niveles de Atributos: Aplicación a Modelos de Elección de Horario de Viajes. *INGENIERÍA DE TRANSPORTE*, 15(1), 15-27.
- Castillo, E., Conejo, A., Pedregal, P., García, R., & Alguacil, N. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia*. Universidad de Castilla - La Mancha.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). CÓMO PROMOVER EL BUEN USO DE LA BICICLETA. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Bierlaire, M. (2020). *A short introduction to PandasBiogeme*. School of Architecture, Civil and Environmental Engineering. Transport and Mobility Laboratory.
- Blanco, C. (2011). *Encuestas y estadísticas : Métodos de investigación cuantitativa en ciencias sociales y comunicación* (1ª ed.). Brujas.
- Cal, R., Mayor, R., & Cárdenas G., J. (2007). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones* (8 va. ed.). Alfaomega.
- Fernández Heredia, Á. (2012). *El Potencial de las Variables Latentes en Modelos Explicativos del Uso de la Bicicleta [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://oa.upm.es/10716/>
- Guevara Estrada, R., Chirre Gaona, A., Young Lores, J., Rojas Polo, J., & Rodríguez Anticona, M. (2018). *Propuesta de diseño de Ciclovías en Lima Metropolitana mediante la optimización de flujo de redes*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA* (1ª ed.). McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Islas Rivera, V. M., Rivera Trujillo, C., & Torres Vargas, G. (2002). *Estudio de la Demanda de Transporte*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Kocur, G., Adler, T., Hyman, W., & Aunet, B. (1982). *GUIDE TO FORECASTING TRAVEL DEMAND WITH DIRECT UTILITY ASSESSMENT*. (W. D. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION URBAN MASS TRANSPORTATION ADMINISTRATION, Ed.) NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE.
- Liñán Ruiz, R. J. (2016). *Estudio y optimización de las infraestructuras de los carriles para bicicletas (Tesis doctoral, Universidad de Córdoba)*. Archivo digital. Obtenido de <https://helvia.uco.es/handle/10396/13745>
- Meza H., O., & Ortega F., M. (2004). *Grafos y algoritmos* (2.da ed.). Equinoccio.

- Municipalidad de Lima. (2017). Manual de Normas Técnicas para la Construcción de Ciclovías y Guía de Circulación de Bicicletas. (P. Calderón Peña, J. Arrué, & C. Pardo, Edits.)
- Neri Dominguez, P. (2013). *Un nuevo modelo continuo de asignación de tráfico para el diseño óptimo de redes de transporte urbano (Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur)*. Repositorio Institucional.
- Ortúzar Salas, J. (2012). *Modelos de Demanda de Transporte* (2nd ed.). Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Ortúzar, J., & Román, C. (2003). El problema de modelación de demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte. *EURE*, XXIX(88), 149 - 171.
- Ortúzar, J., & Willumsen, L. G. (2008). *Modelos de transporte*. (Á. Ibeas Portilla, & L. Dell'Olio, Trads.) Publican - Ediciones de la Universidad de Cantabria.
- Pompilio Sartori, J. (2006). Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la. *Revista de Economía y Estadística, Cuarta Época, 44(2)*, 81-123.
- Rodríguez Anticona, M. Á. (2019). *Mejora de los indicadores de tráfico y satisfacción de los viajeros en horas de congestión vehicular mediante el diseño de una red de ciclovías con programación matemática en Lima Metropolitana (Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú)*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/15596>
- Romero Junquera, J. P. (2013). *Modelos de optimización para planificación y gestión operativa de sistemas de bicicleta pública (Tesis doctoral, Universidad de Cantabria)*. Archivo digital. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/1921>
- Salas Venegas, M. R. (2018). *El uso de la bicicleta: reproductor del acceso desigual a la movilidad cotidiana urbana (Tesis de maestría, Universidad de Chile)*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151962/el-uso-de-la-bicicleta.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sevillano Zavala, J. F. (2019). *Plan rector y diseño conceptual de red de ciclovías para el distrito de Piura (Tesis de maestría, Universidad Privada Antenor Orrego)*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/6007>
- Subsecretaría de desarrollo urbano, & Ordenación del territorio. (2001). *Manual de conceptos y lineamientos para la planeación del transporte urbano (Vol. II)*. México: Sedesol.
- Train, K. (2009). *Discrete choice methods with simulation* (2 da. ed.). Cambridge University Press.

X. ANEXOS

ANEXO 1

ENCUESTA DE PREFERENCIA DECLARADA

Se está realizando una investigación para conocer si los ciudadanos del distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo; estarían dispuestos a utilizar la *bicicleta* como medio de transporte para ir de un lugar a otro.

La información adquirida se utilizará para fines académicos y sus respuestas serán confidenciales.

I. INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA

1. **Sexo:**

Femenino Masculino

2. **Edad:**

(15 - 25) (26 - 35) (36 - 45) (46 - 55) (56 - 65)

3. **Situación Laboral:**

Dependiente Independiente Solo estudia
 Estudia y trabaja Ama de casa

4. **Ingreso Mensual:**

(0 - 500) (501 - 1025) (1026 - 2000) Mayor a 2000




5. **Nivel Académico:**

Primaria Secundaria Pregrado Posgrado




II. ESCENARIOS HIPOTÉTICOS

Suponga usted que se va a trasladar de un punto a otro y para ello tiene que escoger un medio de transporte, a saber, el *bus*, *taxi* y *bicicleta*; además, cada medio goza de ciertas particularidades. A continuación, se presenta 9 casos hipotéticos cada uno con cierta información respecto al viaje. Escoja usted un medio de transporte que mejor se adopte a sus necesidades.

1. **Escenario 1**

ESCENARIO 1	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	25 min.	8 min.	14 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.0	S/ 4	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

2. Escenario 2

ESCENARIO 2	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	25 min.	8 min.	14 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.5	S/ 5.5	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	SI	SI	SI
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO




3. Escenario 3

ESCENARIO 3	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	25 min.	8 min.	14 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 2.0	S/ 7.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	SI

4. Escenario 4

ESCENARIO 4	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	30 min.	10 min.	18 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.0	S/ 4.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	SI	SI	SI
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	SI

5. Escenario 5

ESCENARIO 5	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	30 min.	10 min.	18 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.5	S/ 5.5	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	SI	SI	SI
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO


6. Escenario 6

ESCENARIO 6	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	30 min.	12 min.	18 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 2.0	S/ 7.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

7. Escenario 7

ESCENARIO 7	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	35 min.	12 min.	22 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.0	S/ 4.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

8. Escenario 8

ESCENARIO 8	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	35 min.	12 min.	22 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 1.5	S/ 5.5	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	NO	NO	NO
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	SI

9. Escenario 9

ESCENARIO 9	BUS	TAXI	BICICLETA
			
TIEMPO DE VIAJE	35 min.	12 min.	22 min.
COSTO DE VIAJE	S/ 2.0	S/ 7.0	S/ 0
RIESGO POR CONTAGIO DE COVID-19	SI	SI	SI
INFRAESTRUCTURA PARA LA BICICLETA	-	-	NO

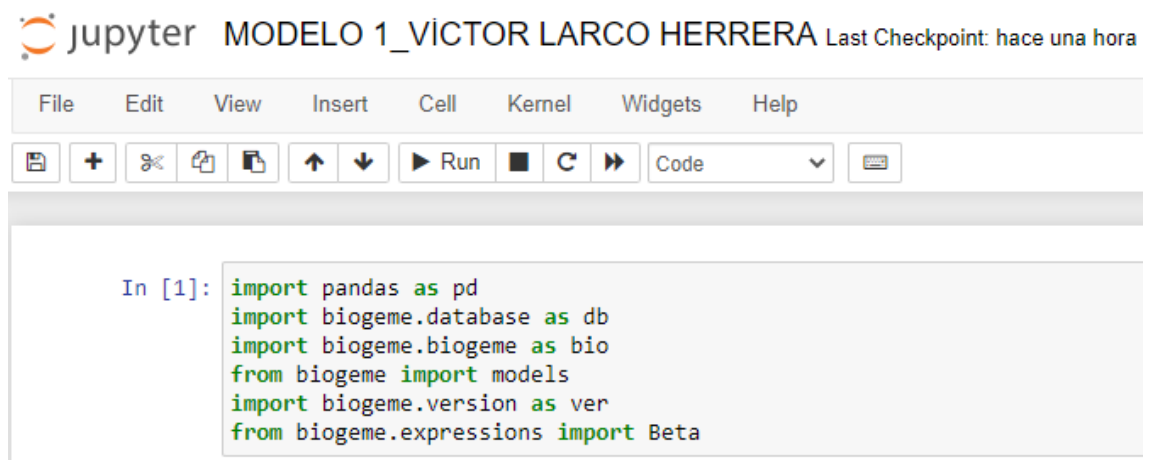
ANEXO 2

ESTIMACIÓN DEL MODELO 1 CON EL SOFTWARE BIOGEME

A continuación, se realiza una síntesis de la sintaxis del modelo 1 a través del software Biogeme.

1. Importar los paquetes de Python

- Como paso inicial se importa los paquetes de Python. El primero es Pandas; que es una biblioteca de software cuya función es el procesamiento y análisis de datos de Python. Posterior a ello se importa los módulos que usará Biogeme. En la siguiente figura, se muestra los pasos a detalle.



The screenshot shows a Jupyter Notebook window titled "MODELO 1_VÍCTOR LARCO HERRERA" with a last checkpoint of "hace una hora". The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Insert, Cell, Kernel, Widgets, Help) and a toolbar with icons for file operations, navigation, and execution. The main area displays a code cell with the following Python code:

```
In [1]: import pandas as pd
import biogeme.database as db
import biogeme.biogeme as bio
from biogeme import models
import biogeme.version as ver
from biogeme.expressions import Beta
```

- Se corrobora la versión del programa.


```
In [2]: ver.getVersion()
```

```
Out[2]: '3.2.8'
```

la versión que se utilizó es la versión 3.2.8

2. Preparación de la base de datos.

- La base de datos que se utilizó en este proyecto lleva por nombre: "VictorLarcoH". Para que el programa pueda leer los archivos, estos tienen que tener una extensión de .dat y .csv.

Nombre	Tipo
 VictorLarcoH.csv	Archivo de valores...
 VictorLarcoH.dat	Archivo DAT
 VictorLarcoH.xlsx	Hoja de cálculo d...

- Posteriormente, se usa la función “read_csv” de Pandas que permitirá leer el archivo .dat.

```
In [3]: df = pd.read_csv('VictorLarcoH.dat', sep='\t')
df
```

```
Out[3]:
```

	ID	EDAD	SEXO	OCUPACION	INGRESO MENSUAL	NIVEL ACADEMICO	ESCENARIO	TV_BUS	CV_BUS	COVID_BUS	TV_TAXI	CV_TAXI	COVID_TAXI	TV_BICI	COVI
0	1	5	2	1	4	2	1	25	1.0	0	8	4.0	0	14	
1	1	5	2	1	4	2	2	25	1.5	1	8	5.5	1	14	
2	1	5	2	1	4	2	3	25	2.0	0	8	7.0	0	14	
3	1	5	2	1	4	2	4	30	1.0	1	10	4.0	1	18	
4	1	5	2	1	4	2	5	30	1.5	1	10	5.5	1	18	
...
3424	381	3	2	1	4	4	5	30	1.5	1	10	5.5	1	18	
3425	381	3	2	1	4	4	6	30	2.0	0	10	7.0	0	18	
3426	381	3	2	1	4	4	7	35	1.0	0	12	4.0	0	22	
3427	381	3	2	1	4	4	8	35	1.5	0	12	5.5	0	22	
3428	381	3	2	1	4	4	9	35	2.0	1	12	7.0	1	22	

3429 rows x 20 columns

Como se puede apreciar, la base de datos contiene 20 columnas y 3429 filas. Estas últimas responden a los 381 encuestados, donde cada encuesta contó con 9 escenarios hipotéticos.

- El software Biogeme, a través del comando “df.describe” te permite obtener ciertos datos estadísticos; a saber: media, error estándar, mínimo, entre otros.

```
In [4]: df.describe()
```

```
Out[4]:
```

	ID	EDAD	SEXO	OCUPACION	INGRESO MENSUAL	NIVEL ACADEMICO	ESCENARIO	TV_BUS	CV_BUS	COVID_BUS	TV_TAXI
count	3429.000000	3429.000000	3429.000000	3429.000000	3429.000000	3429.000000	3429.000000	3429.000000	3429.000000	3429.000000	3429.000000
mean	191.000000	2.393701	1.509186	2.538058	2.217848	2.141732	5.000000	30.000000	1.500000	0.444444	10.000000
std	110.000888	1.272694	0.499989	1.245328	1.111921	1.080094	2.582365	4.083078	0.408308	0.496976	1.633231
min	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	25.000000	1.000000	0.000000	8.000000
25%	96.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	3.000000	25.000000	1.000000	0.000000	8.000000
50%	191.000000	2.000000	2.000000	2.000000	2.000000	2.000000	5.000000	30.000000	1.500000	0.000000	10.000000
75%	286.000000	3.000000	2.000000	4.000000	3.000000	3.000000	7.000000	35.000000	2.000000	1.000000	12.000000
max	381.000000	5.000000	2.000000	5.000000	4.000000	4.000000	9.000000	35.000000	2.000000	1.000000	12.000000

- Antes de definir las variables que servirán para que Python pueda leerlo, se debe utilizar el comando “database” que se importó al principio.

```
In [6]: database = db.Database('VictorLarcoH', df)
```

3. Especificación del Modelo.

- Se define los Parámetros a estimar.

```
In [7]: CEA_BUS = Beta('CEA_BUS', 0, -10000, 10000, 0)
CEA_TAXI= Beta ('CEA_TAXI', 0, -10000, 10000, 0)
CEA_BICICLETA= Beta ('CEA_BICICLETA', 0, -10000, 10000, 0)
B_TV= Beta ('B_TV', 0, -10000, 10000, 0)
B_CV= Beta ('B_CV', 0, -10000, 10000, 0)
B_COVID= Beta ('B_COVID', 0, -10000, 10000, 0)
B_INFR= Beta ('B_INFRA', 0, -10000, 10000, 0)
B_EDAD= Beta ('B_EDAD', 0, -10000, 10000, 0)
B_SEXO= Beta ('B_SEXO', 0, -10000, 10000, 0)
B_SLABORAL= Beta ('B_SLABORAL', 0, -10000, 10000, 0)
```

- Se define las variables que se utilizará en el modelo.

```
In [8]: TV_BUS = TV_BUS
CV_BUS = CV_BUS
TV_TAXI = TV_TAXI
CV_TAXI = CV_TAXI
TV_BICI = TV_BICI
INFR_BICI = INFR_BICI
SEX1=SEXO==1
SEX2=SEXO==2
COVID1= COVID_BUS ==1
COVID2= COVID_BUS == 0
INGR1= INGRESO_MENSUAL==1
INGR2= INGRESO_MENSUAL==2
INGR3= INGRESO_MENSUAL==3
INGR4= INGRESO_MENSUAL==4
ED1= EDAD==1
ED2= EDAD==2
ED3= EDAD==3
ED4= EDAD==4
ED5= EDAD==5
V_BUS= V_BUS
```

- Se define la función Utilidad del Modelo.

```
In [9]: v1 = CEA_BUS + B_TV*TV_BUS + B_CV*CV_BUS
v2 = CEA_TAXI + B_TV*TV_TAXI + B_CV*CV_TAXI
v3 = CEA_BICICLETA + B_TV*TV_BICI
```

- El siguiente paso es asociar las funciones de utilidad con un nombre específico de las alternativas, que es la que se asume en la base de datos.

```
In [10]: v = { 1: v1,
              2: v2,
              3: v3}
```

- El siguiente paso es definir una nueva alternativa para asociar a las funciones de utilidad.

```
In [11]: av = { 1: V_BUS,
               2: V_TAXI,
               3: V_BICI}
```

- Como punto final de la especificación, se necesita que el programa entienda cual es el aporte de cada fila de la base de datos a la función logarítmica de verosimilitud. Por tanto, se considera un modelo Logit Multinomial, donde el logaritmo de probabilidad viene dado por un modelo denominado “loglogit” que es una función del software Biogeme que se importó al principio.

```
In [12]: logprob = models.loglogit(v, av, CHOICE)
```

4. Estimación con Biogeme.

- Se construye un objeto proporcionando la base de datos que se ha definido anteriormente “logprob” que es el aporte de cada fila de la base de datos a función de probabilidad logarítmica.

```
In [13]: biogeme = bio.BIOGEME(database, logprob)
         biogeme.modelName = '01logit'
```

- Para ejecutar la estimación se llama a la variable “results”

```
In [14]: results = biogeme.estimate()
```

```
In [15]: pandasResults = results.getEstimatedParameters()
         print(pandasResults)
```

Estimated parameters

Name	Value	Std err	t-test	p-value	Rob. Std err	Rob. t-test	Rob. p-value
CEA_BICI	-1.899	0.359	-5.290	1.389e-07	0.36	-5.2750	1.449e-07
CEA_TAXI	-0.896	0.453	-1.978	0.0714	0.456	-1.9649	0.0731
B_CV	-0.496	0.0804	-6.169	6.938e-10	0.081	-6.1235	8.738e-10
B_TV	-0.116	0.0279	-4.158	4.328e-05	0.0281	-4.1281	4.878e-05