

Pontificia Universidad Católica del Perú

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA PARA LA AYUDA
HUMANITARIA ANTE UN DESASTRE NATURAL EN LA
COSTA VERDE, DISTRITO DE MIRAFLORES**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial

Gianmarco Marcelo Raymundo Moreyra

ASESOR: Dr. Jorge Vargas Florez

Lima, 25 de noviembre de 2022

DECLARACIÓN JURADA

Declaración jurada de autenticidad

Yo, Jorge Vargas Florez, docente de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA PARA LA AYUDA HUMANITARIA ANTE UN DESASTRE NATURAL EN LA COSTA VERDE, DISTRITO DE MIRAFLORES del autor Gianmarco Marcelo Raymundo Moreyra, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 14 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 17/05/2022.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lince 23/11/2022

Apellidos y nombres del asesor: Vargas Florez Jorge	
DNI: 09684537	Firma 
ORCID: 0000-0003-0763-9010	

RESUMEN

La presente tesis busca estimar la cantidad de personas vulnerables ante un evento sísmico y posterior tsunami en la Costa Verde en el distrito de Miraflores a través del análisis del comportamiento vehicular en la vía expresa. En un primer término, se comienza revisando la literatura y casos de estudio realizados en distintas zonas que pertenecen al Cinturón de Fuego que servirán para una comparación con la situación real descrita en la segunda parte. En esta segunda parte se presentará un análisis cualitativo y cuantitativo sobre el estado en que se encuentran los acantilados, el estado de las autopistas, el estado de los puentes, la gestión de riesgos y los puntos a evacuar durante un aviso de tsunami. Luego de una comparación entre la situación actual y la revisión literaria, se realiza el conteo vehicular de la zona para la toma de datos y proponer un modelamiento de transporte a través de la simulación. De acuerdo a los resultados de la simulación, bajo condiciones normales, la cantidad de personas vulnerables es de 3 835 aproximadamente en horario pico. Se propone tres escenarios, siendo el escenario 1 el resultado más favorable, el escenario 1 estima no tener víctimas si se da prioridad a la salida de vehículos durante el terremoto y posterior tsunami, además de bloquear las entradas a la Costa Verde y que no ocurra algún deslizamiento en el acantilado.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia, amigos, profesores y a las instituciones que apoyaron en el término de este trabajo. Sin ellos, esta investigación no hubiera sido posible.



ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN JURADA	ii
RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	2
1.1. Estimación de la demanda vulnerable	2
1.1.1. Red de transporte	2
1.1.2. Análisis de la demanda	3
1.1.3. Gestión de desastres	4
1.1.4. Matriz Origen-Destino (O-D)	7
1.1.5. Caso de estudio-Dezhou	7
1.2. Simulación de redes de transporte	8
1.2.1. Modelamiento de transporte	9
1.2.2. Macro simulación	12
1.2.3. Micro simulación	13
1.2.4. GIS Simulation	15
1.3. Logística urbana	16
1.3.1. Definición	16
1.3.2. Rutas de evacuación	17
1.3.3. Localización de refugios	18
CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL	21
2.1. Delimitación de escenario	21
2.1.1. Costa Verde	21
2.1.2. Problemática de la Costa Verde-Miraflores	23
2.1.3. Información secundaria	25
2.2. Inventario de escenario	27
2.2.1. Trayecto	27

2.2.2. Puentes peatonales	30
2.2.3. Entradas y salidas de la vía expresa.....	32
2.2.4. Flujo vehicular.....	33
2.3. Construcción de la matriz Origen-Destino	34
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL MODELO	36
3.1. Metodología del modelo de transporte en la línea costera	36
3.2. Información Geográfica.....	37
3.2.1. Zonas vulnerables ante un terremoto.....	37
3.2.2. Zonas vulnerables ante un tsunami	40
3.2.3. Edificios cercanos a la autopista.....	41
3.2.4. Puntos críticos	42
3.3. Información Vial	46
3.3.1. Infraestructura vial	46
3.3.2. Comportamiento de los viajes O/D.....	46
3.4. Modelamiento de transporte	49
3.4.1. Descripción del trabajo de campo	49
3.4.2. Forma del levantamiento de información	50
3.4.3. Elección del horario del levantamiento de información.....	50
3.4.4. Puntos de conteo vehicular.....	52
3.4.5. Procesamiento del conteo vehicular	54
3.4.6. Longitud de cola y tiempo en cola.....	57
3.4.7. Flujograma vehicular.....	59
3.4.8. Matriz origen-destino	61
3.4.9. Definición de la población	62
3.4.10. Determinación del tamaño de muestra.....	62
3.4.11. Variables de estado	64
3.4.12. Presunciones	64
3.4.13. Modelo.....	66
3.4.14. Animación	70

3.4.15. Análisis del modelo	70
3.4.16. Análisis de Variables.....	73
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE ESCENARIOS	77
4.1. Escenario 1.....	77
4.2. Escenario 2.....	78
4.3. Escenario 3.....	79
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS.....	90



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de trabajo para la estimación de demanda en la Costa Verde.....	1
Figura 2: Factores de la Gestión de Desastres en la red vial	5
Figura 3: Principios de planeamiento de evacuación en redes vehiculares	6
Figura 4: Grafo conceptual de la base de datos	8
Figura 5: Modelo clásico de transporte	9
Figura 6: Calibración VISSIM	13
Figura 7: Aspectos para la identificación de refugios	18
Figura 8: Mapa de la Costa Verde.....	22
Figura 9: Carta de inundación-Costa Verde, distrito de Miraflores	24
Figura 10: Red peatonal-zona Costa Verde-Miraflores.....	25
Figura 11: Accesos Peatonales-Costa Verde Miraflores	26
Figura 12: Bajadas vehiculares de la Costa Verde de Miraflores	27
Figura 13: Mapeo de la Bajada San Martín:	28
Figura 14: Mapeo de la Bajada Balta	29
Figura 15: Mapeo de la Bajada Armendáriz	30
Figura 16: Ubicación de puentes peatonales-Costa Verde de Miraflores	31
Figura 17: Esquema integrado de la Costa Verde de Miraflores	32
Figura 18: Espacios de flujo peatonal en la Bajada Balta.....	34
Figura 19: Modelamiento de transporte en la línea costera	36
Figura 20: Malecón La Marina.....	38
Figura 21: Malecón Cisneros	39
Figura 22: Malecón de la Reserva-Riesgo Muy Alto.....	39
Figura 23: Mapa de puntos de evacuación en caso de tsunami	40
Figura 24: Puntos de reunión después de un sismo.....	41
Figura 25: Edificios cercanos a la autopista	42
Figura 26: Zonificación 1 al 7	43
Figura 27: Zonificación 8 al 14	44
Figura 28: Viajes de Miraflores a otros distritos.....	47
Figura 29: Viajes de otros distritos a Miraflores.....	48
Figura 30: Flujo promedio vehicular por punto-Distrito Miraflores.....	49
Figura 31: Tendencia del tráfico vehicular-Miraflores	51
Figura 32: Proporción de mayor tráfico vehicular-Miraflores.....	51
Figura 33: Puntos de Conteo-Bajada San Martín	52
Figura 34: Puntos de Conteo-Bajada Balta	53
Figura 35: Puntos de Conteo-Bajada Armendáriz	53

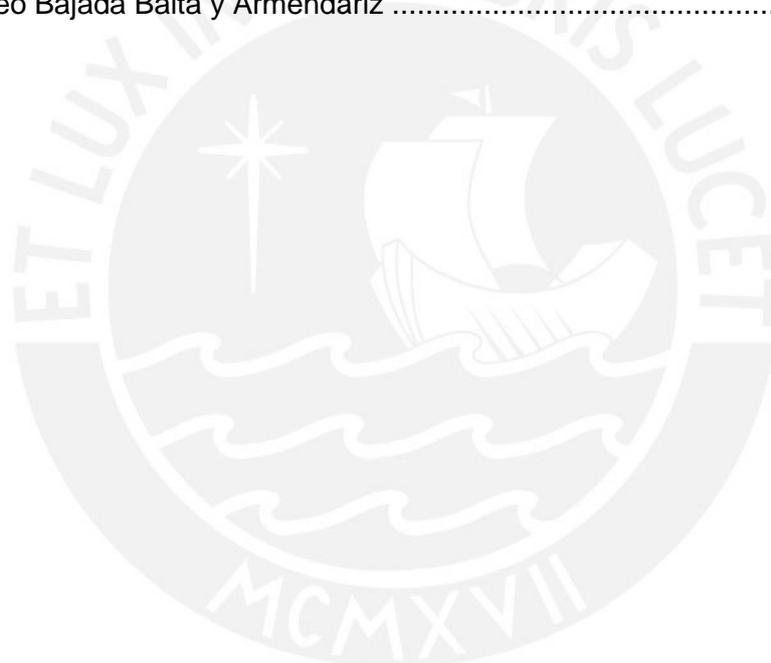
Figura 36: Conteo Bajada San Martín	55
Figura 37: Conteo Bajada Balta	55
Figura 38: Conteo Puente Clubes	56
Figura 39: Conteo Bajada Armendáriz	56
Figura 40: Cola Bajada San Martín	57
Figura 41: Cola Bajada Balta	58
Figura 42: Fase de Tiempo (seg) de la Bajada Balta y Malecón 28 de julio	58
Figura 43: Flujograma en la intersección de Bajada San Martín y Avenida del Ejército.....	59
Figura 44: Flujograma Bajada San Martín.....	60
Figura 45: Flujograma Bajada Balta	60
Figura 46: Flujograma Bajada Armendáriz	61
Figura 47: Modelo de simulación en Arena	69
Figura 48: Animación Flujo Vehicular Costa Verde-Miraflores.....	70
Figura 49: Element DStats	71
Figura 50: variación de las variables de salida durante el tiempo de simulación	73
Figura 51: Primer media por grupos.....	73
Figura 52: Correlograma	74
Figura 53: Segunda media por grupos	74
Figura 54: Intervalos de confianza	75
Figura 55: Resultados a condiciones normales	75
Figura 56: Resultados del primer escenario	78
Figura 57: Resultados del segundo escenario	79
Figura 58: Resultados del tercer escenario	80
Figura 59: Estimación de personas vulnerables por escenario.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ratio de supervivencia luego de un terremoto.....	5
Tabla 2: Esquema Matriz O-D.....	7
Tabla 3: Población de los distritos que abarca la Costa Verde.....	23
Tabla 4: Velocidades de diseño	26
Tabla 5: Datos técnicos-puentes peatonales de la Costa Verde de Miraflores	31
Tabla 6: Esquema de la Matriz O/D de la Costa Verde de Miraflores.....	34
Tabla 7: Puntos críticos hallados en la Costa Verde-Miraflores.....	42
Tabla 8: Factores Relevantes	44
Tabla 9: Puntuación asignada por zona	45
Tabla 10: Ponderación asignada por zona.....	45
Tabla 11: Estado de las Vías Expresas-Miraflores	46
Tabla 12: Modelo Referencial para recolección de datos.....	54
Tabla 13: Cuento vehicular Bajada San Martín	54
Tabla 14: Matriz Origen-Destino	61
Tabla 15: Variables de estado.....	64
Tabla 16: Resultados de la demanda.....	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Puente Maria Reiche.....	90
Anexo 2: Puente Isaac Rabin.....	90
Anexo 3: Iubas.....	91
Anexo 4: Escaleras-Puente María Reiche.....	91
Anexo 5: Bajada San Martín.....	92
Anexo 6: Bajada Balta.....	92
Anexo 7: Baja Armendáriz.....	93
Anexo 8: Mapa de Riesgos del Distrito de Miraflores.....	94
Anexo 9: Intersecciones donde se hizo el conteo-2015.....	95
Anexo 10: Plantilla para la toma de datos.....	96
Anexo 11: Conteo Bajada Balta y Armendáriz.....	97



INTRODUCCIÓN

La presente tesis busca estimar la cantidad de personas vulnerables ante un evento sísmico y posterior tsunami en la Costa Verde en el distrito de Miraflores a través del análisis del comportamiento vehicular en la vía expresa. En un primer término, se comienza revisando la literatura y casos de estudio realizados en distintas zonas que pertenecen al Cinturón de Fuego que servirán para una comparación con la situación real descrita en la segunda parte. En esta segunda parte se presentará un análisis cualitativo y cuantitativo sobre el estado en que se encuentran los acantilados, el estado de las autopistas, el estado de los puentes, la gestión de riesgos y los puntos a evacuar durante un aviso de tsunami. Luego de una comparación entre la situación actual y la revisión literaria, se propone una metodología para estimar la demanda vulnerable. En la Figura 1 se observa el esquema de trabajo para la estimación de la demanda en la Costa Verde.

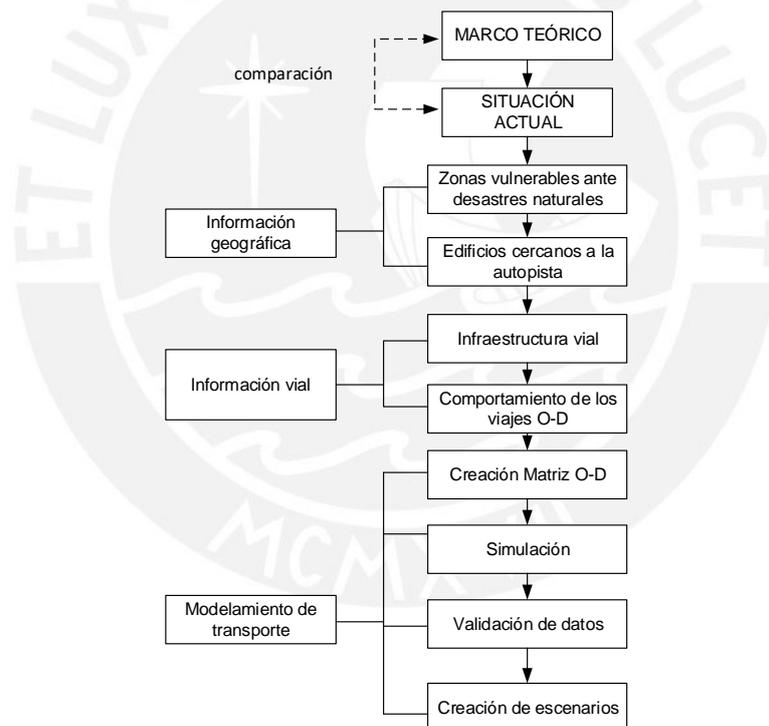


Figura 1: Esquema de trabajo para la estimación de demanda en la Costa Verde

Luego del posterior análisis geográfico y vial, se propone un modelo de tráfico vehicular con los inputs recogidos. Finalmente, se usará la herramienta de la simulación para poder crear escenarios y determinar la cantidad de personas vulnerables ante un terremoto y un posterior tsunami en la Costa Verde.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizarán los diversos estudios realizados sobre la estimación de personas vulnerables en un determinado espacio ante un desastre natural. Asimismo, se revisarán modelos que simulen el flujo vehicular para la estimación de personas en un determinado tiempo. Finalmente, se desarrolla la importancia de la estimación de la demanda en favor a la logística humanitaria.

1.1. Estimación de la demanda vulnerable

En los párrafos siguientes se describirán investigaciones que resaltan la importancia de estimar la demanda ante desastres naturales a través de sus metodologías y casos de estudios propuestos.

1.1.1. Red de transporte

Matherly (2015), señala que, recientemente, el sistema de red de transporte adoptó nuevas políticas y técnicas en favor de incrementar la resiliencia. De acuerdo a Zhao (2017), el término resiliencia ha sido aceptado por la mayoría de investigadores para describir el progreso de las ciudades frente a la reducción de riesgos ante desastres naturales. La *United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR)* define resiliencia como la capacidad de un sistema para adaptarse a los desastres potencialmente expuestos. Matherly señala que un sistema de red se caracteriza por representar una red de vehículos en términos de seguridad, capacidad y demanda; para ello, señala los principios básicos de un sistema de red de transporte.

Las redes de transporte sirven para el modelamiento del tráfico vehicular existente en un área determinada. Matherly indica que estos modelos pueden ser testeados y monitoreados en apoyo en la toma de decisiones estratégicas. Un punto importante es que esta red toma en cuenta eventos no planeados como accidentes vehiculares y eventos de emergencia. Estos eventos se caracterizan por tener diferentes escalas de impacto, duración y complejidad; frente a ello, existen procedimientos estándares y normas como *National Incident Management System (NIMS)* y *Incident Command System (ICS)*.

Con respecto a la naturaleza de la información, Ortúzar (2008) señala que es difícil entender y replicar las interacciones complejas de la persona. Ortúzar señala que es una característica inevitable para el modelamiento de transporte. Asimismo, el autor señala la relación entre oferta y demanda, siendo oferta la cantidad de transporte de vehículos, así como su capacidad de personas a trasladar, mientras que demanda se define como la cantidad de

personas que hacen uso del transporte. La importancia y veracidad de las investigaciones y modelos con respecto al sistema de transporte dependerá de cuan restringido esté modelado el problema; es decir, mientras más preciso sea el campo para analizar, a nivel geográfico y temporal, el contenido de los datos de salida tendrá mayor relevancia.

1.1.2. Análisis de la demanda

Li y Cao (2018) analizan la demanda a través de la integración de la metodología *variable speed limit* (VSL) y el modelo *link transmission model* (LTM). El modelo propone ser un soporte a la metodología VSL con la finalidad de reducir el tiempo de congestión en una vía expresa. Los autores también señalan que existen diversas formas de recopilar información sobre tráfico vehicular: podría ser a través de encuestas, revisando cintas de cámaras o utilizando la inteligencia artificial a través del monitoreo de videos. El modelo parte a través de recopilar información sobre la velocidad, densidad y flujo promedio entre intersecciones, también llamados nodos. El modelo tiene las restricciones determinado por el VSL, la velocidad límite en la carretera.

Li y Cao aplican el modelo en una autopista urbana de Jinan, China. Esta autopista cuenta con 21 nodos, con una longitud de 11 km de oeste a este y 10 km de sur a norte y 8 puntos de velocidad límite en la carretera. La información de las velocidades y el flujo vehicular son colocados en el modelo que tiene por finalidad disminuir el tiempo total en la red. Al correr el modelo, señala que el uso de VSL presentó un aumento del flujo del 1.28% del flujo vehicular en promedio en toda la red de Jinan.

Otro punto de análisis con respecto a la demanda se presenta en la investigación de Jian (2011), el autor forma las bases para posteriores investigaciones con la identificación de riesgos en un puente. Jian esquematiza una metodología básica que empieza con la identificación de todos los componentes presentes que atenten con la seguridad y vulnerabilidad de un puente ante un caso de emergencia; por ejemplo, los accidentes de tráfico, factores climáticos, fugas peligrosas en medio de la carretera y la congestión vehicular. Luego de tener un catálogo de los problemas latentes, cada uno será evaluado a través de tres mediciones: universalidad, severidad y correlación. El autor aplica esta metodología al puente SuTong, China.

El término universalidad se refiere a la cantidad de personas afectadas frente al problema. A mayor cantidad de personas afectadas, mayor la universalidad. La severidad existe si cumple con al menos una de las siguientes condiciones: afecta el fluido vehicular, causa un accidente vehicular, causa accidentes secundarios, reduce la eficiencia de circulación de vehículos o

impide, en general, el flujo en el puente. La correlación indica si un problema es el causante de otro problema generándose una cadena.

Tras definir el sistema de medición, se procede a realizar una encuesta de todos estos problemas existentes y se les da un impacto de alto, medio y bajo con sus respectivos puntajes de 5, 3 y 1 y se procede a sumar todos ellos. El resultado ofrece la posibilidad de identificar el problema más urgente, al cual se tendrá que tomar decisiones correctivas lo más antes posible.

Según Jin (2011), investigaciones realizadas acerca de la demanda con respecto al análisis de red vehicular en situaciones de evacuación aún permanecen en una fase exploratoria. Lo mismo sucede con la optimización de ruta, retraso por la congestión vehicular y la estimación del tiempo de evacuación; igualmente, señala que sus aplicaciones tienen poco impacto en la etapa de planificación técnica de evacuación de emergencia, inclusive en los sistemas de apoyo de decisión. Sin embargo, señala que hay un mayor campo de estudio con respecto a la simulación asistida por computadora.

Jin presenta las siguientes características acerca de la demanda en la red vehicular ante situaciones de emergencia:

- Tiempo de evacuación
- Alta fiabilidad de las rutas de evacuación
- Prioridad

El tiempo de evacuación debe ser el mínimo posible, siempre y cuando la ruta de emergencia esté diseñada para proteger la salud e integridad de la persona. Por otro lado, ante una situación de emergencia se pueden presentar diferentes accidentes de tráfico; uno podría ser el bloque total o parcial de la carretera, creando mayor congestión y desesperación de parte de los conductores; frente a ello, los caminos a elegir deben proporcionar seguridad.

Ante una emergencia, el rescate y el tiempo que demanda son fundamentales luego de un terremoto; es por ello que, en un sistema de red vehicular, quienes tienen mayor prioridad son los vehículos de emergencia. Ellos deben llegar a sus destinos lo más pronto posible y reducir el tiempo de respuesta.

1.1.3. Gestión de desastres

En un caso de estudio en Beijing, Cheng (2011) estudia el tráfico vehicular para identificar los factores determinantes para un planeamiento en casos de emergencia. Asimismo, señala la importancia del tiempo de evacuación en una zona luego de un terremoto.

Véase la Tabla 1, esta señala la relación entre el ratio de supervivencia y el tiempo de rescate en Tangshan. Como se observa, mientras mayor sea el tiempo de rescate, la probabilidad de supervivencia disminuye considerablemente.

Tabla 1: Ratio de supervivencia luego de un terremoto

Tiempo de rescate	Media hora	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días
Ratio de supervivencia	95%	81%	53%	36.70%	19%	7.40%

Fuente: (Cheng 2011, tabla 1)

En la Figura 2 se observan los factores que Cheng señala para un adecuado planeamiento ante desastres en la red vehicular.

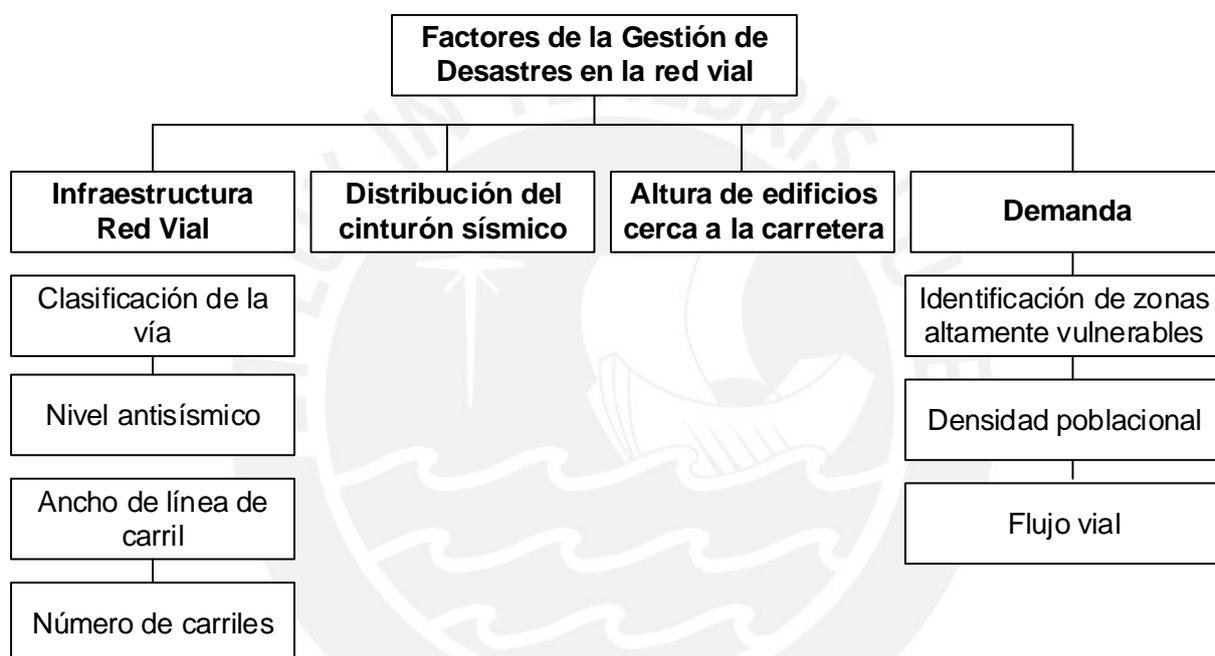


Figura 2: Factores de la Gestión de Desastres en la red vial

Fuente: (Cheng, 2011)

Elaboración propia

Si bien la investigación del autor se concentra en la identificación de rutas que minimicen el riesgo frente a un desastre natural, necesita, como variable de entrada, la cantidad de demanda de la zona; para ello, el autor utiliza un método simple para el cálculo: multiplicar la densidad poblacional y el área que abarca la investigación.

Por otro lado, es importante resaltar los principios para un buen planeamiento de evacuación en la red vehicular. La Figura 3 muestra los principios señalados por Cheng.

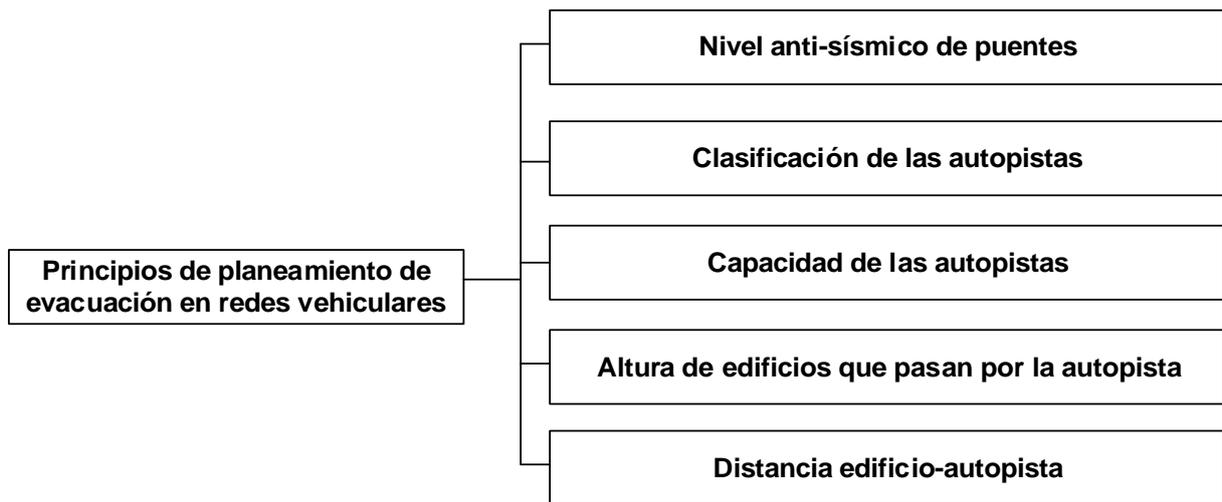


Figura 3: Principios de planeamiento de evacuación en redes vehiculares

Fuente: (Cheng, 2011)

Elaboración propia

De acuerdo, a Cheng (2011), los puentes son las infraestructuras más vulnerables ante un terremoto y, aparte, son vitales para la movilización y/o recojo de demanda de los puntos más alejados. En caso suceda el colapso de un puente, la cantidad de víctimas aumentaría. En primer lugar, porque las personas que se situaban en aquel puente, tienen una alta probabilidad de morir. En segundo lugar, la caída del puente ocasionaría la parálisis total del flujo vehicular en esa zona y las personas tendrían que optar por otra ruta de escape, lo que ocasionaría mayor tráfico y congestión.

Con respecto a la clasificación de las autopistas, Cheng los clasifica de alto y bajo nivel según la condición del pavimento. Asimismo, el autor cree conveniente conocer la velocidad al cual fue diseñada.

El autor no analiza a detalle la capacidad de las autopistas, aunque sí explica que esta tiene que ser suficiente para soportar una gran cantidad de vehículos, tanto para la evacuación como actividades de rescate luego de un terremoto.

Por otro lado, la altura de los edificios y la distancia de estos hacia las autopistas estiman el impacto que tendrán una vez que los edificios colapsen. El escenario más pesimista sería que el edificio colapse a una distancia muy cercana a la autopista y lo bloquee en su totalidad.

Por otro lado, Jin (2011) nombra una serie de condiciones necesarias a tomar en cuenta durante la gestión de desastres:

- Los vehículos de emergencia requerirán de una entrada para el flujo rápido de estas.
- Es natural que se genere temor de parte de los conductores cuando esté sucediendo un desastre; por ello, es más probable que se genere un choque automovilístico o el

abandono del vehículo en medio de la pista. Estos sucesos harían que la carretera esté parcialmente bloqueada.

Según Jin, una evacuación es eficiente siempre y cuando las necesidades estén bien determinadas. Asimismo, la viabilidad del desarrollo de la planificación dependerá de la información que se tenga y, por último, toda la planificación debe ser específica sin ambigüedades. El autor resalta la importancia de la información básica para luego integrar a un sistema de gestión de desastres.

1.1.4. Matriz Origen-Destino (O-D)

El punto a destacar de este esquema es la asignación de viajes que se realiza a través de una matriz origen-destino (O-D), el cual conlleva a la distribución modal. La Tabla 2 presenta el esquema de una matriz origen-destino, donde las letras mayúsculas representan los puntos donde se generan entradas y salidas al sistema, mientras que las letras minúsculas muestran la cantidad de viajes realizadas entre los puntos.

Tabla 2: Esquema Matriz O-D

Origen/Destino	A	B	C
A	a	b	c
B	d	e	f
C	g	h	i

Elaboración propia

Jin señala que Leonard y Tough (1979) realizaron la matriz O-D en el centro Reading, UK. La metodología para la recolección de información fue a través de la transcripción de las placas de los autos en diversos puntos identificando tanto sus puntos de entrada como los de salida. Asimismo, señalan que este método hacía que el error por medio de encuestas disminuyera.

1.1.5. Caso de estudio-Dezhou

En la ciudad de Dezhou, Tang, Yang, Huang, Xu y Li (2012) desarrollaron un nuevo modelo matemático para evacuar en casos de emergencia. El modelo *Multi-levels Emergency Evacuation Model* (MEE), se basa en la red vial compleja que tiene la ciudad, considerando factores como la impedancia de las rutas, población en cada región de origen y destino, clasificación de la zona segura o no segura y el flujo vehicular.

Primeramente, es necesario delimitar la zona de origen y destino. Tang, et al. utilizan el diagrama de Voronoi ponderado para establecer las regiones a nivel espacial. Este diagrama consiste en localizar n puntos en el plano de la ciudad. Una vez localizados, se establece n regiones, tal que cada región alberga únicamente un punto en su zona y la distancia entre los

puntos más cercanos estará de acuerdo a la ponderación que se le otorgó. Una vez delimitado, se procede a escoger la ruta óptima. El desarrollo del modelo matemático MEE nace a partir de que la red para la evacuación es compleja, a un nivel que el algoritmo de Dijkstra no sea la herramienta adecuada. (Tang et al., 2012).

El modelo MEE establece como función objetivo llegar a cero la siguiente ecuación:

$$F = \sum_{i=0}^m \left(\frac{ET_i \times Q_i}{N_i \times a} - \sum_{i=1}^m \frac{ET_i \times Q_i}{N_i \times m \times a} \right)^2$$

Donde:

- ET_i es el tiempo de evacuación en la carretera i
- Q_i es el número de personas ubicadas en la carretera i
- N_i es el número de vehículos en la carretera i
- a es la cantidad de personas en un vehículo
- m es el número de carriles en total

La Figura 4 muestra el marco de la base de datos en tiempo real.

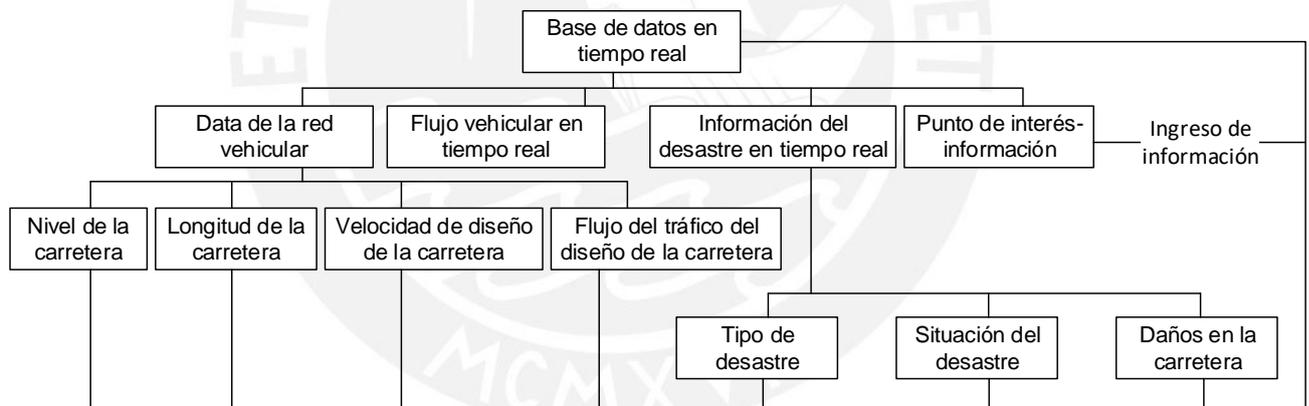


Figura 4: Grafo conceptual de la base de datos

Fuente: (Tang, 2012 pp. 200)

1.2. Simulación de redes de transporte

En esta sección, en base a la literatura revisada, se explicarán características de los tipos de simulación usados para el modelamiento de transportes y analizarán las variables de entrada que requieren.

1.2.1. Modelamiento de transporte

Diversas investigaciones y experimentos presentan una estructura común para el modelamiento, denominado modelo clásico de transporte (Ortúzar, 2008). La Figura 5 muestra el esquema del modelo.

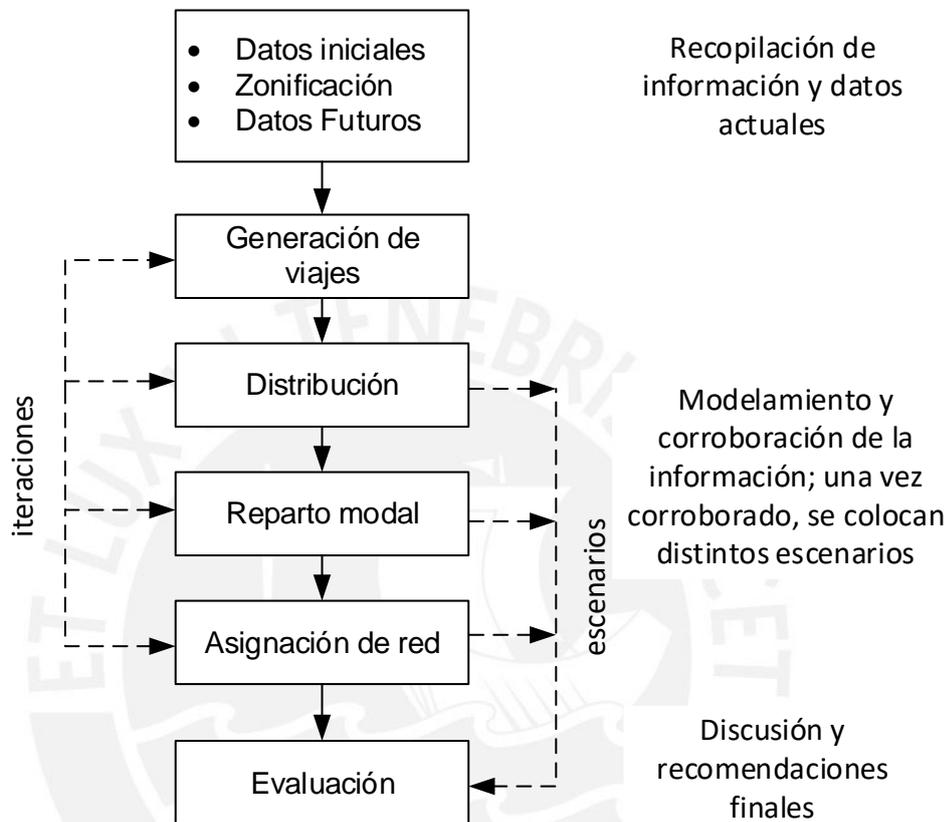


Figura 5: Modelo clásico de transporte
Fuente: (Ortúzar, 2008 pp. 56)
Elaboración propia

Como se puede observar, el modelo señala que el proceso inicia con la recolección de información, tanto de la zona geográfica como de los vehículos que transitan por la zona. Según Ortúzar, actualmente, el modelo clásico sirve de base y punto de partida para el modelamiento de un sistema de red; esto quiere decir que las etapas pueden ser desarrolladas de distintas maneras y no en el orden mostrado. Además, señala la importancia de la elaboración de escenarios, pues puede darse el caso de construcción de escenarios donde no sea financieramente factible ni realista. Ortúzar señala que establecer escenarios es más un arte que una técnica que requiere de mucha experiencia combinado con un criterio lógico y racional.

Luego de establecer los escenarios, nuevamente se realizan las iteraciones; estas servirán para la posterior comparación de ellas e identificar la mejor solución, siendo no necesariamente la óptima. El autor indica que la mejor selección es la que muestra un mejor

balance entre la inversión más rentable y una política de transporte que satisfaga la demanda. Para el estudio de esta tesis, el criterio principal será atender a la mayor cantidad de demanda que quede en el sistema a través de una cantidad óptima de rutas de escape.

Según Choi (2013), si bien los gobiernos establecen medidas mitigadoras de riesgo ante desastres naturales, la importancia de la toma de decisiones parte de la estimación de pérdidas, tanto humanas como inmobiliarias, estas traduciéndose en pérdidas económicas; por ejemplo, García (2019) indica que ante un terremoto de 8.5 Mw en Lima Metropolitana, la ciudad tendría una pérdida económica de 35 mil millones de dólares. De acuerdo a Choi, el punto de partida será la información básica, y esta, debe ser clara y consistente. Asimismo, el factor más importante será establecer una base de datos. El método que propone para la estimación de pérdidas parte de definir el área geográfica y la identificación de un desastre en particular, en este caso, el más recurrente.

De la misma forma, Choi señala que Estados Unidos desarrolló el modelo HAZUS-MH a través del GIS Simulation, el cual realiza simulaciones gracias a una base de datos. El modelo determina la cantidad de personas vulnerables y permite comparar resultados incluyendo acciones mitigadoras. La metodología HAZUS-MH consta de cinco etapas: definir el área geográfica, definir las amenazas por inundaciones, realizar un catálogo de todos los inmuebles y personas que lo habitan, estimar el daño y estimar las pérdidas como las necesidades para afrontarlo.

Por otro lado, China presenta el sistema Haz-Taiwan usado ante casos de terremotos. Su metodología comienza con el mapeo de las zonas más vulnerables ante un terremoto. Después analiza los daños potenciales, también realiza una evaluación de daños físicos y los daños físicos inducidos para luego establecer una estimación social y económico de las pérdidas y finaliza con la estimación de pérdidas económicas indirectas.

En el caso de Japón, esta presenta un sistema denominado Disaster Information System (DIS). El sistema también simula escenarios ante un terremoto. Los resultados de la simulación pueden ser usados para la etapa de planeación y mejorar la capacidad de respuesta; además de aumentar la resiliencia de un determinado espacio. En el caso de Korea, se utilizaba el método Multi-dimensional flood damage analysis (MD-FSA) para la estimación de pérdidas ante una inundación, aunque en el 2010, la National Disaster Management System (NDMS) estableció un sistema más robusto, al nivel de los países como Estados Unidos, China y Japón.

Asimismo, Choi propone una nueva metodología en base a las técnicas mencionadas. En primer lugar, subdivide su metodología en tres partes: información demográfica, información económica e industrial y datos de las propiedades. Dentro de la información demográfica se

encuentran las viviendas y la población. El autor indica que esta técnica también puede lograr una estimación de la demanda ante un desastre. Sin embargo, en base a lo expuesto, no toma en cuenta directamente la cantidad de personas móviles en una determinada área; es decir, personas que transitan por la zona potencialmente peligrosa y que no residen en ella.

Pamukcu (2019) presenta un modelo analítico para la creación de una nueva base de datos para medir el riesgo asociado con los desastres naturales. Con respecto a la recolección de información, el autor hace revisión de casos de desastres, en particular los huracanes; aun así, es importante mencionar la metodología que utiliza para estimar la demanda. Una vez delimitado las zonas de estudio, el autor estima una proporción de la población total que será la demanda necesitada de apoyo. Señala que, según Mieti (1992), el factor que se le da a la población varía de acuerdo a la localización: 0.05 para las personas situadas en partes elevadas y 0.2 para las personas ubicadas en la costa. La desventaja de esta metodología es que, una vez más, parte de la población de la zona en base a un dato demográfico.

Existen dos metodologías principales que buscan disminuir la incertidumbre y mejorar la capacidad de respuesta frente a un desastre natural: desarrollo de modelos estocásticos y desarrollo de modelos de optimización. Ambas metodologías y sus derivados parten de una estimación de la demanda (Vargas, 2013). Por un lado, modelos estocásticos usan la probabilidad de ocurrencia para ingresar a un modelo que presente diversas alternativas, desde el escenario más optimista hasta el peor de ellos. Sin embargo, de acuerdo a Cassidy (2003) y Murray (2005), el problema principal siempre será prever la cantidad de personas vulnerables. Vargas indica que el impacto de un desastre dependerá, principalmente, de dos grupos de factores relacionados al estado de la vulnerabilidad y la resiliencia del área estimada. Al mismo tiempo, este impacto del desastre se expresa por la cantidad de personas afectadas. En base a la identificación de los dos grupos de factores, que representan las variables explicativas, propone usar la metodología de ACP (Principal Component Analysis) para la identificación de aquellas variables significativas que explican la relación causal entre las variables explicativas y la variable explicada (demanda). En el caso de Perú, en Lima-Callos, el modelo estima frente a un terremoto de 8.5 Mw, la cantidad de 127 738 personas afectadas.

Daudé (2019), por otro lado, estipula que la importancia principal para la mitigación de riesgos es la evacuación inmediata de la población. El autor señala que este proceso de evacuación depende de la cultura de prevención de la población y también de la gestión operativa de los rescatistas. De la misma forma, el autor resalta el uso de la simulación para la modelación de estos casos. Daudé presenta el software ESCAPE, que analiza las áreas geográficas, las rutas y caminos existentes, el comportamiento humano y crea diversos escenarios a partir de

la magnitud de los desastres. El software debe ser usado para evacuaciones en masa, lugares amplios y complejos. Las variables de entrada de este software son los escenarios, la continuidad y los efectos que presenta algún desastre. Asimismo, con respecto al área geográfica, el software necesita información sobre las edificaciones, tipo de terreno, rutas y caminos entre otros. Por otro lado, también es necesario conocer la red de población que se maneja en dicha zona.

Una de las características de ESCAPE es la estimación de la demanda una vez definido las áreas para evacuar; ya sean transeúntes o personas que están en ese momento usando un transporte público. ESCAPE es la integración de diferentes modelos que se concentraban en un factor en específico; sin embargo, el alcance de esta tesis no abarca ciudades enteras, además de no poseer caminos y rutas complejas para la evaluación.

1.2.2. Macro simulación

Según Fellendorf y Vortisch (2001), los modelos de macro simulación son los más comunes cuando se trata de simular redes de transporte de gran longitud. De acuerdo a los autores, el propósito de la macro simulación es la validación del modelo; en cambio, la micro simulación, el cual se abarcará en el siguiente sub capítulo, otorga la calibración del modelo.

La macro simulación, o también denominado modelos macroscópicos, ofrecen una representación del tráfico vial en términos del flujo total en un periodo de tiempo y en términos del tiempo promedio de viaje de un punto a otro (Transportation, 2006).

Los modelos macroscópicos son modelados a través de programas computacionales como TransCad, GPS y GIS. Asimismo, el modelo es una herramienta que evalúa la efectividad de las redes viales. Para ello, es necesario la recolección de información como la velocidad promedio de vehículos y el flujo vehicular (Zaynab, Abdul-Razzak, & Khaldoon, 2018).

La macro simulación, según Zaynab, Abdul-Razzak y Khaldoon, da un soporte robusto para la posterior planificación del manejo de sistemas de transporte, ofrece una visión más amplia basándose en modelos estadísticos predictivos, también ofrece la posibilidad de realizar simulaciones con respecto al tráfico vehicular. Los autores resaltan la importancia de generar una base de datos, un reconocimiento cuantitativo de las redes de transporte; es por que ello que realizan un caso de estudio en Al-Nasiriyah, una de las ciudad de Iraq.

En primer lugar, Zaynab et al (2018), localizan puntos estratégicos en las intersecciones de las calles con la finalidad de crear una matriz origen-destino. Los autores utilizan el dispositivo MSSS (*Mobile speed safety system*) que provee información de la velocidad y cantidad de vehículos que transitan en cada punto. La información recolectada es modelada en el

software TransCad, el modelo corre una vez, si esta encuentra problemas de congestión, el mismo software realiza modificaciones como cambio en el ancho de los carriles para disminuir la congestión, el modelo tiene el objetivo de encontrar el mínimo tiempo total de viaje, no toma en consideración individualmente, sino la suma de todos los viajes realizados.

1.2.3. Micro simulación

Según la teoría del seguimiento vehicular, Herman et al. (1958) consolida su trabajo en base a la micro simulación o también llamado descripción microscópica. El objetivo de esta descripción es poder extrapolar el comportamiento macroscópico de toda una corriente de vehículos por una pista (Fernández, 2011).

Uno de los softwares más comunes utilizados para la micro simulación es el VISSIM, que considera al vehículo y al conductor como una entidad. Fellendorf y Vortisch (2001) señalan que hay unos parámetros a tomar en cuenta basados en el software. En primer lugar, se encuentra el ajuste estocástico al conductor; en otras palabras, el modelo realiza un ajuste estocástico a la velocidad que mantiene el conductor cuando un vehículo se encuentra delante de él y luego lo traspassa. En segundo lugar, es importante determinar el tiempo de paso o *time step*, los autores recomiendan un tiempo de 0.2 segundos. La Figura 6 muestra el procedimiento para la calibración del modelo.

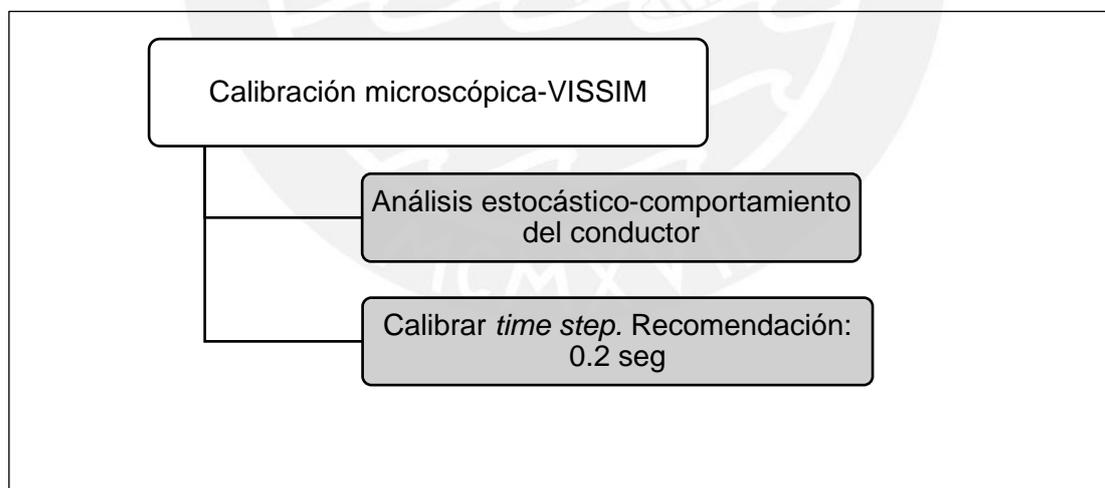


Figura 6: Calibración VISSIM
Elaboración propia

Para estimar la cantidad de personas que transita por la Costa Verde, es necesario conocer la capacidad vehicular que albergan sus tramos. Fernández hace mención al texto *Highway Capacity Manual* (HCM) para determinar la capacidad vehicular dependiendo de las calzadas y direcciones de sus pistas. Como se verán en las siguientes ecuaciones, la capacidad es hallada dependiendo de varios factores.

La siguiente ecuación es usada para determinar la intensidad de servicio de una carretera con una calzada por sentido con dos o más pistas en cada una.

$$IS = NC_{VD}f_Af_{VP}f_Cf_T$$

Donde:

- IS = intensidad de servicio en un sentido (veh/h)
- N= número de pistas en ese sentido
- C_{VD} = capacidad ideal para una velocidad de diseño VD km/h (C_{95-112} = 2 000 autos/h-pista; C_{80} = 1 900 autos/h-pista)
- f_a = factor de reducción por ancho de calzada y bermas
- f_{VP} = factor de reducción por presencia de vehículos pesados
- f_C = factor de reducción por tipo de conductor (habitual o no)
- f_T = factor de reducción por tipo de carretera (con o sin mediana; rural o urbana)

Para el caso de autopistas con calzadas separadas físicamente, señala la misma ecuación, con excepción del factor de reducción por tipo de carretera.

Los factores f_a y f_R se encuentran tabulados en el HCM. El factor f_{VP} presenta la siguiente forma:

$$f_{VP} = \frac{100}{100 + P_C(E_C - 1) + P_B(E_B - 1)}$$

Donde:

- P_C, P_B = porcentaje de camiones y buses en el flujo respectivamente
- E_C, E_B = equivalencia en vehículos livianos de un camión o un bus (1 bus = 2 autos)

Para determinar la capacidad horaria, hace uso de la siguiente fórmula

$$VS=IS.FHP$$

$$FHP=\frac{q}{4q_{15}}$$

Donde:

- FHP = factor de hora punta
- q = flujo en hora punta (veh/h)
- q_{15} = flujo en los 15 minutos punta de la hora punta (veh/15 min)

1.2.4. GIS Simulation

El modelamiento y la simulación son esenciales en cualquier operación del tráfico vehicular con el fin de realizar un planeamiento ante eventos no previstos y casos de emergencia. A través de la simulación es posible recrear diferentes impactos causados por desastres naturales. Asimismo, la simulación arroja resultados importantes que responden preguntas como determinar la cantidad de personas vulnerables, el tiempo de evacuación y el impacto que tendría; aparte de ello, es posible generar distintos escenarios que buscan llegar a una solución óptima (Matherly, 2015).

La simulación hace uso de la herramienta de softwares, por ejemplo, se ha observado estudios donde se presentan situaciones de desastre como huracanes, inundaciones e incidentes radioactivos (Brain, 2007; Lee, 2005)

Kubisch et al. (2019), analiza el proceso total de evacuación a través del uso de simulación, la plataforma GIS *Simulation* y *OpenStreetMap* (OPS). En primer lugar, Kubisch realiza un cuestionario tomando como muestra a 136 casas distribuidas en el distrito “Las Salinas”, en Chile. Dentro del cuestionario se encontraban preguntas acerca del nivel socio-económico, experiencia con tsunamis, el impacto que tuvo en su vivienda, factores de decisión para evacuar a zonas seguras, entre otros. Aquellos datos fueron ingresados usando el programa *IBM SPSS Statistics 24*. Los resultados del mapa fueron integrados en el QGIS para una mejor visualización de las rutas de evacuación.

Para el uso del GIS *Simulation*, el autor señala que era necesario considerar la velocidad del peatón en la zona. Sin embargo, de acuerdo a Gates et al. (2006), esta variable depende de la condición física de la persona, como edad, género, condición del camino y el tamaño de grupo a movilizarse. Kubisch utiliza la velocidad determinada por Yosritzal et al. (2018), este autor realiza una simulación de evacuación ante un tsunami en Padang, Indonesia. Las velocidades que determinó los separa en tres grupos: bajo (1.35 m/s) para niños menores de 10 años, medio (1.4 m/s) para personas adultas y mayores; y alto (1.51 m/s) para adultos entre 40 y 60 años. La simulación no considera el estado de la carretera. Kubisch divide zonas imaginariamente cuadrangulares de 10mx10m, denominadas celdas. El centroide de estas celdas es el punto de inicio para evacuar. Asume que se considerarán a las celdas quienes estén cerca de las carreteras a una distancia no mayor de 200 m. En suma, obtuvo un total de 180 000 celdas aproximadamente. Para todas estas celdas, estima las distancias de ese punto a los lugares a evacuar para luego aplicar el algoritmo de Dijkstra. Asimismo, el autor señala que también es necesario calcular la cantidad de celdas que van a cada zona de evacuación. La base de datos utilizada es *database PostgreSQL (v.9.3)* y sus extensiones

PostGIS (v. 2.3), *pgRouting* (v. 2.4), los cuales proveen las rutas y otras funcionalidades para el análisis.

Uno de los resultados que arroja su investigación es que más del 40% de la población tardaría en llegar más de 15 minutos a los puntos de evacuación, esto con respecto a los tres niveles de velocidad. El autor concluye que estas personas no llegarían a la zona de evacuación, debido a que un tsunami tarda menos de 15 minutos en llegar a la zona costera. Ante aquel resultado, el autor sugiere que, tanto para niños como personas adultas, tendrían mayor prioridad para el uso de un vehículo hasta llegar a las zonas de evacuación.

Li y Cao (2018) desarrollan un caso de estudio en Jinan, China, muy importante en la aplicación del algoritmo LTM (*Link Transmission Model*), en la cual describen el proceso de recolección de datos.

Por un lado, los autores delimitan a través de una red vehicular denominada red origen-destino (O/D) todas las entradas y salidas. Dentro de la red, ubican los puntos donde se encuentran los VMS (*Variable Message Signs*), receptores de señal. Por otro lado, los parámetros usados en el desarrollo de su modelo son los siguientes: 80 km/h velocidad promedio, 65 vehículos/km-carril como densidad de carril. Tras ello, determina diferentes escenarios, del optimista al pesimista. Finalmente, la simulación presenta la cantidad de vehículos que transitan en el espacio determinado a un tiempo en específico. Con esta información, sería posible determinar la cantidad de personas que transitan en la zona de la Costa Verde.

1.3. Logística urbana

En esta sección, se describirá la definición y el rol que cumple la logística urbana en apoyo a la ayuda humanitaria, tanto en determinar rutas de evacuación como localización de refugios tras un desastre natural.

1.3.1. Definición

La logística urbana se puede definir como el proceso para optimizar totalmente la logística desde el entorno de áreas urbanas, teniendo en consideración el entorno del tráfico, su congestión, seguridad y ahorro en el marco de una economía de mercado (Ramirez, D.)

Según Ehmke (2012), de acuerdo al desarrollo positivo de las empresas y ciudades en el mundo, el conocimiento de la logística urbana ha cobrado mayor importancia. Los conceptos de la logística urbana siguen un objetivo de integración, alineando actividades comerciales con los requerimientos de los *stakeholders*. Por otro lado, se encarga del uso óptimo de los

recursos y el transporte a través de la red vehicular; las rutas de origen y destino también deben ser óptimas como salvaguardar la integridad y salud de una persona.

1.3.2. Rutas de evacuación

Un aporte importante en la logística urbana con respecto al transporte y ayuda humanitaria lo presenta Woelki (2013), el autor utiliza un modelo de optimización para encontrar la ruta mínima, tomando en cuenta el riesgo, para que los autos en servicio de la sociedad como los de la policía, de bomberos, brigadas y ambulancias lleguen a su destino. El autor usa el algoritmo de Dijkstra (Dijkstra, 1959) para determinar aquella ruta considerando diferentes tipos de riesgos. Por ejemplo, señala que un carril podría estar bloqueado por un bloque de concreto o una aglomeración de otros vehículos. Woelki señala que, a más carriles presentes en la carretera, más fácil será encontrar un carril de emergencia y, por tanto, el riesgo de peligro será menor.

Una técnica usada ante las medidas de prevención en el transporte es el cierre de carreteras temporales (Matherly, 2015), trayendo como consecuencia un flujo más lento con respecto a la evacuación de la autopista (Ghanipoor Machiani, 2013). Asimismo, estudios realizados en Canadá, indicaron que el cierre en una vía expresa tuvo como resultado la eliminación de embotellamientos, pero que no incrementó el flujo de salida de los automóviles (Hall, 2008). Si bien la técnica disminuye el riesgo de generar accidentes automovilísticos y genera un mayor orden al momento de evacuar, la desventaja principal es que puede significar estar mayor tiempo en la zona vulnerable. Matherly señala que la mejor forma de analizar esta situación será por medio de simulaciones.

Otra técnica del transporte en pro de la logística humanitaria es la restricción de giros (*turn restrictions*), (Xie y Turnquist, 2009). La técnica significa restringir el paso en intersecciones; para tal fin, el autor indica que, en este caso, sería necesario agentes policiales de tránsito que generen el orden en intersecciones. Estudios realizados en simulaciones, indican que esta técnica reduce el tiempo de evacuación en un 40%, dependiendo de la configuración de la red y el impacto del desastre (Cova y Johnson, 2003).

Otro aspecto importante de la logística humanitaria, con respecto al sistema de transportes, es el análisis del desempeño que tiene esta frente a un desastre natural. Banerjee y Shinozuka (2009), por ejemplo, indican la importancia sobre la extracción de información de los puentes y su vulnerabilidad que presenta. Un dato importante es la curva de fragilidad de la infraestructura. La curva de fragilidad es la representación gráfica de la función de distribución acumulada de la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño límite específico; en este caso una respuesta estructural ante un evento sísmico. (FEMA, 1999)

La vulnerabilidad de un puente puede ser simulado usando la simulación de Monte Carlo (Banerjee y Shinozuka). Los autores indican que sería necesario la aceleración máxima del suelo (PGA, siglas en inglés), variable que puede ocasionar distintos escenarios y la curva de fragilidad del puente. Uno de los análisis que se puede extraer a través de esta simulación es estimar el tiempo que un puente estaría dañado, así como la capacidad que tendría luego de ocurrir un terremoto.

1.3.3. Localización de refugios

La literatura revisada con respecto a la aplicación de modelos de localización ha sido fundamental con respecto a la Gestión de Riesgos, siendo desarrollado en distintos países potencialmente vulnerables a un desastre natural. Entre sus aplicaciones se encuentra la localización de refugios temporales. Un refugio temporal es la instalación provisional con el objetivo principal de salvar vidas luego de un desastre natural (CENAPRECE, 2016).

Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), hay 8 aspectos que se deben tomar en cuenta para la identificación de refugios. La Figura 7 muestra los criterios propuestos por INDECI.

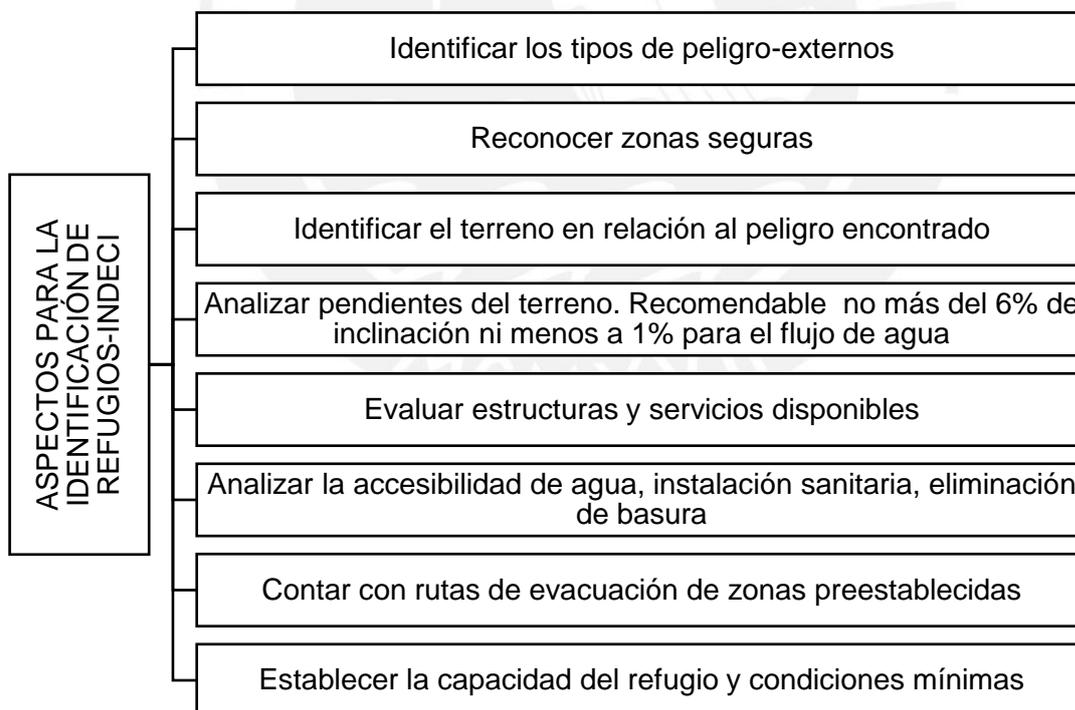


Figura 7: Aspectos para la identificación de refugios
Fuente: (INDECI 2017)

Investigaciones revisadas señalan que los modelos de optimización más usados en casos de terremotos son *p-median* y *maximal covering model*, debido a sus objetivos de minimizar el costo de habilitación de refugios y maximizar la cobertura de demanda respectivamente. Sin

embargo, la mejor solución para la localización dependerá de factores adicionales y no hay respuesta única (Ma, 2019). Para el análisis de qué modelo utilizar, será necesario tomar en cuenta factores externos, que no dependen exactamente del desastre natural a estudiar y los factores internos, que sí dependen del desastre.

Los factores externos están relacionados al proceso de administración y gestión que tiene cada municipalidad o distrito con respecto a la mitigación de riesgos. Por ejemplo, una variable crítica para la localización es la inversión y presupuesto que tiene cada municipio para la habilitación de un refugio temporal. Es importante señalar que estos refugios necesitan de más recursos que solo un espacio geográfico: necesita recurso sanitario, médico, suministro de alimentación, entre otros. Otro factor externo crítico es la capacidad que tiene cada refugio. Chen (2018) propone un método para los posibles candidatos, entre ellos se encuentran parques, plazas, escuelas entre otros.

Los factores internos dependerán del tipo de desastre. Soltani (2014) señala que los factores a tomar en cuenta dependen del desastre natural a analizar; sin embargo, el autor indica que existen factores comunes independientes del desastre. Los factores comunes son la geografía del terreno, cercanía a estaciones de gasolina, estaciones de gas natural, líneas de alto voltaje, terrenos con cuesta abajo, estaciones de tratamiento de residuos y zonas de patrimonio cultural.

Para el desarrollo de situaciones y ciudades más complejas, el modelo *multiobjective* desarrolla problemas computacionales introduciendo algoritmos para la búsqueda de la solución. Según Ma, los modelos *multiobjective* no encuentran la solución óptima al problema, pero que, sin embargo, hallan una solución. Por ejemplo, Hu (2014) desarrolla un modelo *multiobjective* con el objetivo de minimizar la distancia total entre la demanda hasta los puntos de refugio; a la vez, busca minimizar el costo de habilitación de los refugios. Zhou (2010), desarrolla otro modelo enlazando los modelos *maximal covering* y *p-median model*, este modelo fue aplicado para el municipio de Tianjin. También se aplican estos modelos para otros desastres naturales. Véase el caso de Alcada-Almeida (2009), quien propone 4 objetivos para su modelo: minimizar la distancia de la demanda a los refugios, minimizar el riesgo total de las rutas de evacuación, minimizar el riesgo de incendio en los refugios y minimizar el tiempo total de evacuación hacia el hospital. Se ha encontrado casos de estudio antes huracanes y tsunamis como lo propone Doerner (2009), este propone una heurística para localizar refugios frente a un tsunami basándose en el algoritmo NSGA-II. Chai (2009) propone un modelo *multiobjective* para la localización de refugios temporales en carreteras minimizando el tiempo de rescate y maximizando la cantidad de personas a rescatar.

Zhao (2017) propone un modelo integral de localización de refugios considerando factores externos. El modelo se caracteriza por la integración de los modelos *p-median*, *p-center* y *p-covering* con el número de víctimas en función del tiempo; para ello, el autor plantea cinco suposiciones:

- Se toma a la población de víctimas como un punto, en base a su centro de masa.
- Las personas seguirán la ruta preestablecida para la evacuación.
- El modo de movilizarse es a pie para todas las personas.
- Las localizaciones de los refugios están predeterminadas.
- Todas las personas de un mismo punto están asignadas a solo un refugio.

Según Zhao, elegir un modelo apropiado para la localización de refugios significa que las víctimas potenciales lleguen lo más rápido posible a estos (2017: 7). Para lograr aquel enunciado, el autor indica que todo modelo debe cumplir con dos restricciones. La primera restricción es la distancia: la distancia entre la demanda y el refugio debe tener un radio máximo permitido. La segunda restricción es la capacidad: el número de demanda no debe exceder la capacidad del refugio; caso contrario, los refugios no estarían cumpliendo su objetivo.

Como se puede apreciar, existen diferentes modelos que analizan tanto factores externos como internos durante una evacuación. Los objetivos también presentan similitud, disminuir tiempos de evacuación, tomar en cuenta el tema presupuestal y brindar el mayor apoyo posible a las potenciales personas vulnerables.

CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL

En este capítulo se presentará la situación actual del caso de estudio. En primer lugar, se dará una breve descripción de la Costa Verde, para luego señalar la problemática de la estimación de la demanda vulnerable ante un terremoto. En segundo lugar, se brindará información cuantitativa que servirá de apoyo para el posterior análisis y modelamiento del sistema en la Costa Verde de Miraflores.

2.1. Delimitación de escenario

En esta sección se dará una breve descripción de la Costa Verde y sus alrededores, señalando la importancia del espacio y un análisis de su micro entorno. Asimismo, se explicará la problemática en la Costa Verde perteneciente al distrito de Miraflores.

2.1.1. Costa Verde

Las playas y acantilados que bordean la ciudad de Lima han sido denominadas Costa Verde, debido a que en la parte baja de los acantilados hubo presencia natural de vegetación por niveles de las aguas subterráneas o freáticos altos. (Teves, 2016) Tanto las playas de Miraflores y Chorrillos han sido arenosas, aunque en los últimos años se ha visto una pérdida de esta. La Costa Verde abarca los siguientes distritos: Callao, San Miguel, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres (CENEPRED), 192 141 habitantes de estos distritos se encuentran en zona de riesgo alto y muy alto ante un movimiento sísmico.

La Figura 8 muestra la ubicación geográfica de la Costa Verde en su totalidad, como se puede observar, la vía inicia en el distrito del Callo pasando por los 6 distritos hasta llegar a Chorrillos. La zona presenta espacios con 15 playas ubicados en diferentes distritos. De acuerdo a datos estimados en el 2011 por la Municipalidad de Lima, la Costa Verde cuenta con 8 entradas desde la ciudad hasta el circuito. Asimismo, señala que, en épocas de verano, la zona recibe alrededor de 350 000 personas diariamente. La longitud de la vía en su totalidad es de 21 km, mientras que la longitud de sus playas es de 5.8 km de La Herradura de Chorrillos hasta La Pampilla en Miraflores.

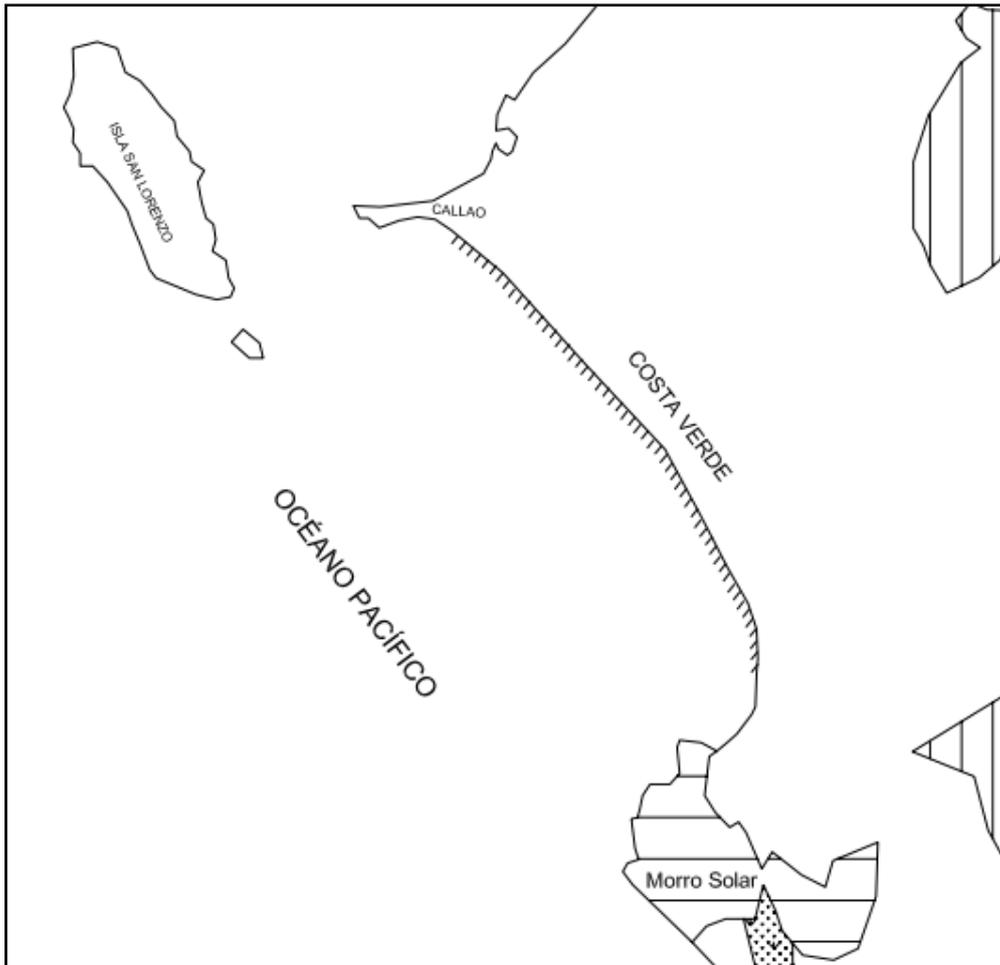


Figura 8: Mapa de la Costa Verde
Fuente: (GRANADOS, 2006, Anexos, p. 121)

La formación de la Costa Verde comenzó en el año 1943, cuando se construyó el primer espigón en Chorrillos. Con respecto a las vías, de la Costa Verde, Teves señala que en los últimos años se han efectuado rellenos de desmonte en el litoral de San Isidro y Magdalena. En 1971 el Consorcio Corporación Peruana de Ingeniería (CORPEI) y Aramburú Menchaca Asociación realizaron un estudio denominado “Proyecto Costa Verde”, donde se estableció las áreas de los acantilados con riesgo de deslizamiento en caso de sismos. En aquel informe, Teves indica que se estableció una línea geotécnica de seguridad a una distancia de 100 – 200 m del borde de los acantilados, en los que no se debería construir edificios por el peligro de fallas existentes en la zona. Sin embargo, el autor indica que esta recomendación técnica no ha sido respetada y, en caso de un terremoto, se corre el riesgo del colapso de edificios situados en dicha zona.

2.1.2. Problemática de la Costa Verde-Miraflores

El alcance de esta tesis abarca la zona de la Costa Verde del distrito de Miraflores; viéndose cada distrito como unidad responsable para la toma de decisiones en favor de aumentar la resiliencia ante desastres naturales. El hecho de estudiar únicamente el distrito de Miraflores no significa que no se deba desarrollar una investigación en los demás distritos costeros. Asimismo, el alcance circunscribe a este distrito debido a que se recibió apoyo de información gracias a la coordinación del asesor de esta tesis.

En primer lugar, de acuerdo a Santa Cruz (2018), la estimación de la demanda en la Costa Verde tiene un comportamiento diferente si se desea conocer la cantidad de personas que circulan diariamente por cada distrito. Por ejemplo, la Tabla 3 muestra la población en cada distrito que abarca la Costa Verde. Si bien estos datos pueden proporcionar ya una estimación de la demanda para futuras decisiones con respecto al manejo de desastres naturales, esto no podría realizarse en la temporada de verano, específicamente enero y febrero. En estos meses, son otros distritos quienes albergan mayor cantidad de población en sus playas; expuesto de otra manera, la cantidad demográfica no es suficiente para un estimado en la vía de la Costa Verde, pues no es un sistema estático.

Tabla 3: Población de los distritos que abarca la Costa Verde

Distrito	Población
Barranco	28 970
Chorrillos	336 054
Magdalena del Mar	54 925
Miraflores	81 619
San Isidro	53 460
San Miguel	137 247

Fuente: (Santa Cruz, 2018)

Elaboración propia

Santa Cruz argumenta ejemplificando a los distritos de Miraflores y Barranco: a pesar de que estos distritos muestren una menor población, esta varía considerablemente en temporadas de verano. Frente a este caso y, con la finalidad de aumentar la resiliencia urbana de la zona, es necesario considerar la circulación masiva en la red vehicular de la Costa Verde, siendo esta escogida por su atractivo turístico y, sobre todo, por ser una alternativa de viaje evitando el tránsito de la metrópolis.

Previamente se ha hecho mención a la probabilidad de que ocurra un terremoto en las costas de Lima Metropolitana; sin embargo, aún no se ha especificado los daños que ocasionaría el tsunami posterior al terremoto. Ante ello, se presenta la investigación realizada por la

Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN, 2011), esta institución advierte e identifica las zonas inundables si es que ocurriese un terremoto con las magnitudes 8.5 y 9.0 Mw. En la Figura 9 se observa la carta de inundación del distrito de Miraflores, la zona rosada indica el avance del mar cuando ocurra un terremoto de 8.5Mw. Se observa el ingreso de olas por toda la zona costera. Por otro lado, si sucediese un terremoto de 9.0Mw, el mapa muestra que no solo las áreas rosadas serían afectadas, sino la zona coloreada de rojo, siendo la zona más afectada la parte ubicada en el norte del distrito.

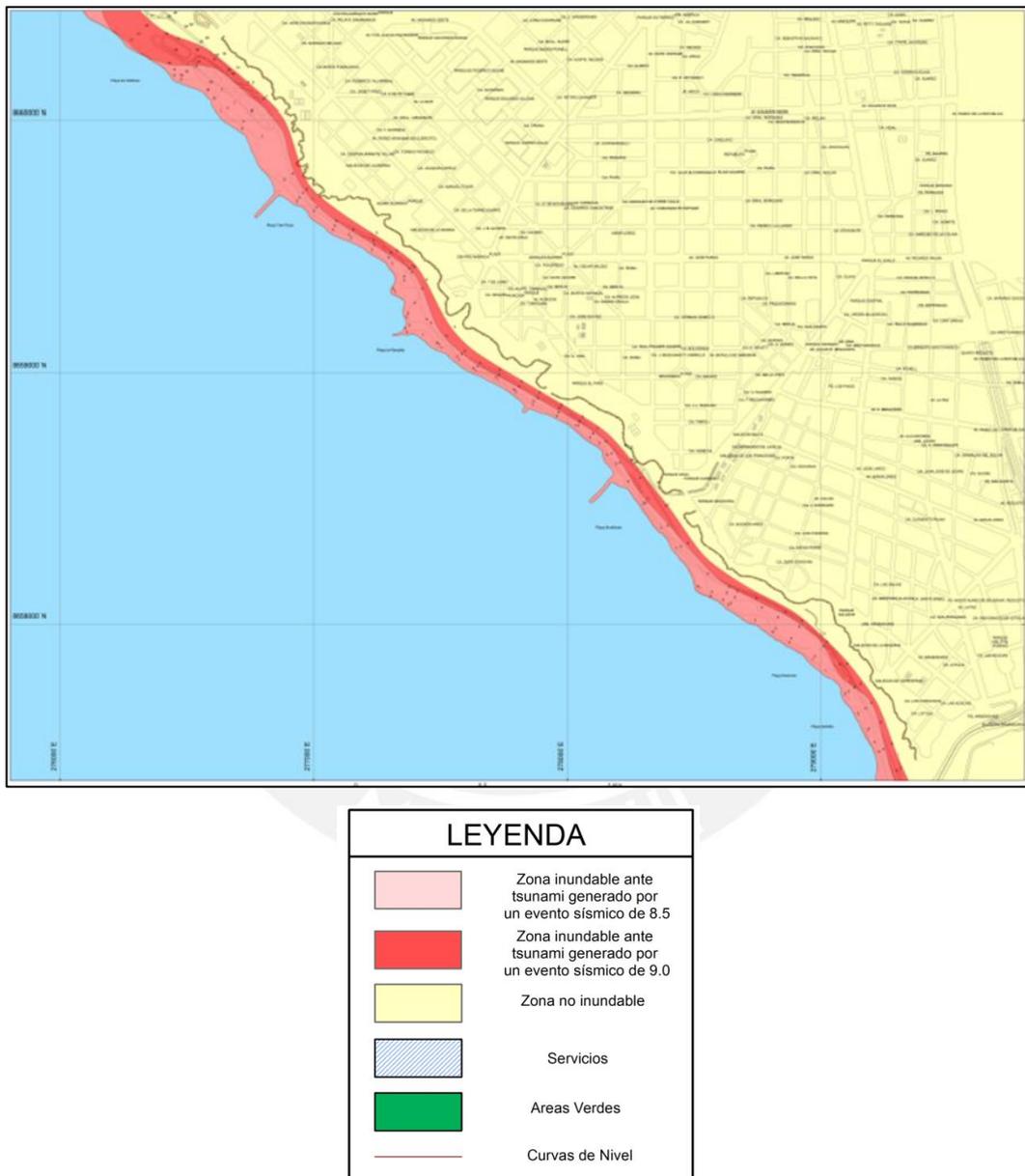


Figura 9: Carta de inundación-Costa Verde, distrito de Miraflores
Fuente: (DHN, 2011)

La importancia de tomar en cuenta a las personas flotantes, denominado así a las personas que transitan por la zona a un destino temporal (Gándara, 2020), radica en que la Costa Verde

presenta un gran atractivo turístico para toda Lima Metropolitana; de igual forma, la vía expresa de la Costa Verde es un proyecto que conecta 6 distritos, por tal motivo, es vista como una alternativa para automóviles que desean evitar el tráfico y la congestión que se da en la ciudad. Sin embargo, ante un terremoto de 8 Mw en Lima, esta generaría un tsunami de olas de más de 7 metros en el Callao en un tiempo de 18 minutos (Tavera, 2014). El autor también señala que la inundación horizontal de la zona sería de 1 400 metros. Frente a ello, las rutas de escape son escasas, tanto para las personas flotantes como los vehículos que transitan. Para encontrar una posible solución a este problema, será necesario el estudio del comportamiento y flujo vehicular de la zona; asimismo, será necesario presentar diversos escenarios; por ejemplo, bloqueo de carriles causados por accidentes automovilísticos o caída de tierra; con la finalidad de situarnos en el peor escenario y estimar la cantidad de personas vulnerables. La información obtenida ayudará a elegir soluciones para crear rutas de escape.

2.1.3. Información secundaria

Las informaciones secundarias abarcan publicaciones e investigaciones pasadas con respecto al análisis geográfico y social en la Costa Verde de Miraflores; brevemente se detallará lo más importante.

Por un lado, Santa Cruz identifica tres caminos existentes para la red peatonal en Miraflores, el primero por la avenida Pando, el segundo por Bajada Balta y el tercero por la avenida Larco. La Figura 10 esquematiza lo mencionado.

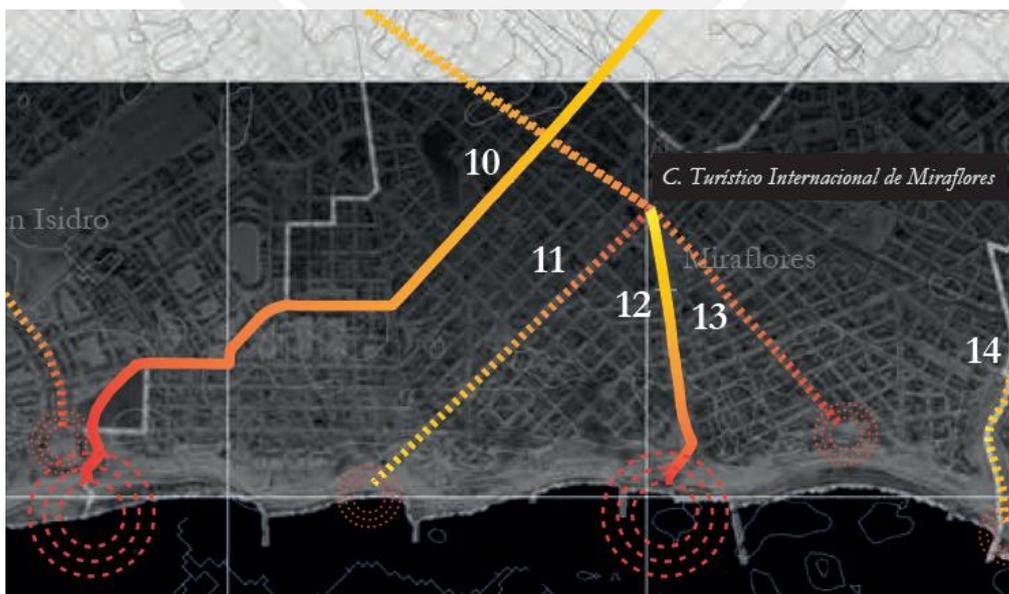


Figura 10: Red peatonal-zona Costa Verde-Miraflores
Fuente: (Santa Cruz, 2018 p.cd77)

Donde:

- Camino 11 es la avenida Pando
- Camino 12 es Bajada Balta
- Camino 13 es la avenida Larco

Asimismo, Santa Cruz identifica los accesos peatonales de la zona como se observa en la Figura 11, estas rutas pueden usarse como rutas de escape para las personas flotantes.

- Acceso María Reiche (escalera) (6)
- Acceso peatonal Itzbak Rabin (escalera) (7)
- Acceso peatonal Balta (rampa) (8)

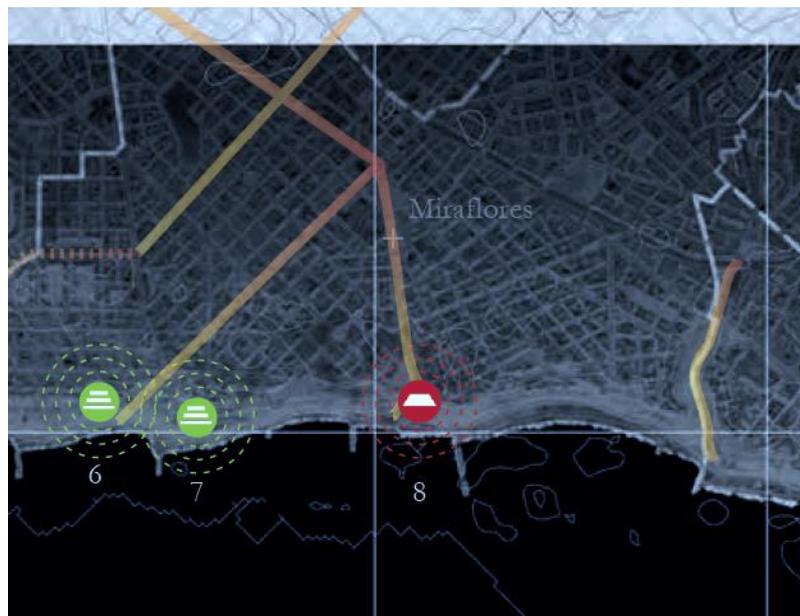


Figura 11: Accesos Peatonales-Costa Verde Miraflores
Fuente: (Santa Cruz, 2018 p.cd74)

Según Ortiz (2010), el 94% de vehículos que usan la vía expresa de la Costa Verde lo usan como rutas de trabajo y rutina. Adicionalmente, indica que el 6% de los viajes son utilizados para disfrutar del paisaje, entre ellos se encuentran bañistas, paseantes, tablistas y ciclistas.

Velocidad de diseño:

La Tabla 4 muestra la velocidad máxima permitida según el trayecto de la Costa Verde del distrito de Miraflores

Tabla 4: Velocidades de diseño

Tramo inicio	Tramo final	Distancia (km)	Velocidad de diseño (kph)
Bajada San Martín	Altura parque El Faro	2.33	60
Altura parque El Faro	Club tennis Las Terrazas	0.53	40
Club tennis Las Terrazas	Bajada Armendáriz	1.70	80

Fuente: (El Comercio, 2016)
Elaboración propia

2.2. Inventario de escenario

En esta sección, se detallará información con respecto a la caracterización de las rutas de la zona, así como la delimitación de los puntos a tomar en cuenta para, posteriormente, diseñar la matriz O/D.

2.2.1. Trayecto

De acuerdo a la Municipalidad de Miraflores, la zona de la Costa Verde inicia desde la Bajada San Martín y finaliza en la Bajada Armendáriz con un trayecto de 5km aproximadamente (Google Maps). La Figura 12 muestra las bajadas vehiculares de la Costa Verde de Miraflores.

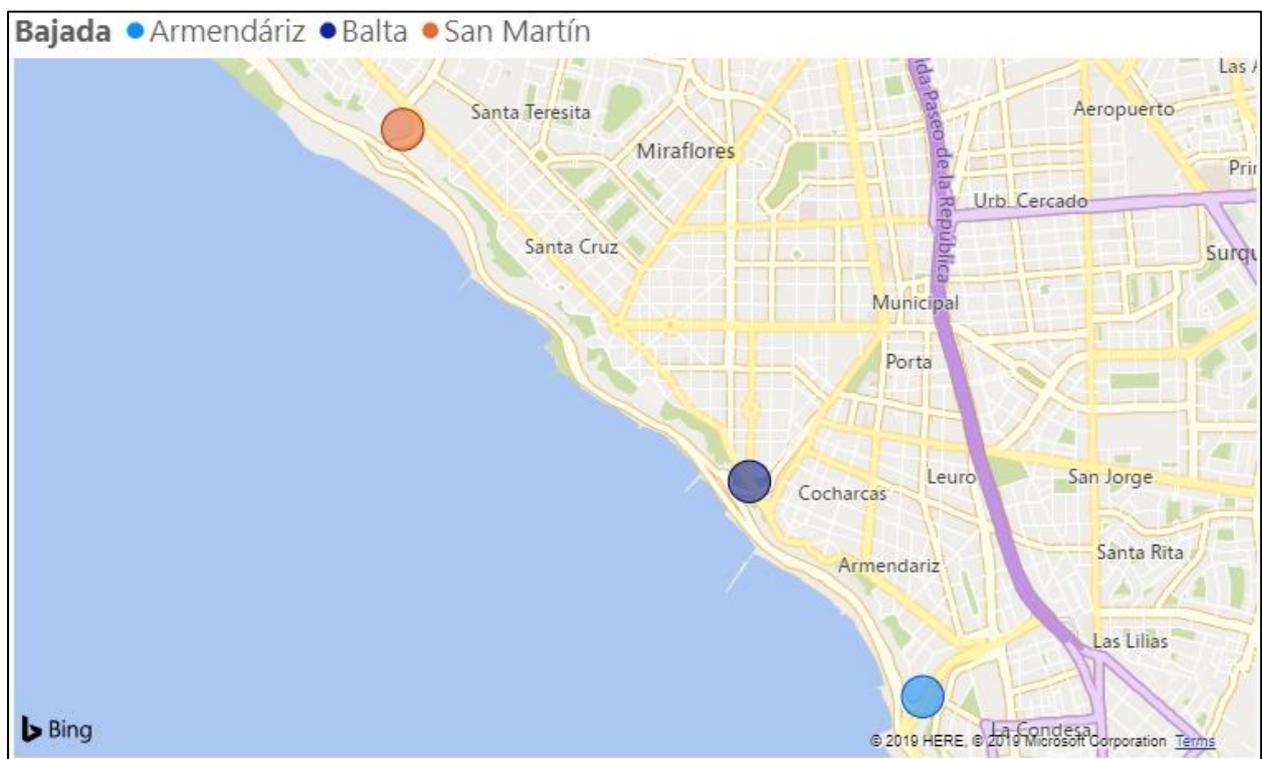


Figura 12: Bajadas vehiculares de la Costa Verde de Miraflores
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, 3 calles se conectan de las zonas altas del distrito con el circuito de playa. Como primera observación, se señalan tres direcciones principales en la zona delimitada: los autos que van a la zona noroeste (San Isidro), quienes van a la zona sureste (Barranco) y quienes salen del sistema; es decir, se dirigen al noreste de la vía expresa. A continuación, se detallará la ruta de estas tres bajadas a detalle.

En primer lugar, la Bajada San Martín presenta 5 carriles, 2 de ellos se dirigen a la zona de San Isidro, mientras que 3 se dirigen afuera del sistema. La Figura 13 muestra el esquema de las rutas actuales de la bajada. Como se puede observar, hay 4 carriles que ingresan y 4 que salen del sistema por la parte de San Isidro; es necesario puntualizar que existe una

intersección entre estos 2 caminos y será necesario tomarlo en cuenta, puesto que quienes vienen por la Bajada San Martín, no necesariamente se están dirigiendo todos a San Isidro, sino que pueden estar dirigiéndose a Barranco. El punto P1 es el puente San Isidro, mientras que el punto P2 corresponde al puente Estadio, ambos puentes no operativos. También se puede observar que hay una conexión adicional para quienes llegan desde el circuito por San Isidro y puedan dirigirse a la Bajada San Martín.

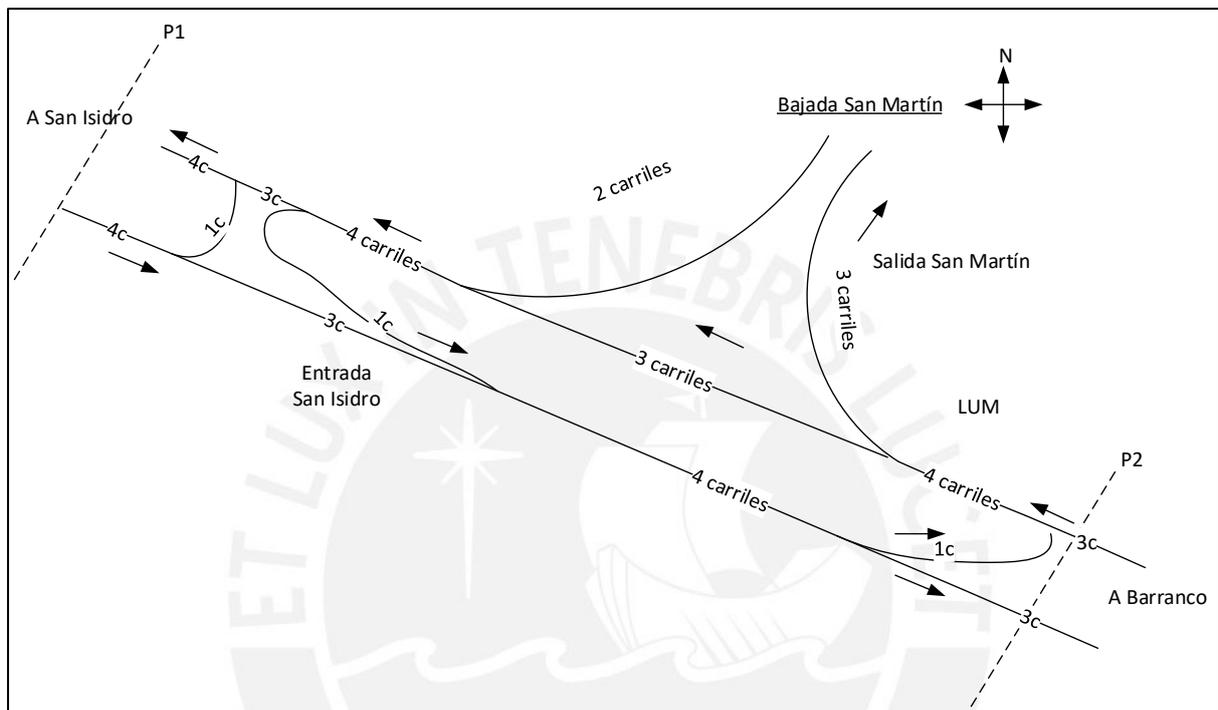


Figura 13: Mapeo de la Bajada San Martín:
Elaboración propia

En segundo lugar, la Bajada Balta presenta solamente 2 carriles, uno que ingresa al sistema y otro que sale del sistema; esta bajada es quien menos carriles presenta en dirección noreste. En la Figura 14 se observa que también hay un puente cercano (P5), llamado puente Los Clubes. En este sector se encuentra una zona de mayor concurrencia con respecto a las demás bajadas; el motivo principal es que se encuentra un club entre la autopista. Sin embargo, el puente P5 no conecta directamente con el club situado en el medio. En el caso del circuito de playa, solo hay 3 carriles en dirección noroeste a sureste, mientras que, de sureste a noroeste, 2 carriles.

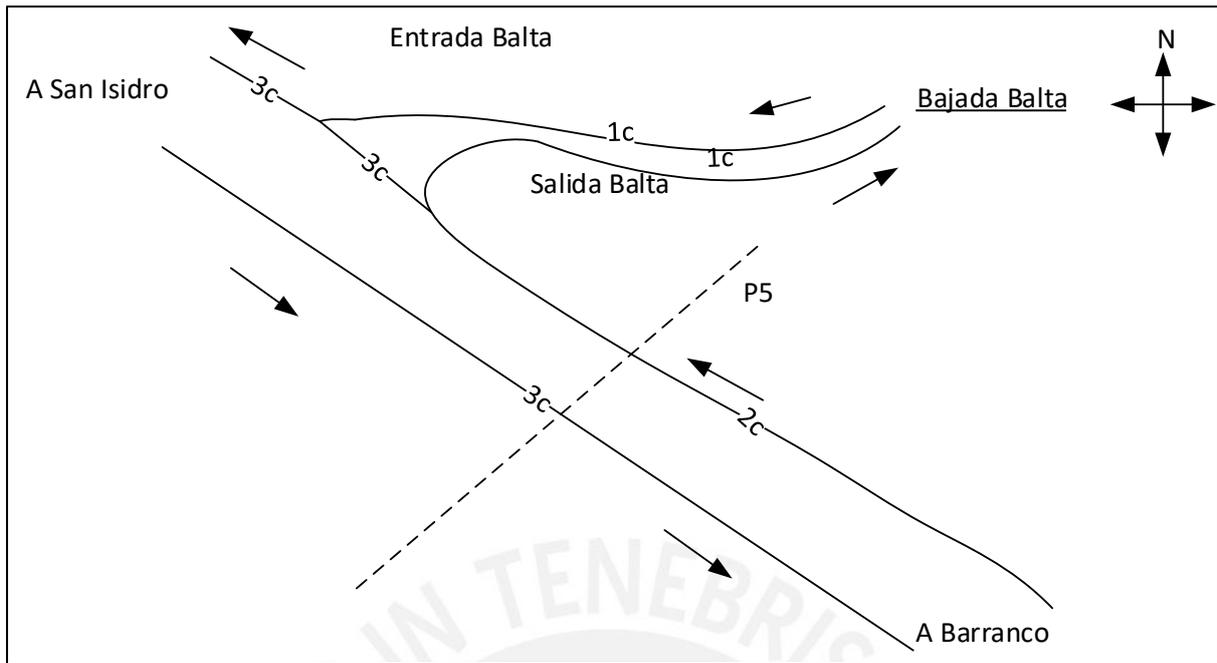


Figura 14: Mapeo de la Bajada Balta
Elaboración propia

Finalmente, se encuentra la Bajada Armendáriz quien divide los distritos de Miraflores y Barranco. Esta bajada presenta 6 carriles, 3 de salida del sistema y 3 de ingreso. Además, existe un viaducto proveniente de la parte noroeste hacia la salida del sistema por la Bajada Balta. Por otro lado, desde la dirección sureste, la carretera se divide en dos, uno que va a la salida por Armendáriz y la otra que va en dirección noroeste; esta última pasa por un túnel, exactamente debajo de la nueva autopista.

En la Figura 15 se muestra el esquema general de esta bajada. Como se puede observar, exista una mayor complejidad con respecto al sistema de red.

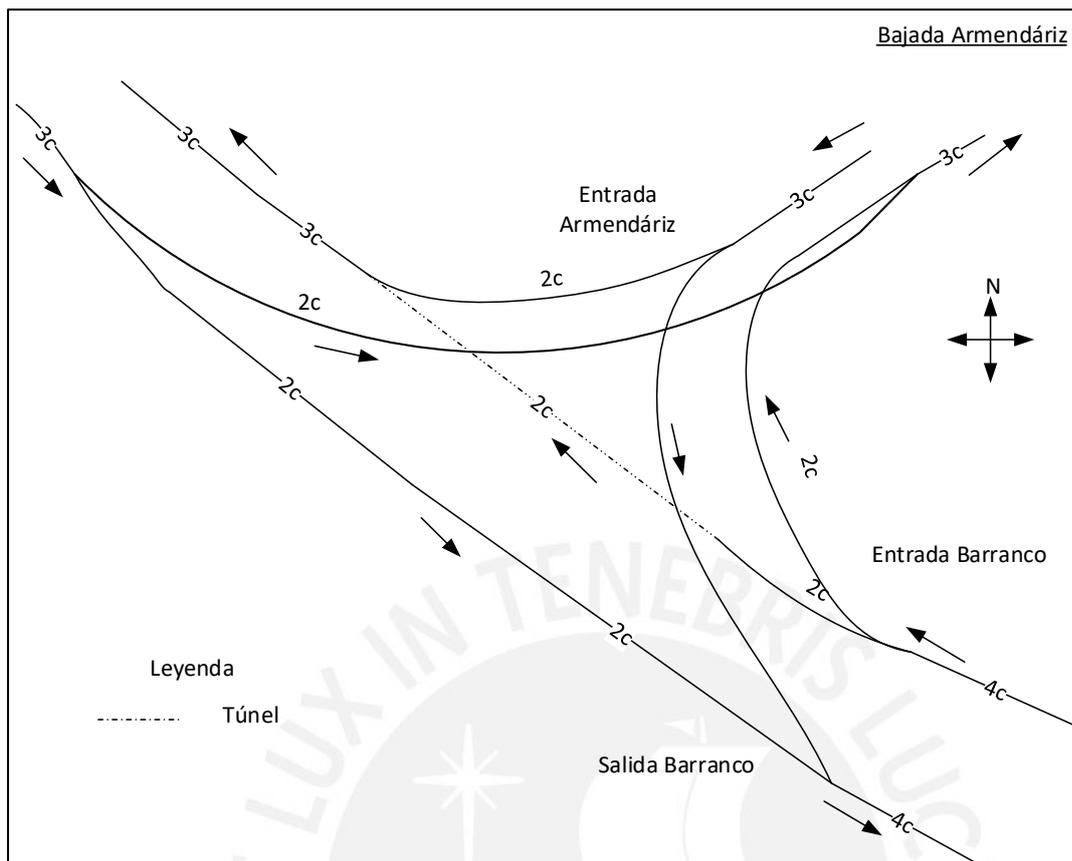


Figura 15: Mapeo de la Bajada Armendáriz
Elaboración propia

2.2.2. Puentes peatonales

Los siguientes puentes peatonales conectan los acantilados del distrito con la zona del circuito de playas. Actualmente, se han observado 6 puentes peatonales, de los cuales 2 se encuentran deshabilitados por ser obras inconclusas y un planeamiento ineficaz. Según el diario La República, indica que la Empresa Municipal Administrador de Peaje de Lima (Emepe), decidió detener el proyecto de los puentes peatonales debido a que Defensa Civil halló deficiencias en su construcción, atentando la integridad de la persona. La Figura 16 muestran los puentes ubicados en la Costa Verde de Miraflores.

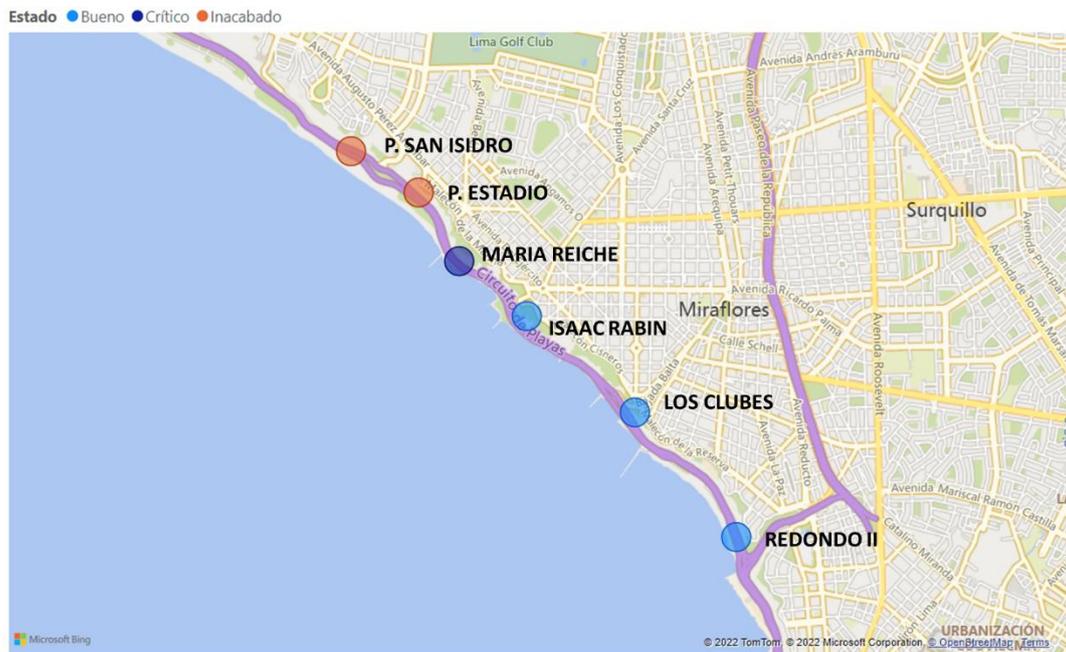


Figura 16: Ubicación de puentes peatonales-Costa Verde de Miraflores
Elaboración propia

Como se pueden observar, los puentes San Isidro y Estadio se encuentran cercana a la Bajada San Martín; sin embargo, ambos no están construidos en su totalidad. De estos dos puentes, el puente Estadio es más crítico, debido a que se encuentra construido en un avance del 80% aproximadamente y cubre ambas autopistas de la carretera. Por otro lado, el puente María Reiche se encuentra en estado crítico, lo cual sería conveniente un estudio con mayor profundidad. El último puente inaugurado fue en la playa Redondo II en el 2021 con una inversión de 3 millones de soles. (Andina, 2021)

Cabe señalar que todos estos puentes están anexados a rampas y escaleras que conectan con la parte alta de la costa, excepto Redondo II, este puente aún conecta con la zona baja de la zona. En la Tabla 5 se muestran las especificaciones de cada puente.

Tabla 5: Datos técnicos-puentes peatonales de la Costa Verde de Miraflores

Bajadas	Longitud de rampa y escaler (m)	Ancho libre rampa (m)	Longitud de puente (m)
María Reiche	165	2.0	46.0
Isaac Rabin	270	2.0	47.3
Clubes	0	2.0	86.0
Redondo II	0	3.5	30.0

Fuente: (CPS de Ingeniería)
Elaboración propia

Si bien la zona presenta 4 puentes habilitados, Luis Zegarra, ingeniero de la PUCP, menciona la ausencia de planificación total de la Costa Verde para conocer cuántos puentes son necesarios (La República, 2018). Por otro lado, se estima que el tiempo en que una persona promedio evacue la zona usando el puente María Reiche es de 5 minutos, mientras que en

el puente Isaac Rabin sería de 7 minutos. De acuerdo a la Municipalidad de Lima, el puente María Reiche presentaba una alta tasa de riesgo debido a las fallas en el talud; frente a ello, la Municipalidad fue asesorado por el profesor Kuroiwa para encontrar una solución. El experto señaló que este tipo de puentes debe presentar un mejoramiento en las estructuras y su ornato, además del uso de geomallas.

Un punto adicional con respecto a los puentes peatonales es que estos discriminan a las personas con discapacidad y personas mayores al momento de realizar una evacuación de emergencia. Frente a esta situación, la mejor opción sería usar la recomendación que establece Kubish et al. El autor señala dar prioridad a niños, mujeres gestantes, ancianos y personas con discapacidad para hacer uso inmediato de los automóviles y buscar una zona para refugiarse. Otra propuesta la establece Santa Cruz, quien establece la posibilidad del uso de ascensores como conectores urbanos. El autor indica que el uso de estas representaría un gran ahorro de tiempo. Asimismo, señala que sería necesario una vía de servicios especial para estos casos; es decir, habilitar un carril adicional en la carretera. En el caso del puente Redondo II, cuenta con un ascensor para personas con discapacidad; sin embargo, el puente solamente conecta con la otra vía en la parte baja de la Costa Verde, no con la parte alta.

2.2.3. Entradas y salidas de la vía expresa

Una vez delimitado el sistema y habiendo considerado la situación de los puentes y la trayectoria, se presenta la Figura 17.

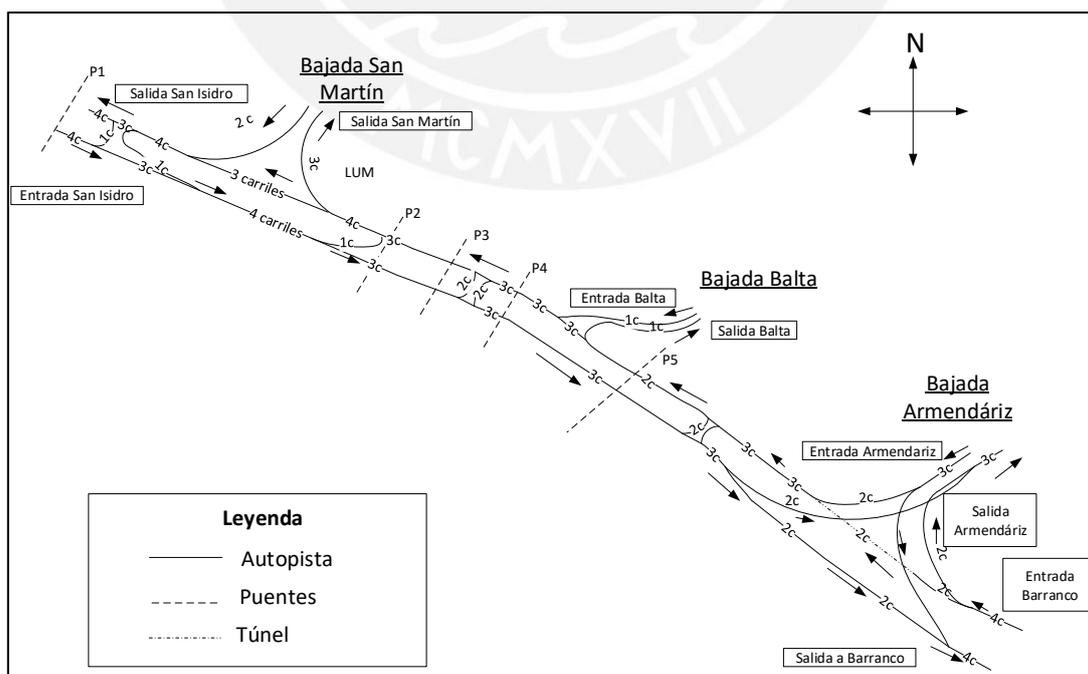


Figura 17: Esquema integrado de la Costa Verde de Miraflores
Elaboración propia

Como se puede observar, el esquema proporciona la información integrada de todas las bajadas y sus puentes; así como la intersección entre las autopistas principales a lo largo del trayecto. Además, en cada autopista se encuentra señalizado la cantidad de carriles habilitados. Por otro lado, el estado en que se encuentra la vía expresa es bueno, están correctamente señalizadas y no existe alguna falla en el asfalto. La velocidad máxima de circulación varía dependiendo del tramo, de manera general, las señalizaciones varían de 40 a 60 km/h como velocidad máxima de circulación.

Los automóviles que más circulan son de tipo particular como sedan, van, minivan, entre otros. Asimismo, se ha observado la circulación de taxis, motos y camiones de carga ligera y carga pesada.

Con respecto al uso de semáforos, a lo largo de la vía expresa se observa que no se encuentre ninguno, esto como una medida de agilizar el flujo vial de los automóviles. Por otro lado, una medida principal por parte de las autoridades ante una alerta de tsunami es bloquear las vías de entrada a la vía expresa y habilitar solo las de salida. Asimismo, la Municipalidad de Miraflores (2019), estipula que tanto las bajadas como los puentes en la vía expresa pertenecen a las rutas de evacuación.

2.2.4. Flujo vehicular

El flujo vehicular es una variable obtenida a partir de una observación temporal. El flujo o también llamado volumen, es la cantidad de n vehículos que pasan por un punto en el espacio durante un periodo de tiempo T (Fernández, 2011). La unidad mayormente usada es vehículos por hora (veh/h).

De acuerdo a la literatura revisada, un informe realizado en conjunto por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y el Equipo de Estudio JICA, indican que, aproximadamente, en los distritos de Miraflores y Barranco, diariamente se generan 500 000 viajes de salida y 1 000 000 de viajes de entrada.

Según Quicaño (2014), indica que la mayor llegada de flujo peatonal se encuentra en la Bajada Balta, debido a la cercanía de un club en aquella zona. En la Figura 18, la autora muestra un mapa donde señala la mayor concurrencia de personas en la Costa Verde, esto se debe sobre todo al sitio turístico de la zona, pues se encuentran diversas actividades recreativas y atractivo turístico, tanto en la parte alta como la parte baja.

Figura 18: Espacios de flujo peatonal en la Bajada Balta



Fuente: (Quicaño, 2014)

Asimismo, toma en consideración que la velocidad de una persona es de 3 km/hr. Por otro lado, se define densidad vehicular como la cantidad de vehículos por carril (veh/carril). Según las observaciones preliminares, la mayor cantidad de densidad vehicular se encontraría en la Bajada Balta, puesto que solo presenta un carril de salida y un carril de entrada en el sistema, además de la geometría curvada de la autopista, generando un flujo lento de los vehículos y largas cola de espera.

2.3. Construcción de la matriz Origen-Destino

Para la construcción de la matriz O/D, será necesario establecer tanto los puntos de origen como los puntos de destino. En la Figura 17 se encuentran los puntos ubicados geográficamente, siendo estos entradas y salidas para el sistema. La Tabla 6 se muestra la matriz O/D que se utilizará para el posterior análisis del flujo vehicular.

Tabla 6: Esquema de la Matriz O/D de la Costa Verde de Miraflores

Origen/Destino	Salida San Isidro	Salida San Martín	Salida Balta	Salida Armendáriz	Salida Barranco
Entrada San Isidro					
Entrada Balta					
Entrada Armendáriz					
Entrada Barranco					

Elaboración propia

Para la construcción de la cantidad de viajes, se utilizará la misma metodología de Leonard y Tough, quienes registraron las entradas y salidas. Debido a la velocidad promedio de los autos, se ha decidido no anotar las placas de los autos.

Los cuadros sombreados señalan que el destino y origen tienen el mismo punto; sin embargo, en este caso no se da la situación, puesto que los carriles son unidireccionales.

De esta manera, se desarrollará el modelo en el software Arena. El proceso del muestreo se detallará en el siguiente capítulo.



CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL MODELO

En esta sección, se desarrollará el modelo en base a la metodología vista en el marco teórico, además, se considerará los factores particulares de acuerdo a la geografía, demografía, entradas y salidas del flujo vehicular y peatonal existente en la Costa Verde en Miraflores.

3.1. Metodología del modelo de transporte en la línea costera

La Figura 19 muestra el esquema general del modelo de transporte en la línea costera que se utilizará para la estimación de la demanda vulnerable ante un desastre natural. En primer lugar, el modelo se divide en tres sub-áreas: información geográfica. Información vial y modelamiento de transporte, esta división tiene similitudes con lo estudiado por Choi (2013).

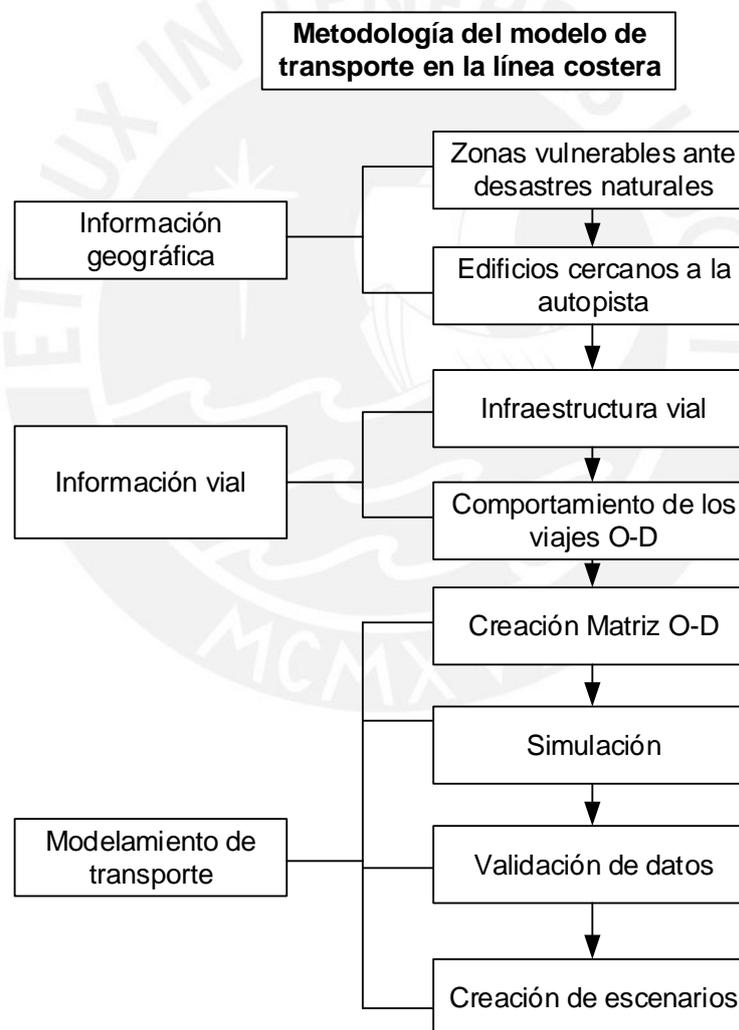


Figura 19: Modelamiento de transporte en la línea costera
Elaboración propia

En la información geográfica, en primer lugar, se señalarán las zonas vulnerables ante un terremoto y, posteriormente, un tsunami. En el caso del terremoto, será necesario especificar

los puntos más vulnerables de la zona. El riesgo de que colapse algún puente, derrumbe de un acantilado y la cercanía de un edificio debe ser considerado. Esta primera etapa se basa en los modelos realizados por Jian (2011) y Cheng (2011).

En segundo lugar, se analiza cualitativamente el estado de la infraestructura de la red vial, tanto la autopista como los puentes peatonales. Por otro lado, la recolección del flujo vehicular representará el comportamiento de la demanda y se analizará en los días de mayor congestión. Por último, el modelamiento de transporte se realizará en el software Arena Rockwell, analizando las variables de entrada y comparando las variables de salida. Una vez obtenido el modelo actual, se procederá con la creación de escenarios.

Con todo lo expuesto, la principal característica del modelo es que estimará la cantidad de personas que necesitarán evacuar ante un terremoto y un tsunami en la zona costera de la metrópolis. De la misma forma, los escenarios incluirán medidas que pueden mitigar la cantidad de personas vulnerables. Nótese que este modelo no toma en cuenta la densidad poblacional de la zona debido a que no existe construcciones de hogares, solamente de clubes y restaurantes; es decir, este modelo es relevante en zonas de mayor fluido vehicular que están altamente vulnerables a sufrir un desastre natural.

3.2. Información Geográfica

En este punto, la información geográfica permitirá identificar los puntos más vulnerables de la Costa Verde del distrito de Miraflores, tanto en caso de un terremoto como de un posterior tsunami. Las magnitudes a tomar en cuenta son mayores a 8 Mw.

3.2.1. Zonas vulnerables ante un terremoto

A través del análisis de fuentes secundarias, se ha establecido las diferentes zonas vulnerables en la Costa Verde del distrito de Miraflores ante un terremoto. En primer lugar, de acuerdo a un reporte de la Municipalidad de Miraflores (2016), señalan que las principales causas ante derrumbes esporádicos de los taludes son la erosión marina sobre el cerro, la humedad y los empujes de fuerza; este último generado por la el tránsito y las construcciones ubicadas en la parte alta. “Las zonas de peligro, según el reporte son el Malecón de la Marina, Malecón Cisneros, Bajada Balta, Malecón de la Reserva, Malecón Armendáriz y la franja de las playas en todo el límite distrital” (2016, pp: 18). Actualmente, todo el acantilado de la Costa Verde está cubierto por geomallas; sin embargo, estas son efectivas solo cuando se producen desprendimientos puntuales y no son al momento de producirse un evento sísmico.

En segundo lugar, Cañari y Alva (2011), presentan un estudio geográfico de la zona presentando los siguientes resultados: la zona a la altura de la avenida Federico Villareal

hasta la Bajada Balta presentan 16.9% de riesgo bajo, 46.7% de riesgo medio y 36.4% de riesgo elevado. En la zona de Bajada Balta a la Bajada Armendáriz, presentan 27.4% de riesgo bajo, 34.4% de riesgo medio, 24.6% de riesgo elevado y 13.6% de riesgo muy elevado.

Raygada (2011), de la misma forma que la investigación de Cañari y Alva, traduce en términos de riesgo el análisis de estabilidad y deformación en el acantilado de la Costa Verde. Específicamente, el autor divide en 6 secciones el acantilado perteneciente al distrito de Miraflores en la parte baja del Larcomar. Raygada señala que la zona más propensa a la ocurrencia de una falla es la sección 1 con un riesgo de nivel alto.

La Figura 20, Figura 21 y Figura 22 muestran las ubicaciones geográficas de las zonas que tienen un riesgo alto y muy elevado de acuerdo a lo expuesto por Raygada (2011). De estos puntos geográficos, quien presenta mayor preocupación es la zona cercana al Larcomar, sitio atractivo por el comercio que existe y la visita constante de turistas.



Figura 20: Malecón La Marina
Fuente: (Municipalidad Metropolitana de Lima)

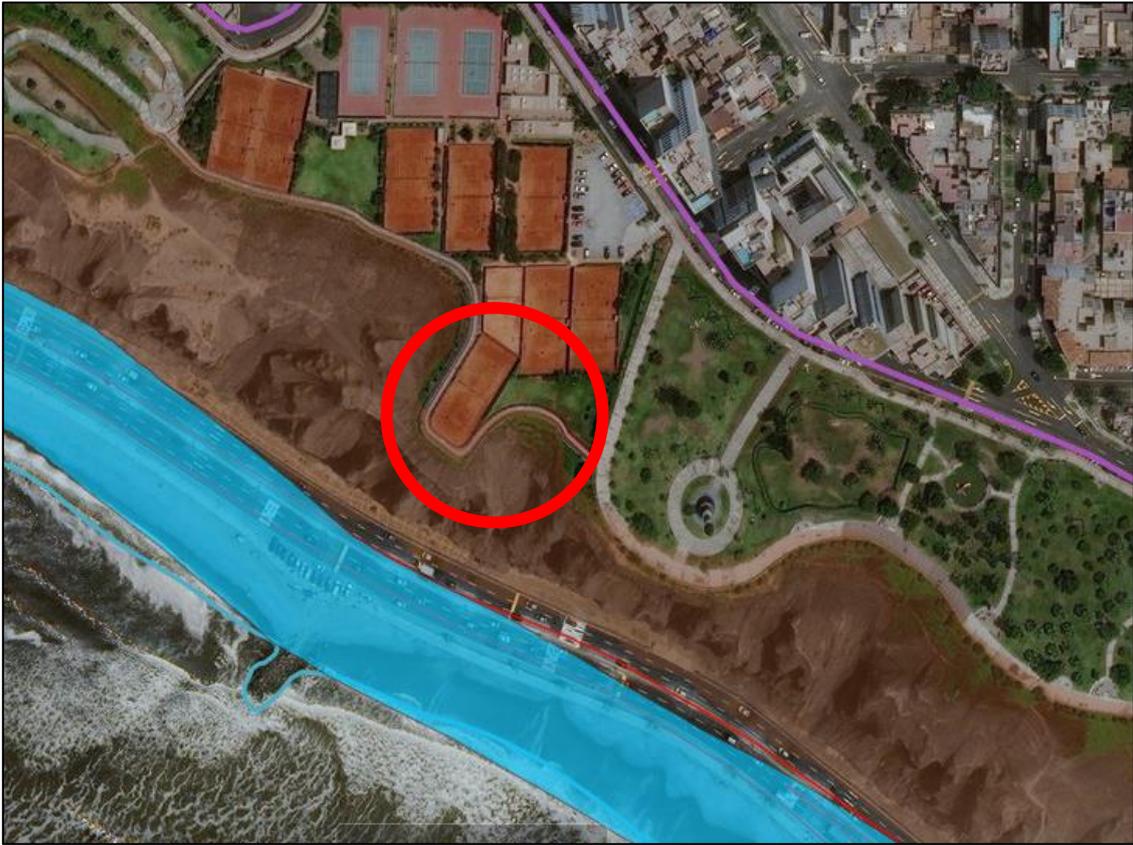


Figura 21: Malecón Cisneros
Fuente: (Municipalidad Metropolitana de Lima)

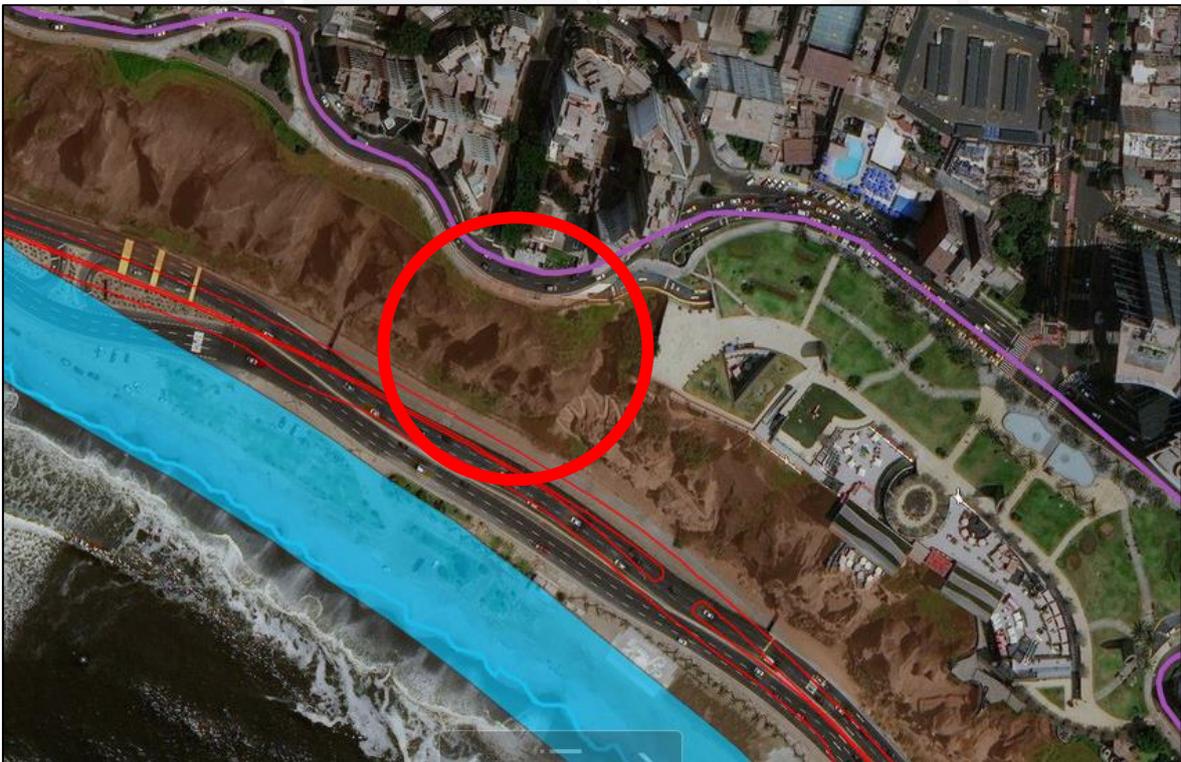


Figura 22: Malecón de la Reserva-Riesgo Muy Alto
Fuente: (Municipalidad Metropolitana de Lima)

3.2.2. Zonas vulnerables ante un tsunami

De acuerdo a la Dirección de Hidrografía y Navegación, toda la zona baja del acantilado de la Costa Verde sería inundada en caso de existir un tsunami posterior a un terremoto de más de 8 Mw. Ver el Mapa de Riesgos de Miraflores (Anexo 8). El tiempo estimado de arribo de la primera ola es de 20 minutos; en consecuencia, el tiempo de evacuación tiene que darse en un menor tiempo.

La respuesta de la Municipalidad de Miraflores, ante estos casos, es activar la alarma de tsunami en la zona costera, así los automóviles y peatones tendrán que evacuar por cualquiera de las tres bajadas o usar los puentes peatonales. En el momento de activarse la alarma, la Municipalidad también indica cerrar los carriles de ingreso a la Costa Verde, evitando que más automóviles ingresen a la zona baja.

Los posibles daños que puede generar un tsunami en la parte costera son la destrucción de las construcciones, el impacto y la fuerza con que las olas llegan removerán escombros, árboles y edificaciones cercanas al mar; de la misma forma, es posible que el tsunami socave los cimientos de las pistas. La Figura 23 muestra los puntos de evacuación en casos de tsunami. Se puede observar que coloca la Bajada San Martín como la Bajada Armendáriz para evacuación usando los automóviles; para la población flotante se observan dos puntos, que son los puentes peatonales: Isaac Rabin y Los Clubes.



Figura 23: Mapa de puntos de evacuación en caso de tsunami
Fuente: (Municipalidad de Miraflores, 2016)

Luego de un evento sísmico, el distrito presenta diversos puntos de reunión, estos puntos cumplen con las especificaciones de velar por la seguridad integral de la persona. En la Figura 24 se observa que ningún punto de reunión se encuentra en la Costa Verde, todos los puntos están ubicados en zonas llanas y parte alta del distrito. Estos puntos están conformados por espacios amplios y llanos como parques y plazas. En total, se encuentran 14 zonas seguras en el distrito.



Figura 24: Puntos de reunión después de un sismo
Fuente: (Municipalidad de Miraflores, 2016)

3.2.3. Edificios cercanos a la autopista

En la autopista, por el lado más cerca al mar, vale decir, los carriles en sentido de norte a sur, no presentan construcciones de una altura considerable para bloquear la autopista. Las construcciones realizadas en aquella zona son restaurantes y espacio para realizar el deporte de surf. Caso contrario sucede con el otro margen, el que se encuentra más cerca al acantilado o, es lo mismo decir, los carriles de sentido de sur a norte. Estos carriles son más propensos a estar bloqueados debido a la proximidad del acantilado. La Figura 25 muestra las ubicaciones de los edificios construidos en la zona alta y que pueden colapsar y bloquear la carretera de la Costa Verde.

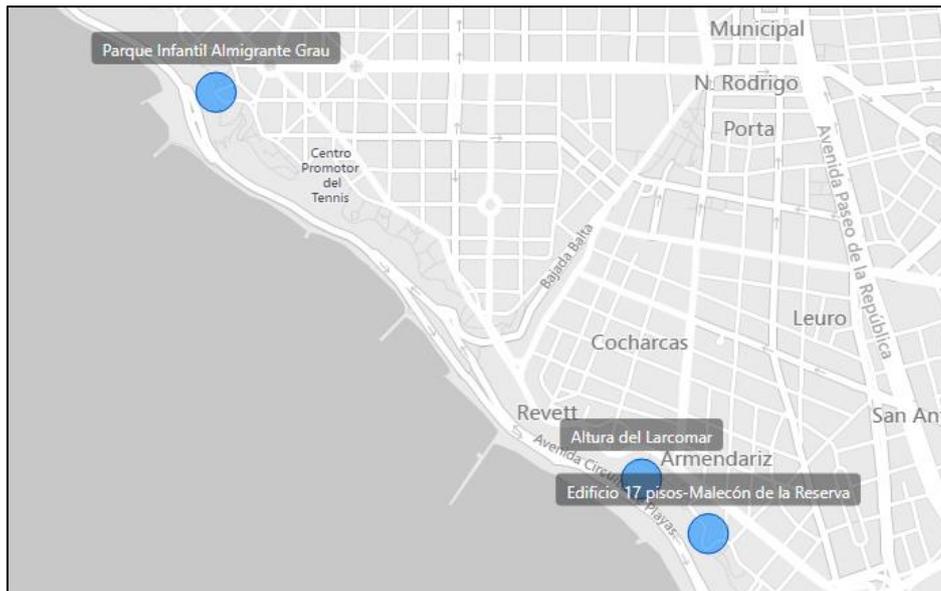


Figura 25: Edificios cercanos a la autopista
Elaboración propia

Las presencias de estos edificios construidos muy cerca al acantilado tienen mayor probabilidad de colapsar, esto no solo generará muertes en dichos edificios, también generará obstrucción de la carretera de la vía expresa, en consecuencia, afectará la evacuación de la zona baja. Ahora bien, en la parte del Larcomar se dispuso la construcción de un puente; sin embargo, este proyecto no fue culminado.

3.2.4. Puntos críticos

De acuerdo al Informe de Evaluación de peligros geofísicos en el distrito de Miraflores (IGP, 2019), se han identificado 77 puntos críticos en toda la zona del acantilado. La Tabla 7 ofrece un resumen de todos los puntos críticos en la zona.

Tabla 7: Puntos críticos hallados en la Costa Verde-Miraflores

Puntos críticos	Cantidad
Talud sin recubrimiento de geomalla	5
Geomalla deteriorada	10
Geomalla erosionada	2
Geomalla descosida	28
Rocas suspendidas en ladera	2
Caída de geomalla	1
Depósito de desprendimiento y caída de rocas	1
Muro de protección deteriorado	1
Cerco peligroso	1
Probable desplazamiento del suelo	23
Ausencia de cerco	1
Espigón	2

Fuente: (IGP, 2019)
Elaboración propia

En base a esta información, se ha delimitado en 14 zonas toda la Costa Verde del distrito de Miraflores. La Figura 26 y la Figura 27 muestran la zonificación realizada.



Figura 26: Zonificación 1 al 7
Fuente: (IGP, 2019)

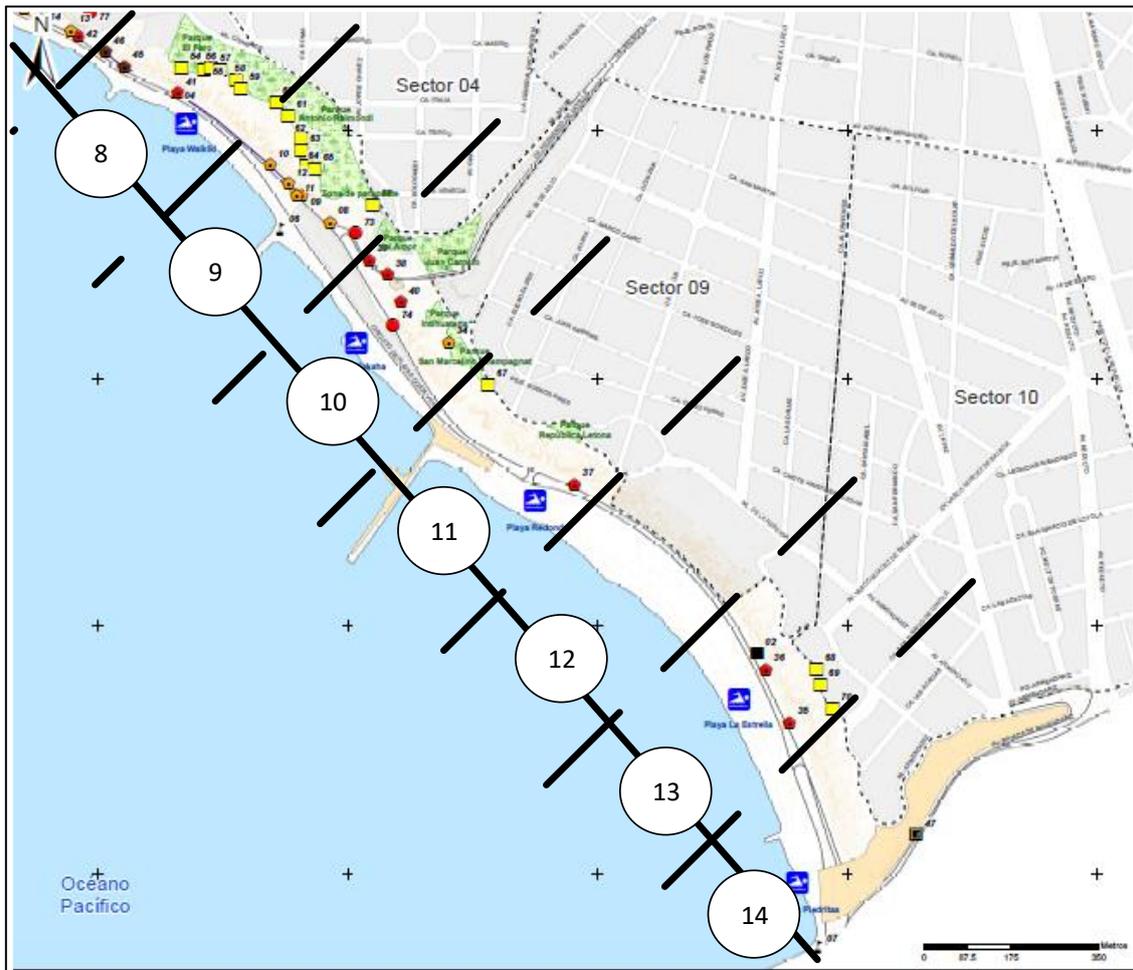


Figura 27: Zonificación 8 al 14
Fuente: (IGP, 2019)

A continuación, se realizará la técnica de factores ponderados para discriminar y seleccionar los puntos más críticos de la zona. Se definió los porcentajes en base a las conclusiones que realizó el Instituto Geofísico del Perú (2019).

La Tabla 8 muestra los factores relevantes con sus respectivos pesos.

Tabla 8: Factores Relevantes

Factores	Ponderación
Criticidad geográfica	30%
Cercanía de edificios	25%
Talud sin geomallas	20%
Ubicación y estado de puente	15%
Geomallas en mal estado	10%
Totales	100%

Elaboración propia

Criticidad geográfica: riesgos existentes en base a la geografía de la zona con mayor probabilidad de deslizamiento del suelo.

Cercanía de edificios: edificios con altura mayor a cinco pisos cercano al acantilado de la Costa Verde.

Talud sin geomallas: zonas donde no se localizaron geomallas.

Ubicación y estado de puente: estado de los puentes hábiles y no hábiles en la zona.

Geomallas en mal estado: zonas que presentan geomallas deterioradas, erosionadas y descocidas.

En base a estos factores, se presenta la siguiente valorización (Tabla 9) usando una escala común entre 0 y 10, siendo 10 el puntaje más crítico.

Tabla 9: Puntuación asignada por zona

	Criticidad geográfica	Cercanía de edificios	Talud sin geomallas	Ubicación y estado de puente	Geomallas en mal estado
	35%	20%	20%	15%	10%
Zona 1	3	3	3	0	4
Zona 2	3	0	0	7	6
Zona 3	7	0	0	0	6
Zona 4	6	0	10	8	3
Zona 5	3	0	10	0	2
Zona 6	3	10	0	5	6
Zona 7	8	0	10	0	8
Zona 8	10	0	0	5	7
Zona 9	10	3	10	0	10
Zona 10	6	4	10	0	9
Zona 11	10	0	0	0	3
Zona 12	0	9	0	0	0
Zona 13	10	0	9	0	6
Zona 14	7	9	0	0	0

Elaboración propia

Tabla 10: Ponderación asignada por zona

	Criticidad geográfica	Cercanía de edificios	Talud sin geomallas	Ubicación y estado de puente	Geomallas en mal estado	TOTAL
	35%	20%	20%	15%	10%	
Zona 1	1.05	0.6	0.6	0	0.4	2.65
Zona 2	1.05	0	0	1.05	0.6	2.70
Zona 3	2.45	0	0	0	0.6	3.05
Zona 4	2.1	0	2	1.2	0.3	5.60
Zona 5	1.05	0	2	0	0.2	3.25
Zona 6	1.05	2	0	0.75	0.6	4.40
Zona 7	2.8	0	2	0	0.8	5.60
Zona 8	3.5	0	0	0.75	0.7	4.95
Zona 9	3.5	0.6	2	0	1	7.10
Zona 10	2.1	0.8	2	0	0.9	5.80
Zona 11	3.5	0	0	0	0.3	3.80
Zona 12	0	1.8	0	0	0	1.80
Zona 13	3.5	0	1.8	0	0.6	5.90
Zona 14	2.45	1.8	0	0	0	4.25

Elaboración propia

En base a las ponderaciones, las siguientes zonas serán consideradas críticas con nivel de riesgo muy alto:

- Zona 9
- Zona 10
- Zona 13

3.3. Información Vial

En este sub-capítulo se discutirá acerca de la información vial; es decir, el estado en que se encuentran las autopistas de la Costa Verde: factor importante para la evacuación; de la misma forma los puentes: conexiones verticales entre la zona baja y la parte alta. Seguidamente, se presentará el comportamiento vial en el distrito de Miraflores, analizando la cantidad de viajes diariamente, tomando el distrito como punto de origen y como punto de destino.

3.3.1. Infraestructura vial

En este acápite se discutirá la infraestructura vial entendiéndose como el estado de la autopista en la Costa Verde y de los puentes existentes a nivel cualitativo. Esta información es relevante para la generación de escenarios, además, Jin señala a la infraestructura vial como un factor relevante en la adecuada Gestión de riesgos (2011).

En primer lugar, la clasificación de las vías en la Costa Verde que inicia en la Bajada San Martín y culmina en la Bajada Armendáriz es considerada una vía expresa. En base a ello, la Tabla 11 muestra el diagnóstico que realiza la Municipalidad de Miraflores con respecto a las vías expresas. Para el caso de la Costa Verde, el tipo de pavimento es de asfalto y el estado de conservación lo cataloga de “Bueno”.

Tabla 11: Estado de las Vías Expresas-Miraflores

Vías expresas	Tipo de pavimento	Estado de conservación del pavimento
Vía Costa Verde	Asfalto	Bueno
Av. Paseo de la República	Concreto	Bueno
Bajada Armendáriz	Asfalto	Bueno

Fuente: (Municipalidad de Miraflores, 2016 Tabla N°13)

Según Miguel Estrada, director del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), luego de realizar una inspección visual a los puentes peatonales, señaló que presentan unas estructuras débiles que podrían colapsar ante un sismo de gran magnitud. Actualmente el distrito cuenta con 4 puentes operativos; sin embargo, cerca de la Bajada de San Martín, se encuentra otro puente, este sin culminar y sin uso. (Andina, 2017)

3.3.2. Comportamiento de los viajes O/D

En este acápite, se analizará el comportamiento de los viajes origen-destino viendo al distrito de Miraflores como punto de origen y como punto de destino con respecto a los demás

distritos. Este punto será importante, pues se conocerá la tendencia de qué distritos realizan mayor viaje a Miraflores y viceversa.

En base a la matriz de viajes de los años 2004 y 2012, la Municipalidad generó un estudio para la identificación de viajes diariamente. En primer lugar, tomando como punto de origen el distrito de Miraflores hacia los demás distritos y, con una población de 5 597 viajes en hora pico, señala que el 12.37% realiza viajes dentro del mismo distrito. Mientras que Santiago de Surco y Callao representan el 11.73% y 10.50% de viajes respectivamente. La Figura 28 indica el porcentaje de viajes que realizó a cada distrito.

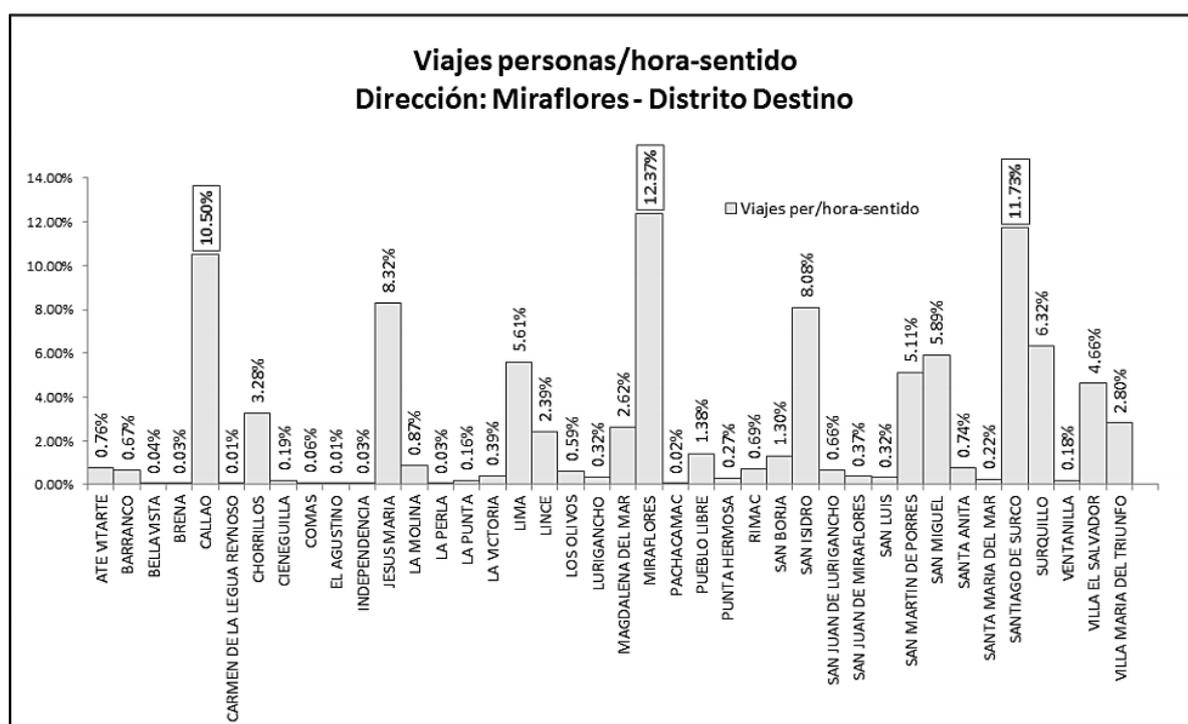


Figura 28: Viajes de Miraflores a otros distritos
Fuente: (AATE-Municipalidad de Miraflores, 2016. Imagen N° 101)

Por otro lado, si se considera a Miraflores como distrito destino y teniendo 1 936 viajes en hora pico, se identifica que Chorrillos tiene un 15.25% de viajes; Santiago de Surco y Surquillo son quienes le preceden con un 13.49% y 12.85% de viajes respectivamente. La Figura 29 indica el porcentaje de todos los viajes de todos los distritos a Miraflores.



Figura 29: Viajes de otros distritos a Miraflores
Fuente: (AATE-Municipalidad de Miraflores, 2016. Imagen N° 102)

En el 2015, la Municipalidad ordena un censo directivo y selectivo de tránsito dentro del distrito; para ello, se ubican 34 puntos para la toma del flujo vehicular. En la Figura 30 se puede presenciar los puntos conjuntamente con los flujos promedios vehiculares. Ver Anexo 9 para la ubicación exacta de los puntos.

Con el objetivo de tener una muestra representativa, programaron el conteo vehicular por 6 días en el mes de septiembre. Tomaron muestras por tres turnos, desde las 7:00 am hasta las 8:00pm. El conteo se realizó en intervalos de 15 minutos y por tipo de vehículos. Como se puede observar, el mayor flujo encontrado fue en el punto 33, con un flujo de 7 407 veh/hora. En el caso de la Bajada San Martín (punto 1), se identificó un flujo de 5 167 veh/hora.

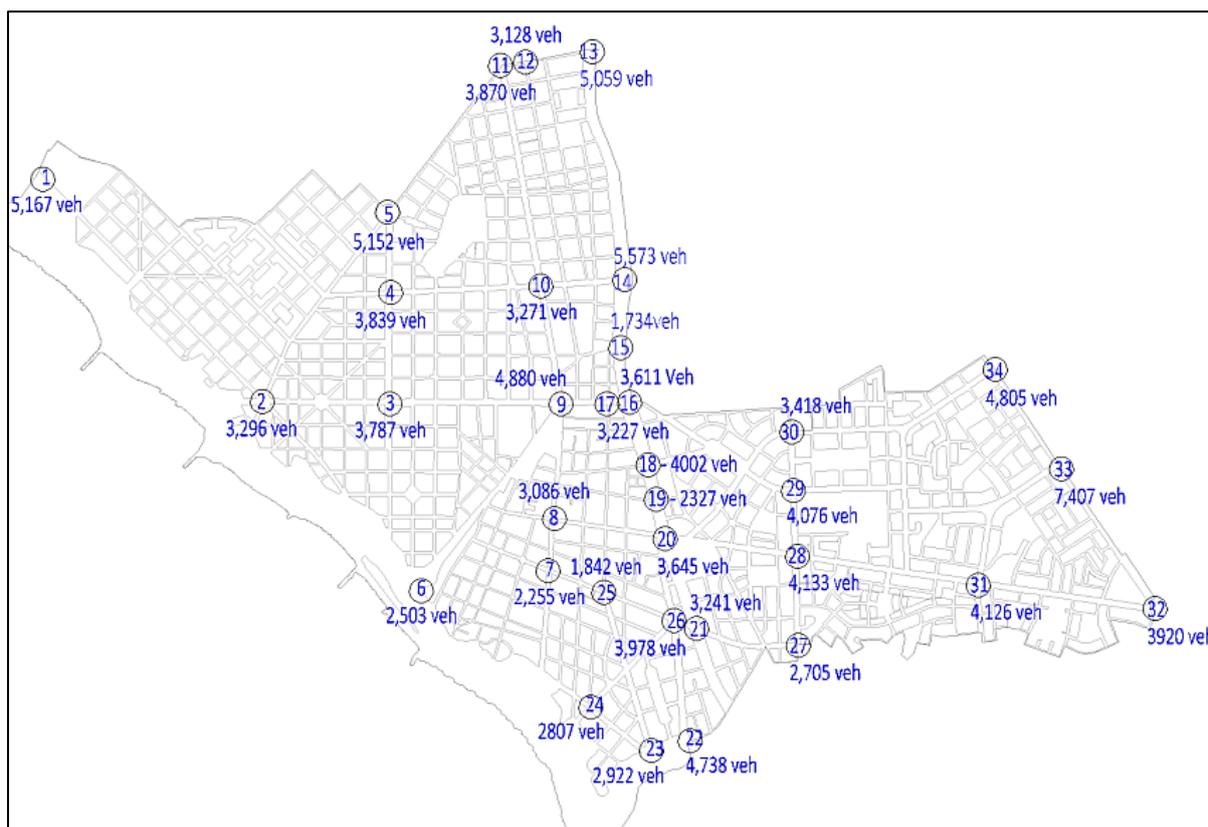


Figura 30: Flujo promedio vehicular por punto-Distrito Miraflores
Fuente: (Municipalidad de Miraflores, 2016. Imagen N°44)

3.4. Modelamiento de transporte

En este sub-capítulo se desarrollará el modelo de transporte vial desde la recolección de datos a través del trabajo de campo para luego realizar la interpretación de los datos y la creación del modelo. Finalmente, se describirá brevemente los escenarios a elegir.

3.4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo consta de los siguientes pasos, en primer lugar, se definirá los puntos y el horario para el levantamiento de información; En segundo lugar, se definirán las variables que necesite el modelo para luego proceder con el análisis de datos.

En el presente trabajo, se está analizando toda la Costa Verde del distrito de Miraflores, el terreno consta de 5 km de longitud aproximadamente. Cabe señalar que para la construcción de una matriz origen-destino, es necesario el conteo de vehículos por unidad de tiempo que entren o salgan del sistema, definiendo sistema como toda la Costa Verde de Miraflores; en consecuencia, la toma de información tiene que realizarse en simultáneo en todos los puntos. Ahora bien, la proporción de vehículos en un día cualquiera no cambia drásticamente, a menos que se vea afectado por factores externos. Verbigracia, cierre de calles aledañas ante eventos como los Juegos Panamericanos y Parapanamericanos 2019, cierre de vías por

mantenimiento o bloqueo de vías debido a marchas; por tal motivo, no se recomienda realizar el trabajo de campo en estas fechas inusuales.

3.4.2. Forma del levantamiento de información

Los puntos de levantamiento de información in situ deben ser estratégicos como lo comentan Leonard y Tough, quienes anotaron las placas de los automóviles. En este caso, debido a las limitaciones de la tesis, la capacidad humana de registrar el número de placa a los vehículos en la Costa Verde sería imposible. En estos casos, donde las velocidades de los autos superan los 80 km/hora, la mejor metodología será el conteo vehicular de acuerdo a su tipo. Para este caso se segmentó en tres grupos: autos particulares/minivan, motos/bicicletas y buses. La recolecta de información se obtendrá cuando cada persona ubicada estratégicamente en las entradas y salidas del sistema anote los vehículos contados. Véase el formato de conteo vehicular (Anexo 10). El intervalo de contar los vehículos será de 15 minutos. De la misma forma, se registrará el tiempo en cola de un vehículo en caso se forme colas, lo mismo con la cantidad estimada de vehículos en aquel carril.

Asimismo, se ha localizado tres cámaras de seguridad en la Costa Verde que serán de apoyo en la toma de datos. La primera cámara se encuentra en la Bajada San Martín, en la bifurcación de los automóviles que se dirigen hacia San Isidro y la Avenida del Ejército. La segunda cámara se encuentra en la zona alta de la Bajada Balta, en ella se puede apreciar la cantidad de personas que entran y salen del sistema. Por último, la tercera cámara está ubicada en la Playa La Estrella, siendo esta la más cercana a la Bajada Armendáriz. Esto quiere decir que el trabajo del modelo de transporte también se basa en una data histórica, específicamente en el conteo vehicular de los cuatro viernes del mes de septiembre de 6:30 am hasta las 9:30 am. Cabe señalar que en el mes de septiembre no se presentaron feriados y variables similares que afecten el comportamiento regular del tránsito vehicular en la Costa Verde.

3.4.3. Elección del horario del levantamiento de información

Como se mencionó en líneas anteriores, la fecha adecuada es elegida un día normal, sin feriados o alguna zona que altere el flujo vehicular regular. Para este trabajo de campo, se escogió viernes, debido a que mayor afluencia de vehículos existe por ser día laborable.

En la Figura 31, se puede apreciar el comportamiento de la demanda vehicular desde las 7:00am hasta las 8:00pm. Como se puede observar, la mayor cantidad de picos se genera de 8:30am hasta las 9:30am.

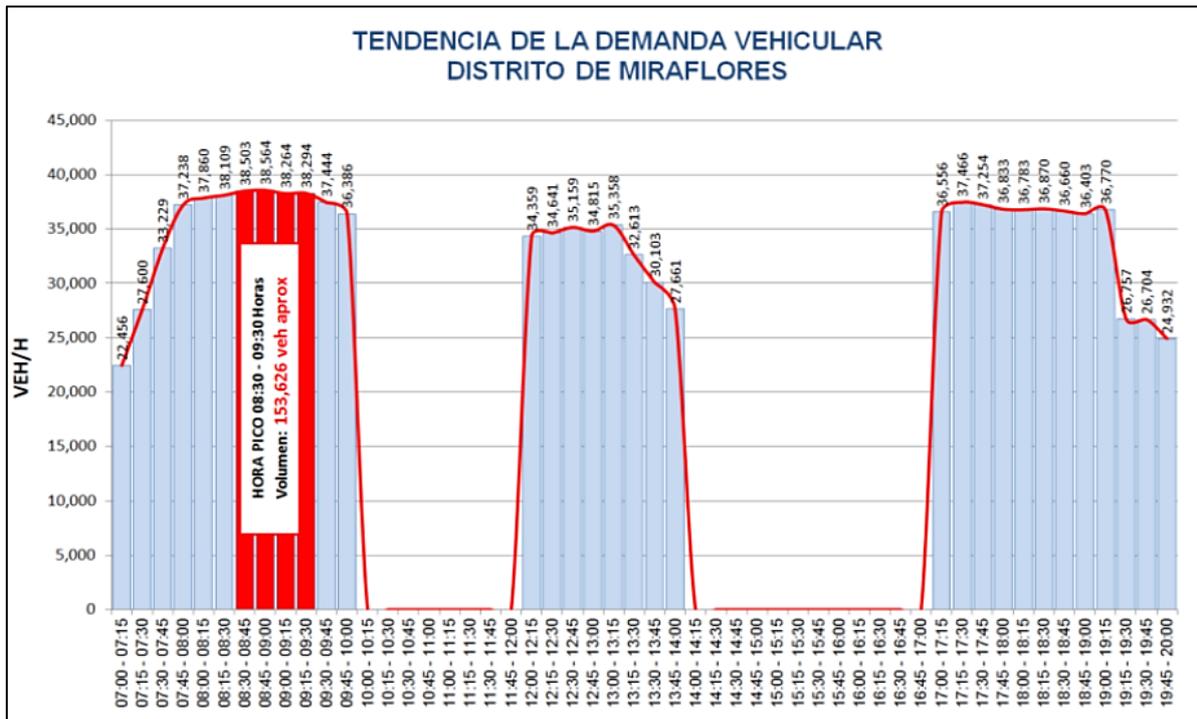


Figura 31: Tendencia del tráfico vehicular-Miraflores

Fuente: (Municipalidad de Miraflores-Equipo Consultor del PUD, 2016. Imagen N°49)

De la misma forma, en base al conteo realizado el 2015, señalaron que el turno AM; vale decir, de 7:00 am hasta las 12:00 am, representa un 71% del flujo vehicular total. La Figura 32 muestra en qué turno se generó mayor cantidad de viajes.

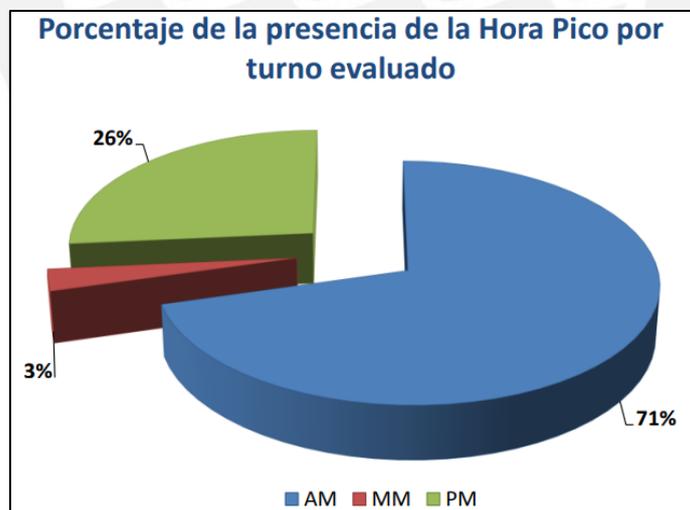


Figura 32: Proporción de mayor tráfico vehicular-Miraflores

Fuente: (Municipalidad de Miraflores, 2016. Imagen N°48)

En base a la información expuesta, se decide que el horario de levantamiento de información se dará desde las 7:45 am hasta las 9:15 am. El conteo se realizará por intervalos de 15 minutos y el día apropiado es viernes; puesto que en este día no está habilitado el sistema pico y placa, obteniendo mayor cantidad de demanda vehicular y; por tanto, mayor cantidad de personas movilizándose por la Costa Verde.

3.4.4. Puntos de conteo vehicular

Uno de los puntos más importantes para realizar un adecuado conteo vehicular es la ubicación estratégica en la Costa Verde. Frente a ello, con el apoyo del asesor de la tesis y la Municipalidad de Miraflores, se creó un grupo de trabajo de 9 personas, quienes previamente fueron capacitadas para realizar el conteo vehicular. El conteo que se hizo se determinó en intervalos de 15 minutos.

En primer lugar, en la Bajada San Martín, se situaron dos personas en los puntos Entrada San Isidro y Salida San Martín como se observa en la Figura 33. En el punto Entrada San Isidro se contaron todos los vehículos que ingresen al sistema. En el punto Salida San Martín, todos los vehículos que salen del sistema y se dirigen a la Avenida del Ejército. Debido a la existencia de limitaciones en el trabajo de campo, el conteo se realizó a través de un registro visual y cada persona llevó una hoja de control.

A continuación, se establecen los puntos de conteo vehicular en la Bajada San Martín.



Figura 33: Puntos de Conteo-Bajada San Martín
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la geometría de la Bajada Balta es más simple como se observa en la Figura 34, en esta Bajada se localizó dos puntos de conteo: punto Entrada Balta y Salida Balta. El punto Entrada Balta registrará la cantidad de vehículos que ingresan al sistema, mientras que en Salida Balta los vehículos que se dirigen al parque Kennedy. Cerca al punto Salida San Martín, también se realizó el conteo de los vehículos que siguieron la ruta con dirección a San Isidro.



Figura 34: Puntos de Conteo-Bajada Balta

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se encuentra la Bajada Armendariz, esta intersección es la más compleja tanto a nivel de su geometría como el registro del conteo vehicular. En total se necesitó 4 puntos de conteo vehicular. En la Figura 35, se observa el punto Salida Armendariz, donde se registró la cantidad de todos los vehículos que salían por el viaducto hacia el centro de Miraflores. En el punto Salida Barranco, se realizó el conteo de los vehículos que salieron del sistema con ruta hacia el distrito de Barranco. En el punto Entrada Barranco, se registró la cantidad de autos que ingresaron de Barranco. En el punto Entrada Armendariz se registraron los vehículos que ingresan al sistema desde la Bajada Armendariz.

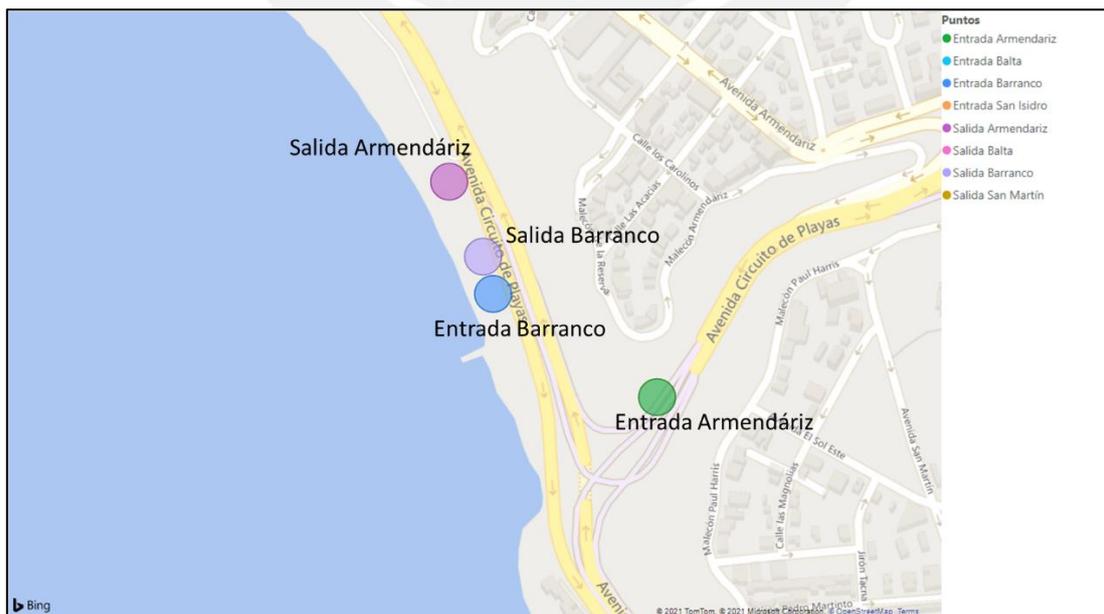


Figura 35: Puntos de Conteo-Bajada Armendariz

Fuente: Elaboración propia

En resumen, se localizó 9 puntos estratégicos para el registro de la cantidad de vehículos que ingresaban y salieron del sistema en la Costa Verde de Miraflores. El conteo tomó un intervalo de 15 minutos.

El modelo referencial para la toma de datos es la siguiente:

Tabla 12: Modelo Referencial para recolección de datos

Intervalo de tiempo	Autos	Motos	Bus
6:30-6:45am			
6:45-7:00am			
7:15-7:30am			
7:30-7:45am			
7:45-8:00am			
8:00-8:15am			
8:15-8:30am			
8:30-8:45am			
8:45-9:00am			
9:00-9:15am			
9:15-9:30am			

Elaboración propia

3.4.5. Procesamiento del conteo vehicular

En esta sección se presentarán los datos obtenidos del trabajo de campo. El trabajo de campo se realizó el día 08 de noviembre desde las 7:45 am hasta las 9:15 am.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la Bajada San Martín. Los demás resultados se encuentran en el Anexo 11.

Tabla 13: Conteo vehicular Bajada San Martín

Hora	Entrada San Isidro			Salida San Isidro			Salida San Martín		
	Auto	Moto	Bus	Auto	Moto	Bus	Auto	Moto	Bus
7:45-8:00	1 560	60	13	527	15	9	788	31	2
8:00-8:15	1 578	54	13	395	11	10	413	17	0
8:15-8:30	1 465	57	8	398	19	12	716	28	2
8:30-8:45	1 800	68	16	418	11	29	468	25	0
8:45-9:00	1 358	64	13	323	17	25	557	32	0
9:00-9:15	1 670	54	12	591	24	52	392	15	0
TOTAL	9 431	357	75	2 652	97	137	3 334	148	4
PROMEDIO	1 572	60	13	442	16	23	556	25	1

Elaboración propia

Como se puede observar, la mayor cantidad de vehículos fueron los que ingresaron por San Isidro en dirección a Miraflores. En promedio, ingresan 1 572 vehículos cada 15 minutos. En el caso de las salidas, se observó que la mayor cantidad de vehículos salieron en dirección a la Avenida Ejército.

La siguiente Figura 36 muestra el comportamiento de cada punto en la Bajada San Martín.

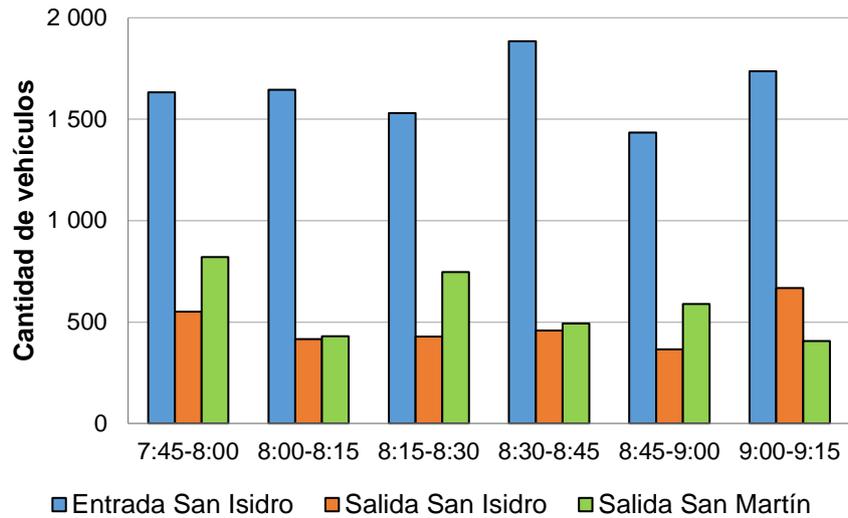


Figura 36: Conteo Bajada San Martín
Elaboración propia

De acuerdo a la gráfica, se registró la mayor cantidad de ingresos de San Isidro a Miraflores comparada a las salidas.

Por otro lado, en la Figura 37 se puede observar el comportamiento en la Bajada Balta.

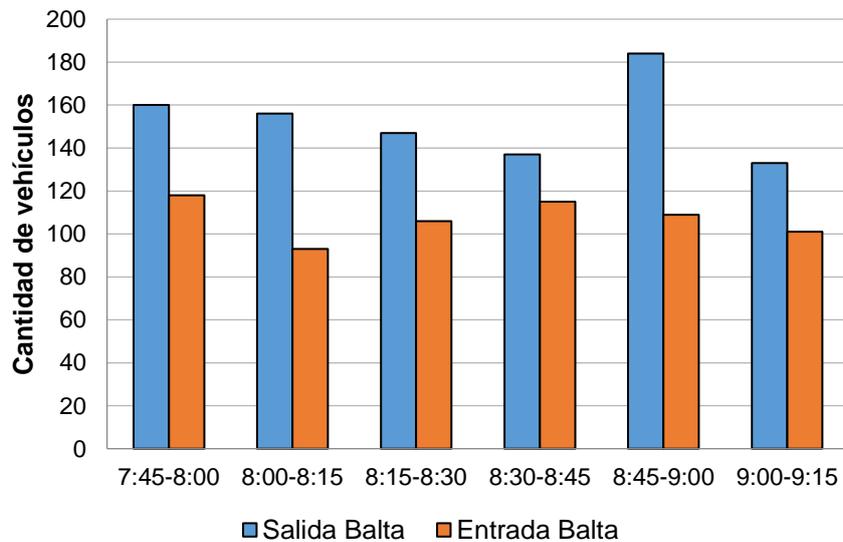


Figura 37: Conteo Bajada Balta
Elaboración propia

En este caso, se observa un comportamiento más estable que en la Bajada San Martín. Esta uniformidad se debe a que existe un semáforo en la intersección que controla el tráfico vehicular.

A continuación, se presenta el comportamiento observado de los vehículos que se dirigen a la Bajada San Martín, estos vehículos provienen de la Bajada Armendáriz.

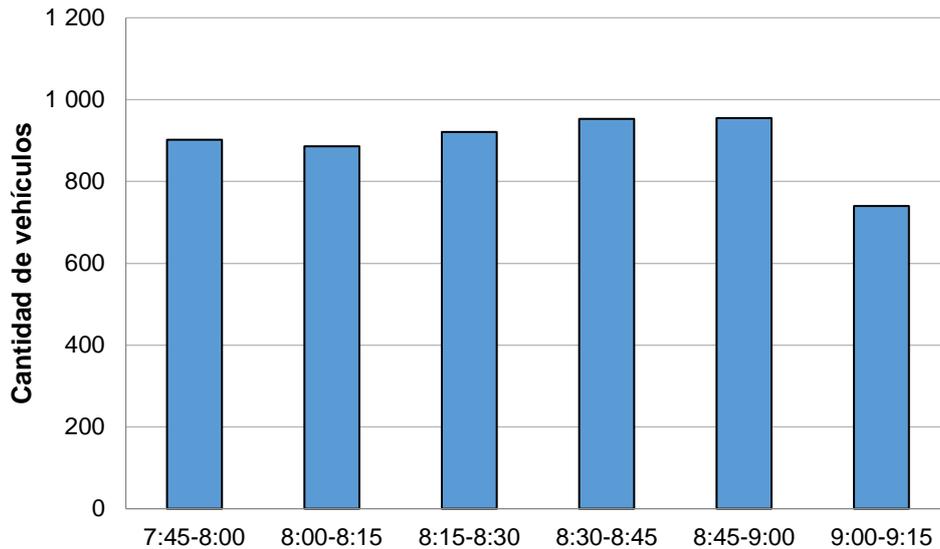


Figura 38: Conteo Puente Clubes
Elaboración propia

De acuerdo a la Figura 38, se observa que en promedio transitan 893 vehículos cada 15 minutos. Asimismo, hay una disminución de 9:00 am a 9:15 am, pues las horas laborales empiezan hasta antes de las 9:00am.

Finalmente, la Figura 39 muestra el comportamiento en la Bajada Armendáriz.

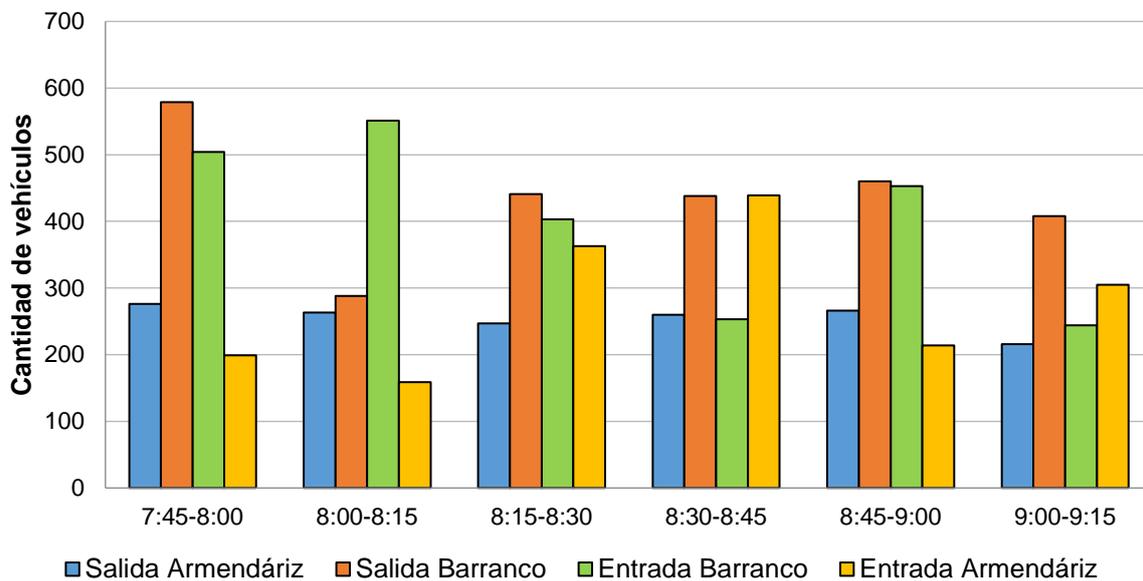


Figura 39: Conteo Bajada Armendáriz
Elaboración propia

Como se puede observar, no hay mucha variación con respecto a los vehículos que salen del sistema por la Bajada Armendáriz, en promedio, salieron 234 vehículos cada 15 minutos. Por otro lado, se observó mayor cantidad de vehículos que salieron del sistema con dirección al

distrito de Barranco. En promedio salieron 421 vehículos cada 15 minutos. En el caso de los vehículos que ingresan por Barranco, en promedio ingresaron 371 vehículos en 15 minutos. Por último, los vehículos que ingresaron al sistema por la Bajada Armendáriz, en promedio fue de 270 vehículos cada 15 minutos.

3.4.6. Longitud de cola y tiempo en cola

En este acápite se hablará sobre la longitud de cola, siendo esta un estimado aproximado en base a los puntos donde se generaron mayor cantidad de cola. En el caso de los tiempos de cola, se tomaron en base a la observación realizada por el operario y las cámaras de seguridad.

La longitud de cola se determinó tomando como punto de referencia hasta donde se registraba la cantidad de vehículos en espera. En la Bajada San Martín se notó una mayor congestión con respecto a las demás Bajadas. Esta generación de esperas y colas se debe principalmente a que hay mayor tránsito de vehículos por la Avenida del Ejército y no exista la presencia de un semáforo. El día que se realizó el muestreo se observó un agente de tránsito que regulaba el pase de los vehículos. Asimismo, debido a su localización, existe una conexión de los autos que ingresan por San Isidro y la Bajada San Martín. Tal como se observa en la Figura 40, existe una U donde los vehículos se pueden desplazar hacia la salida de la Costa Verde.



Figura 40: Cola Bajada San Martín
Elaboración propia

De acuerdo a la figura, se observó que la cola abarcaba 190 metros de longitud, esto en términos de autos particulares con un largo de 4.25 metros a una distancia de 1 metro entre vehículos y considerando el número de carriles por tramo, se puede estimar una cola de 110 automóviles.

Por otro lado, en la Bajada Balta se observó una cola para la salida de vehículos. La Figura 41 muestra hasta dónde aproximadamente se observó la cola.

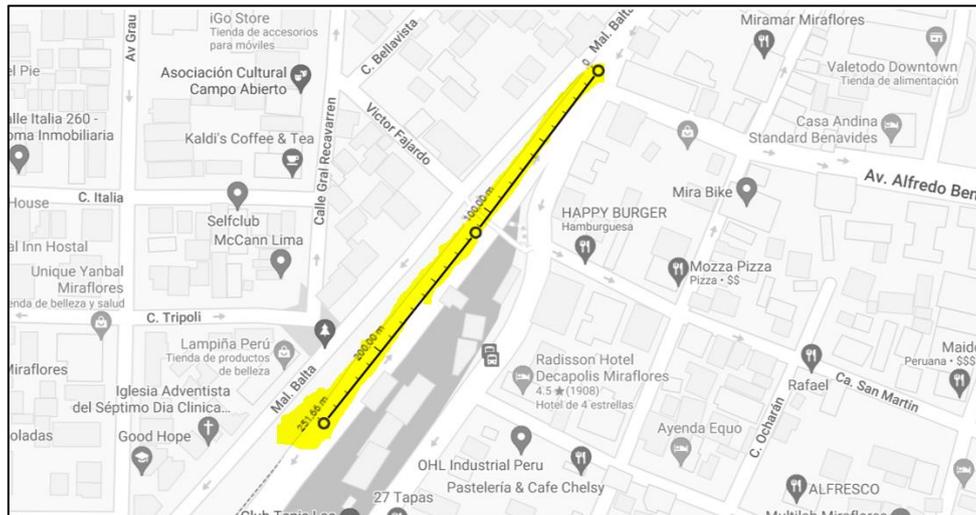


Figura 41: Cola Bajada Balta
Elaboración propia

Estimado de la misma forma que se estimó en la Bajada San Martín, se observó una cola de 210 metros de longitud en promedio. Traduciendo la información en términos vehiculares nos da una longitud de 40 vehículos.

En este caso, se genera una cola por la presencia de un semáforo en la intersección de la Bajada Balta y el Malecón 28 de julio, además de que existe solo un carril. A continuación, se presenta su fase de tiempo en la Figura 42.

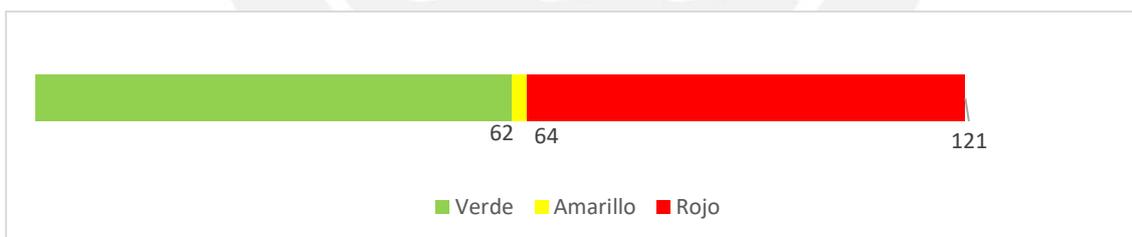


Figura 42: Fase de Tiempo (seg) de la Bajada Balta y Malecón 28 de julio
Elaboración propia

Como se puede observar, hay 62 segundos donde el semáforo indica luz verde, 2 segundos cuando indica luz amarilla y 57 segundos cuando indica luz roja.

Finalmente, en la Bajada Armendáriz, se observó una ligera cola en la salida de Armendáriz. Se debe principalmente que se conecta con los autos que ingresaron por Barranco. Asimismo, la Bajada Armendáriz se conecta con el tráfico que se genera en Paseo de la República. Por otro lado, no se observó la presencia de un semáforo tanto para las salidas como los ingresos de los vehículos.

3.4.7. Flujograma vehicular

En este acápite se presenta el flujograma de todas las entradas y salidas de la Costa Verde realizadas en el trabajo de campo. El flujograma es una herramienta visual donde se coloca la distribución del flujo vehicular.

En el acápite anterior se determinó que las colas formadas en la Bajada San Martín se debían a la intersección con la Avenida del Ejército, calle muy transitada en hora pico. En la Figura 43, se muestra el flujograma de dicha intersección, este conteo se realizó también en hora punta, de 7:45 a 8:45 am.

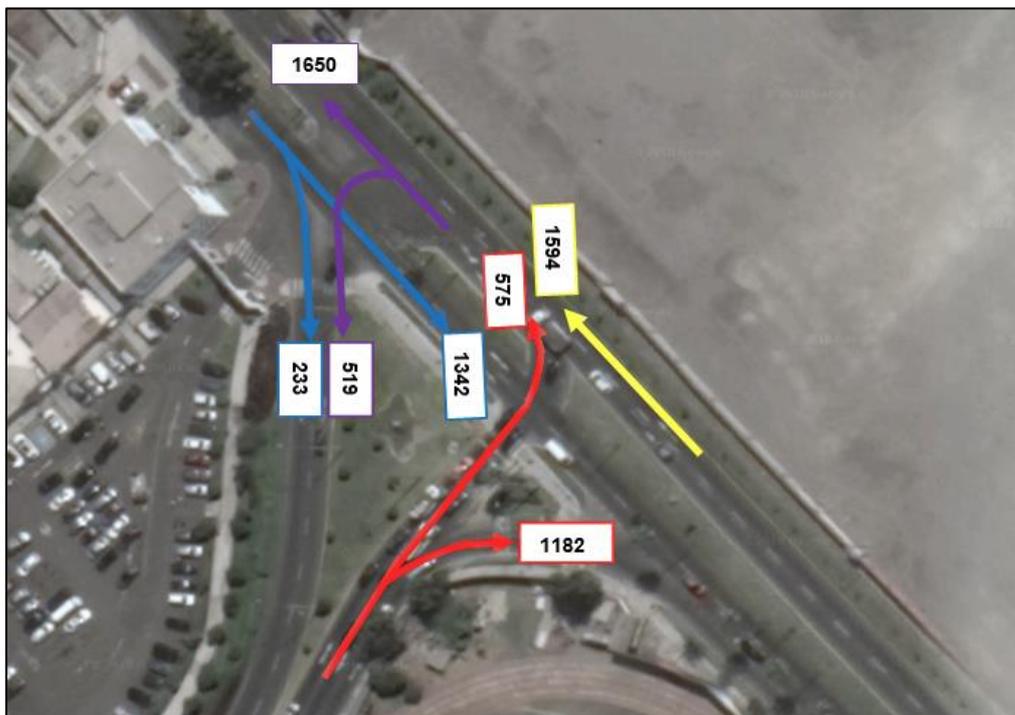


Figura 43: Flujograma en la intersección de Bajada San Martín y Avenida del Ejército
Fuente: Municipalidad de Miraflores

Como se puede observar, en dicha investigación se determinó un total de 1 757 vehículos por hora que salieron del sistema, 575 se dirigieron hacia la parte norte, mientras que 1 182 se dirigieron hacia la parte sur. Cabe señalar que tanto este flujograma como los siguientes considera el término vehículos a autos particulares, minivans, buses, camiones de carga y motos.

La siguiente Figura 44 muestra el flujograma consolidado de la Bajada San Martín (número de vehículos/15 minutos).



Figura 44: Flujograma Bajada San Martín
Elaboración propia

Como se observa, hay una mayor disposición a que las personas suban por la Bajada San Martín a que siga yendo a San Isidro. Este comportamiento puede ser explicado por ser hora punta; es decir, todas las personas están movilizándose para llegar a sus centros de trabajo y/o escuelas.

La siguiente Figura 45 muestra el flujograma realizado en la Bajada Balta, cabe señalar que en este punto no se realizó el conteo en la autopista con dirección de norte a sur, puesto que esos vehículos siguen en el sistema.



Figura 45: Flujograma Bajada Balta
Elaboración propia

Como se observa en la figura, exista mayor salida de vehículos que ingresos. Antes de llegar a la Bajada Balta, también se hizo el conteo de los vehículos provenientes de la Bajada Armendáriz.

En el caso de Armendáriz, este presenta una geometría más compleja, lo cual requirió mayor detalle en su estudio. A continuación, la Figura 46 presenta el flujograma de la Bajada Armendáriz.



Figura 46: Flujograma Bajada Armendáriz
Elaboración propia

Como se puede observar, en la Bajada Armendáriz hay dos puntos de salida y dos puntos de entrada; por un lado, se obtiene un total de 691 vehículos cada 15 minutos que salen del sistema; por otro lado, hay 681 vehículos que ingresan al sistema cada 15 minutos. Analizando ambas informaciones, la diferencia es mínima. Si bien existen otros carriles en esta Bajada, estos carriles entran y salen del sistema de inmediato; por ello no son tomados en cuenta.

3.4.8. Matriz origen-destino

En este acápite se presenta la matriz origen-destino obtenida del trabajo de campo.

Tabla 14: Matriz Origen-Destino

Origen\Destino	Salida San Isidro	Salida San Martín	Salida Balta	Salida Armendariz	Salida Barranco	Total
Entrada San Isidro	0.00	0.45	0.00	0.15	0.40	1.00
Entrada Balta	0.65	0.35	0.00	0.00	0.00	1.00
Entrada Armendariz	0.45	0.40	0.15	0.00	0.00	1.00
Entrada Barranco	0.25	0.40	0.35	0.00	0.00	1.00

Elaboración propia

Como se puede observar, tanto el origen como destino está dividido en proporciones debido a su comportamiento.

3.4.9. Definición de la población

Para la definición de la población, se tomó como referencia el estudio desarrollado por la Municipalidad, que realizó conteos vehiculares por 6 días en distintos puntos del distrito. En el caso de la intersección de la Bajada San Martín, realizó un conteo de 5 167 veh/hora.

3.4.10. Determinación del tamaño de muestra

De acuerdo a que la población es menor a 100 000 vehículos. Se tomará la siguiente fórmula de muestreo.

$$n = \frac{Z^2 pqN}{e^2(N - 1) + Z^2 pq}$$

Se tomará un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 4%. En la zona costera, la Municipalidad realizó el conteo de 14 352 vehículos en 1 hora; por tanto, se escogerá un $p=0,36$, que es la proporción que representó el conteo de los vehículos que pasaron por la Bajada San Martín.

Con estos valores, el tamaño de la muestra será de 533 vehículos. Como se discutió en párrafos anteriores, para el trabajo de campo se decidió hacer el conteo por más de 1 hora y media, obteniendo una muestra mayor a la señalada. A continuación, la función de probabilidad de las variables de entrada para la simulación.

- Ingreso de vehículos por San Isidro

Según el reporte del input Analyzer, el test de Kolmogorov-Smirnov indica un $p\text{-value} > 0.15$, entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Distribution Summary	
Distribution:	Weibull
Expression:	WEIB(0.00957, 12.4)
Square Error:	0.008244
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.209
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 0.008
Max Data Value	= 0.0105
Sample Mean	= 0.0092
Sample Std Dev	= 0.000879

- Ingreso de vehículos por Bajada Balta

Según el reporte del input Analyzer, el test de Kolmogorov-Smirnov indica un p-value>0.15, entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Distribution Summary	
Distribution:	Gamma
Expression:	0.12 + GAMM(0.00653, 3.23)
Square Error:	0.036095
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.161
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 0.127
Max Data Value	= 0.161
Sample Mean	= 0.141
Sample Std Dev	= 0.0125

- Ingreso de vehículos por Bajada Armendariz

Según el reporte del input Analyzer, el test de Kolmogorov-Smirnov indica un p-value>0.15, entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	0.02 + 0.09 * BETA(1.27, 1.53)
Square Error:	0.017504
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.15
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 0.0342
Max Data Value	= 0.0943
Sample Mean	= 0.0608

- Ingreso de vehículos por Barranco

Según el reporte del input Analyzer, el test de Kolmogorov-Smirnov indica un p-value>0.15, entonces no se rechaza la hipótesis nula.

Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	$0.02 + 0.05 * \text{BETA}(0.711, 0.955)$
Square Error:	0.048347
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.271
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 0.0272
Max Data Value	= 0.0615
Sample Mean	= 0.0413

A continuación, se presenta el resumen de las variables de entrada:

Variable	Expresión
Tiempo entre llegada por San Isidro	WEIB(0.00957, 12.4)
Tiempo entre llegada por Bajada Balta	$0.12 + \text{GAMM}(0.00653, 3.23)$
Tiempo entre llegada por Bajada Armendáriz	$0.02 + 0.09 * \text{BETA}(1.27, 1.53)$
Tiempo entre llegada por Barranco	$0.02 + 0.05 * \text{BETA}(0.711, 0.955)$

3.4.11. Variables de estado

En la Tabla 15, se observa las variables de estado del sistema.

Tabla 15: Variables de estado

ID	DESCRIPCIÓN
1	Tiempo en cola Salida San Martín
2	Tiempo en cola Salida Balta
3	Tiempo en cola Salida Armendáriz
4	Tiempo en el sistema
5	Tamaño de cola Salida San Martín
6	Tamaño de cola Salida Balta
7	Tamaño de cola Salida Armendáriz

3.4.12. Presunciones

Los supuestos considerados en el modelo:

- No se considera retroceso de los vehículos a su mismo origen.
- Se toma un tiempo promedio entre las estaciones.

- No se considera cambios en el tiempo que una luz roja cambie a luz verde en la semaforización.
- Se considera que el ciclo del semáforo en la Bajada Balta es constante.
- Se considera un ciclo constante para la Bajada San Martín y la Bajada Armendáriz en base al tráfico observado en el muestreo.
- No se considera choques en el sistema previo a una evacuación.



3.4.13. Modelo

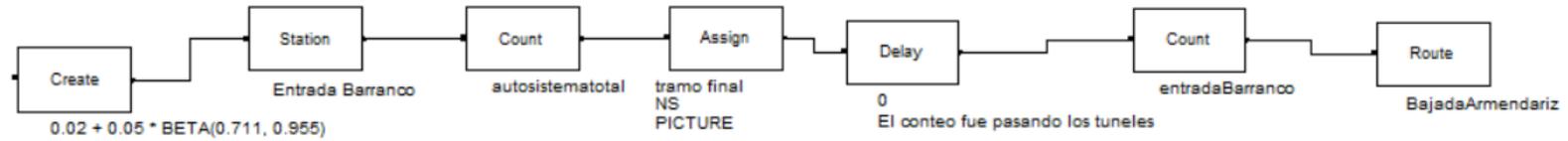
A continuación, Figura 47 presenta el modelo del flujo vehicular de la Costa Verde-Miraflores.



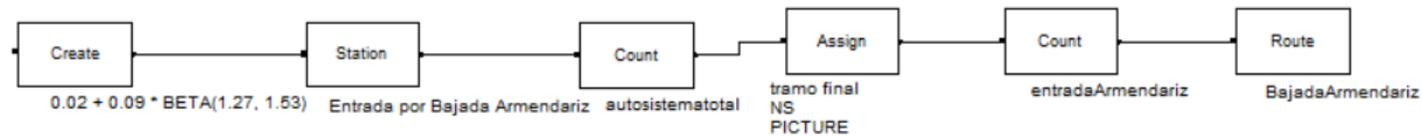
ENTRADAS AL SISTEMA



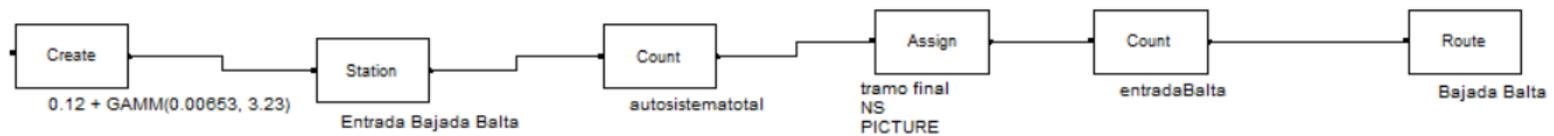
DIRECCIÓN 1 VEH ENTRANDO DE BARRANCO



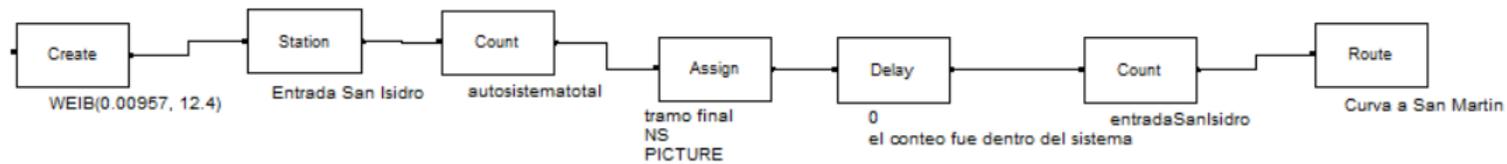
DIRECCIÓN 1 VEH ENTRANDO DE BAJADA ARMENDARIZ



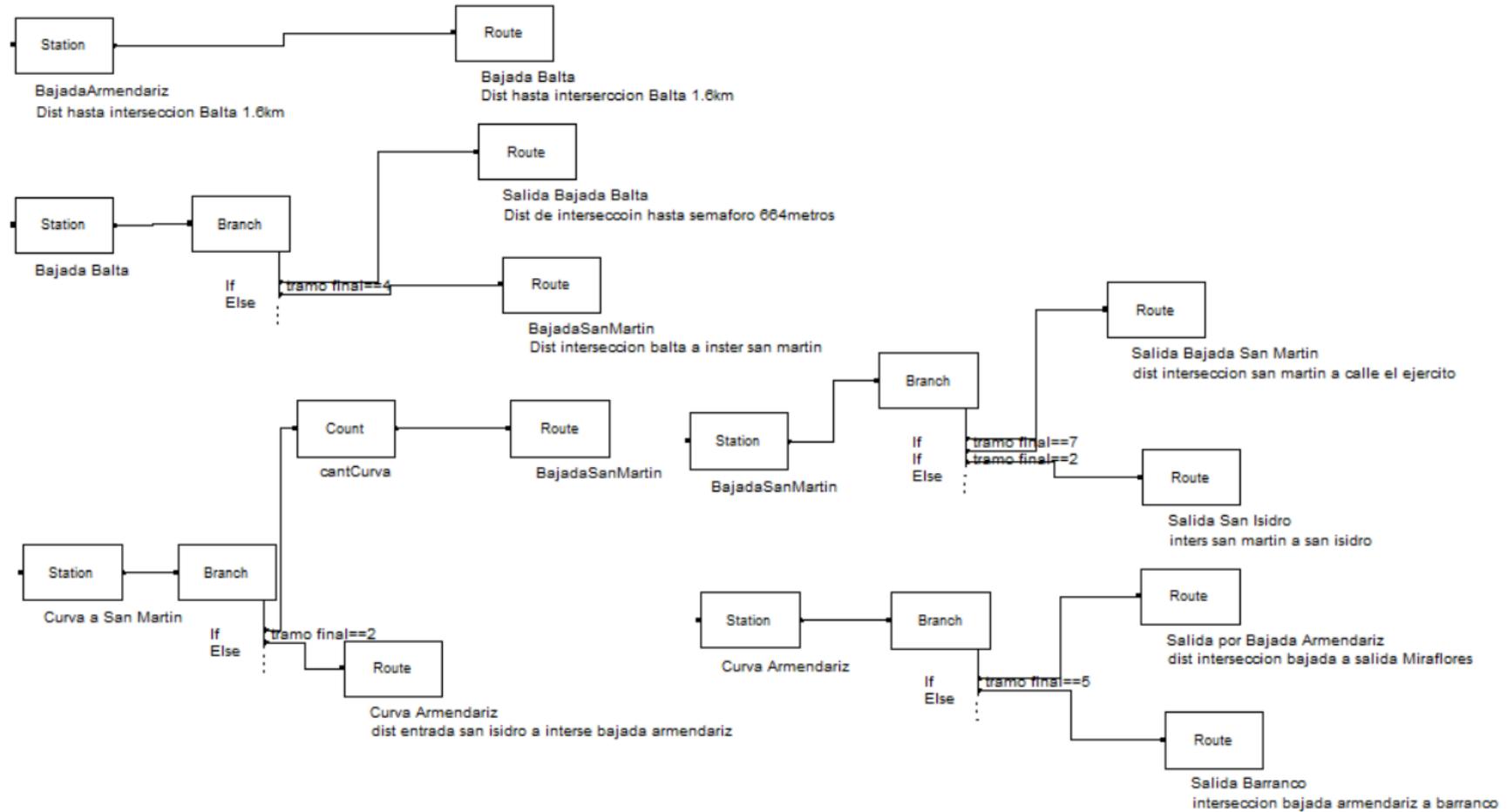
DIRECCIÓN 1 VEH ENTRANDO DE BAJADA BALTA



DIRECCIÓN 2 VEH ENTRANDO DE SAN ISIDRO



DESPLAZAMIENTO



SALIDAS DEL SISTEMA

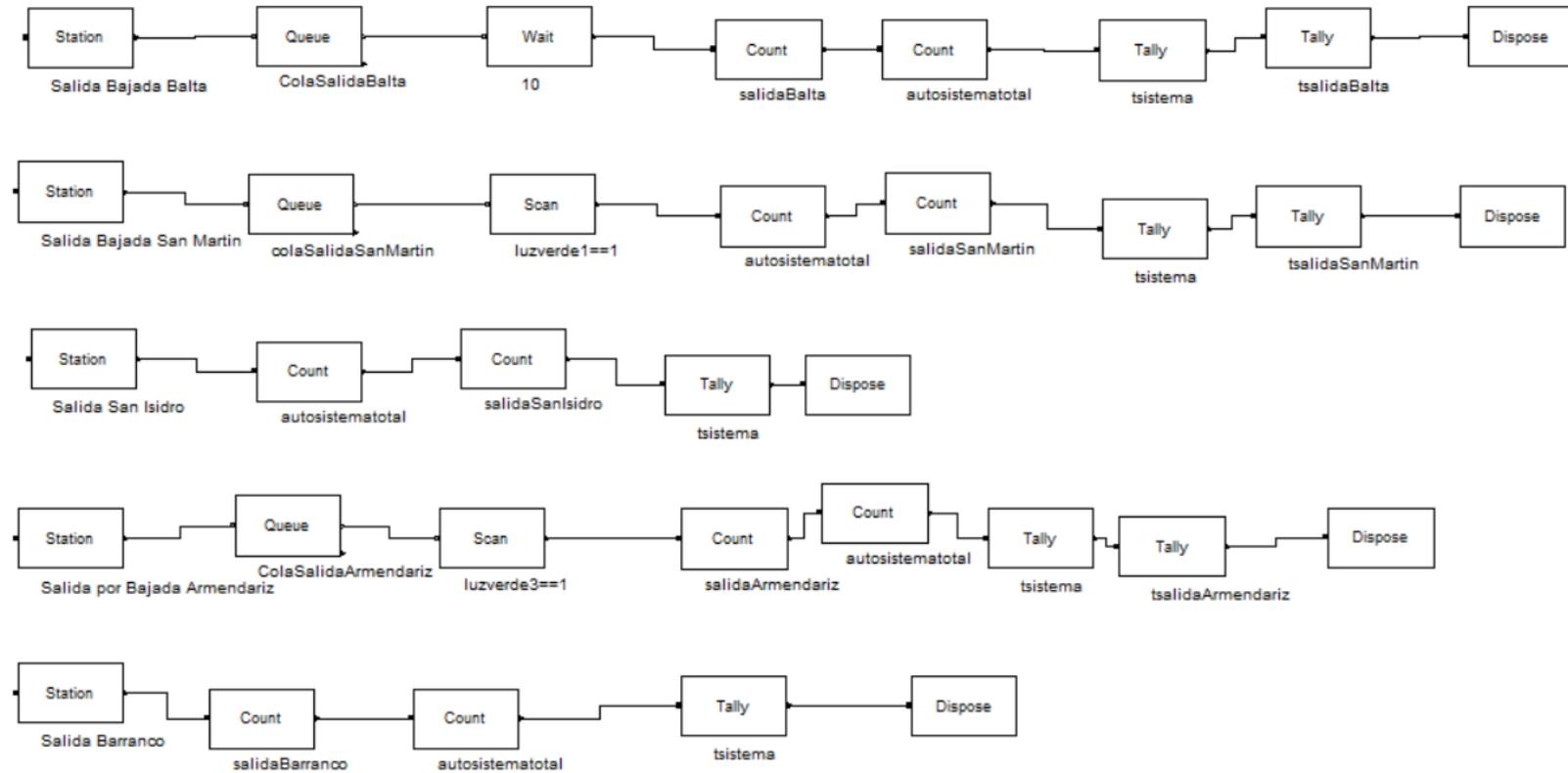


Figura 47: Modelo de simulación en Arena
Elaboración propia

3.4.14. Animación

En la siguiente Figura 48, se presenta la animación del modelo. Se encuentran 4 estaciones de entrada y 5 estaciones de salida. Se muestra también las variables de semaforización en las tres bajadas. En el caso de las salidas por la Bajada San Martín, se observó que hay un policía de tránsito que regula la esquina entre la Bajada y la avenida del Ejército. En el caso de Armendáriz, se ha colocado una restricción de flujo vehicular debido al tráfico que se genera desde la Bajada Armendáriz hasta llegar a la calle Paseo de la República.

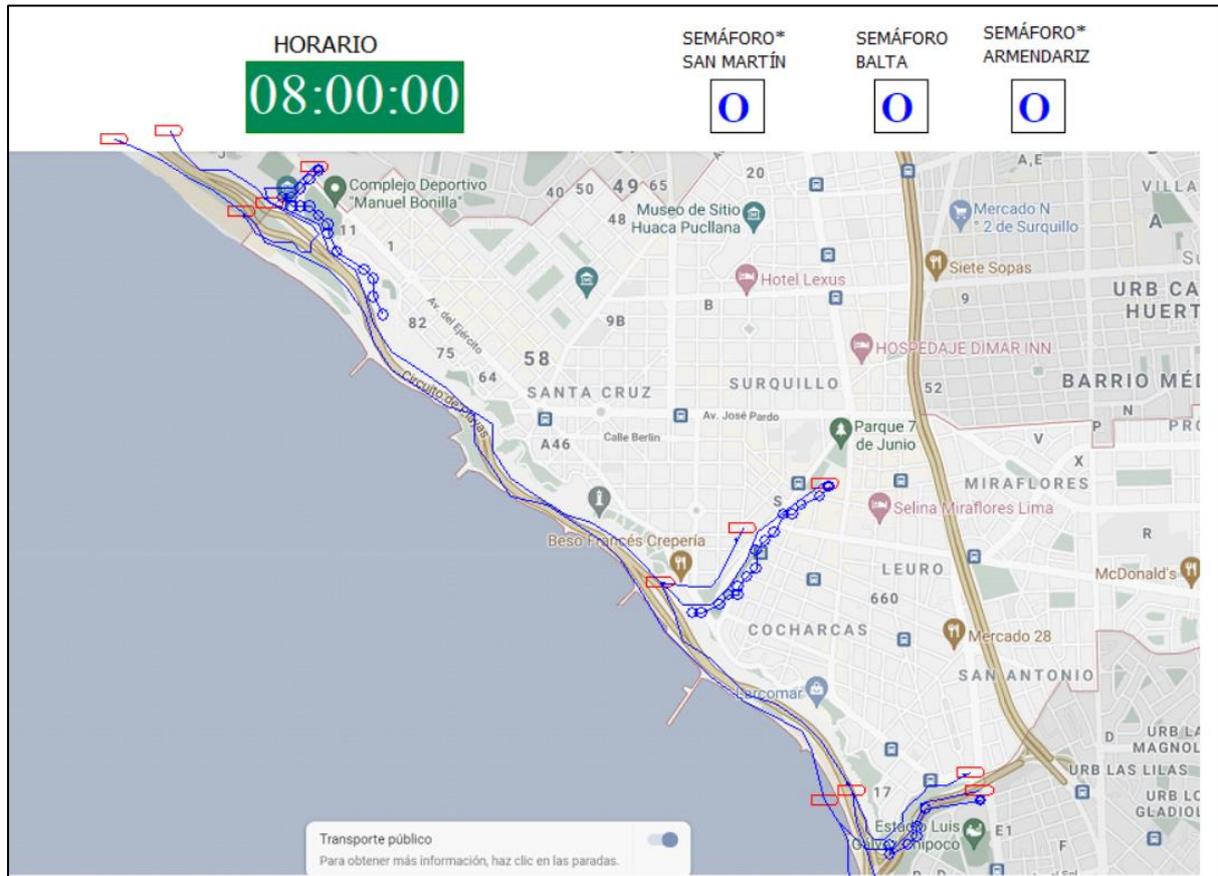


Figura 48: Animación Flujo Vehicular Costa Verde-Miraflores
Elaboración propia

3.4.15. Análisis del modelo

- Variables de salida:

El modelo desarrollado presenta un sistema no terminal; debido a que presenta condiciones finales específicas. Es por ello que, se realizará el análisis al comportamiento estacionario del sistema.

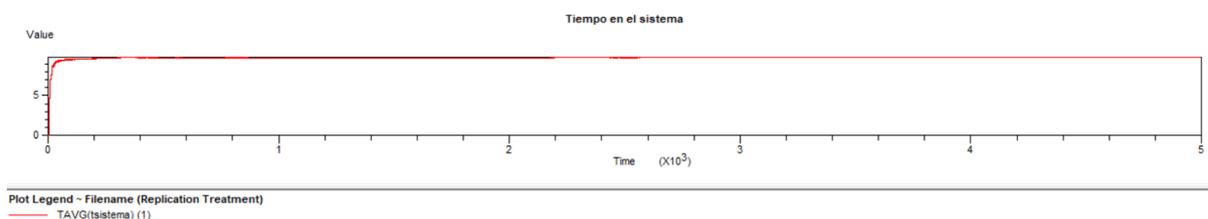
Se generaron los siguientes archivos de salida con el Element DSTATS.

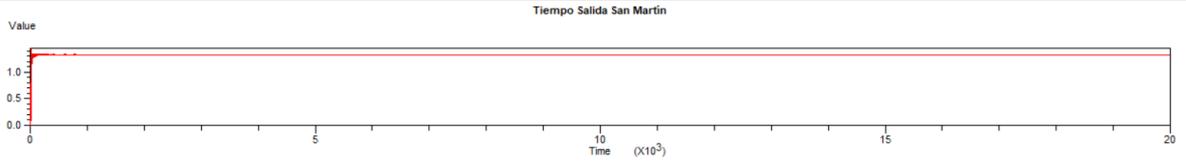


Figura 49: Element DStats
Elaboración propia

- Tiempo de truncamiento:

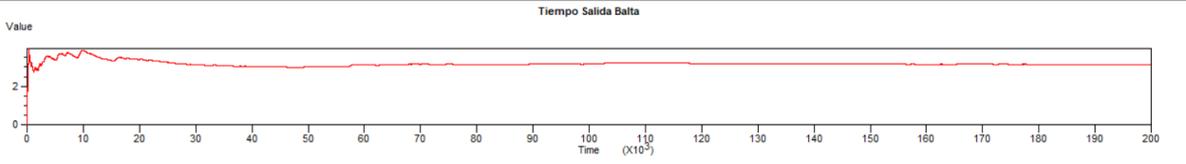
Para determinar el tiempo total de simulación, se tomó un tiempo inicial de 200 000 minutos. La Figura 50 muestra la variación de los valores de salida a través del tiempo mencionado, esto servirá para identificar el momento cuando la variable de salida comienza a estabilizarse.





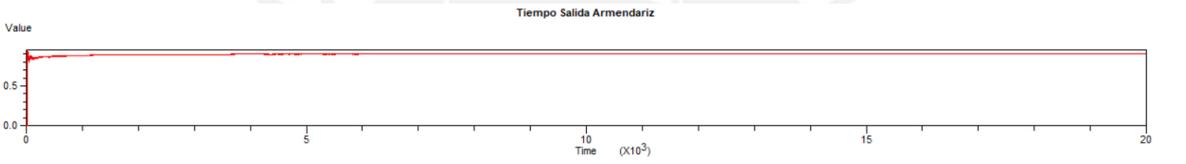
Plot Legend - Filename (Replication Treatment)

TAVG(tsaldaSanMartin) (1)



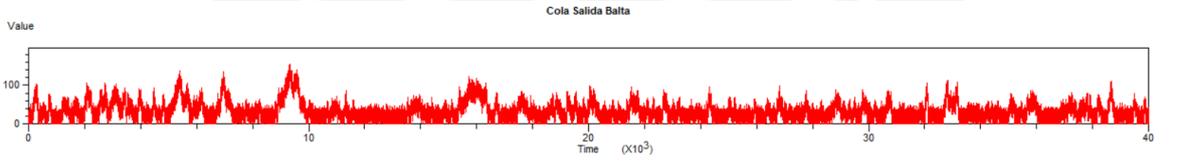
Plot Legend - Filename (Replication Treatment)

TAVG(tsaldaBalta) (1)



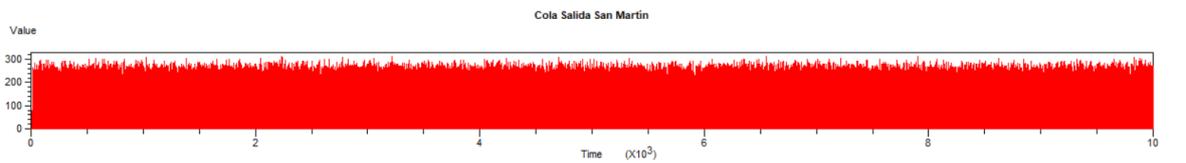
Plot Legend - Filename (Replication Treatment)

TAVG(tsaldaArmendariz) (1)



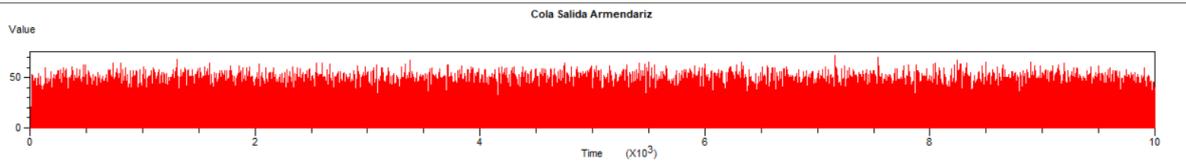
Plot Legend - Filename (Replication Treatment)

NQ(ColaSalidaBalta) (1)



Plot Legend - Filename (Replication Treatment)

NQ(colaSalidaSanMartin) (1)



Plot Legend - Filename (Replication Treatment)

NQ(ColaSalidaArmendariz) (1)

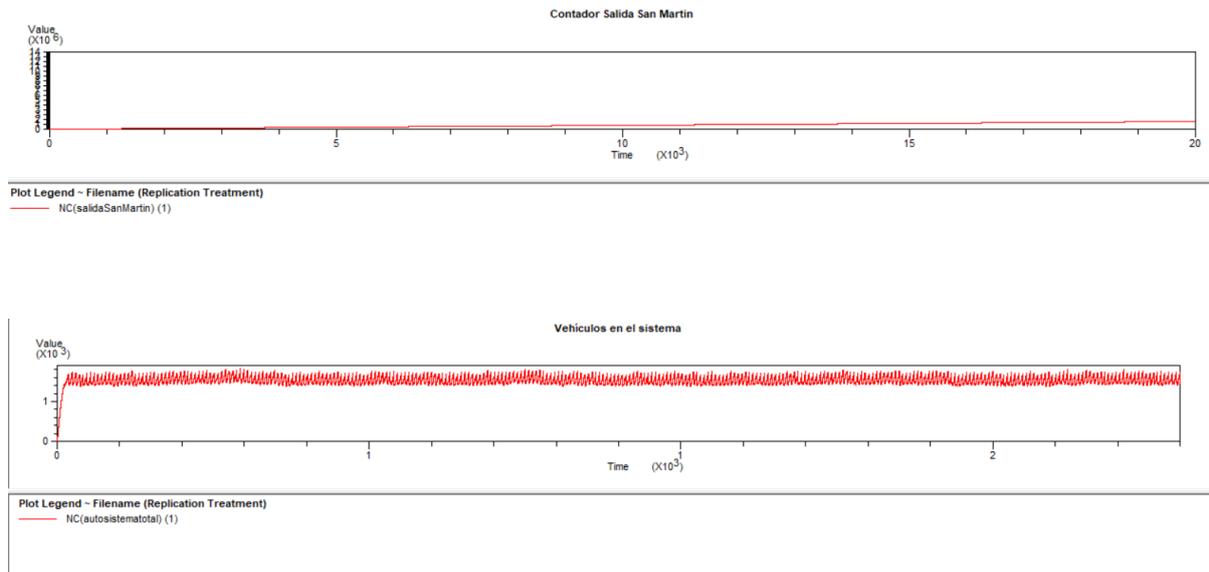


Figura 50: variación de las variables de salida durante el tiempo de simulación
Elaboración propia

Como se observó, en el instante de 100 000 minutos, las variables comienzan a ser estables, a este instante se le denomina el tiempo de truncamiento. En el caso de los contadores de salida, estos nunca llegan a ser estacionarios, tienen una tendencia creciente, por tanto, se descartan estas variables para los resultados finales. Por otro lado, la cantidad de autos en el sistema (vehículos en el sistema) sí tiene una tendencia estacionaria, esta variable servirá para la comparación entre escenarios.

3.4.16. Análisis de Variables

Para la primera corrida, se determinó un tiempo total de simulación de 4 000 000 minutos con un tiempo de calentamiento de 100 000 minutos. La diferencia fue dividida en un tiempo de 9 750 minutos, agrupando en 400 grupos como se observa en la Figura 51.

```

Batch/Truncate Summary
TAVG(tsalidaArmendariz)

Batched observations stored in file : Primer media por grupos.flt

Initial Time Truncated :      1e+005
Number of Batches      :      400
Time Spanned Per Batch :      9750
Trailing Time Truncated :      0
Estimate of Covariance Between Batches : 0.9546

```

Figura 51: Primer media por grupos
Elaboración propia

Para el desarrollo del correlograma, se colocó 130 observaciones (tercera parte de los 400), obteniendo que en el lag 24 se tenía una correlación menor a 0.1 como se observa en la Figura 52.

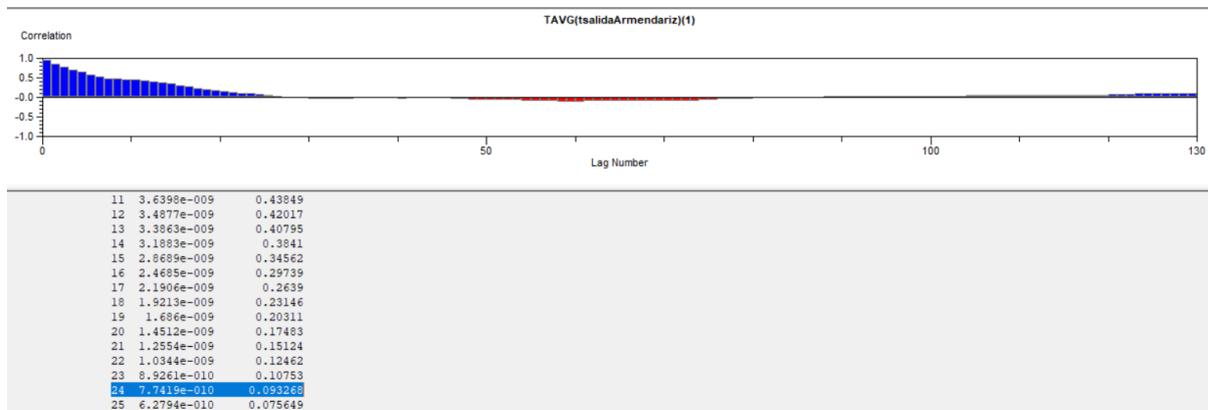


Figura 52: Correlograma
Elaboración propia

Para determinar la segunda media por grupo, se estableció hasta la observación 24, obteniendo un número de batches de 16, lo cual es válido porque lo recomendado es que esté dentro de 10-30 de acuerdo a Banks, Carson, Nelson y Nicol (2010). La determinación del número de batches se observa en la Figura 53.

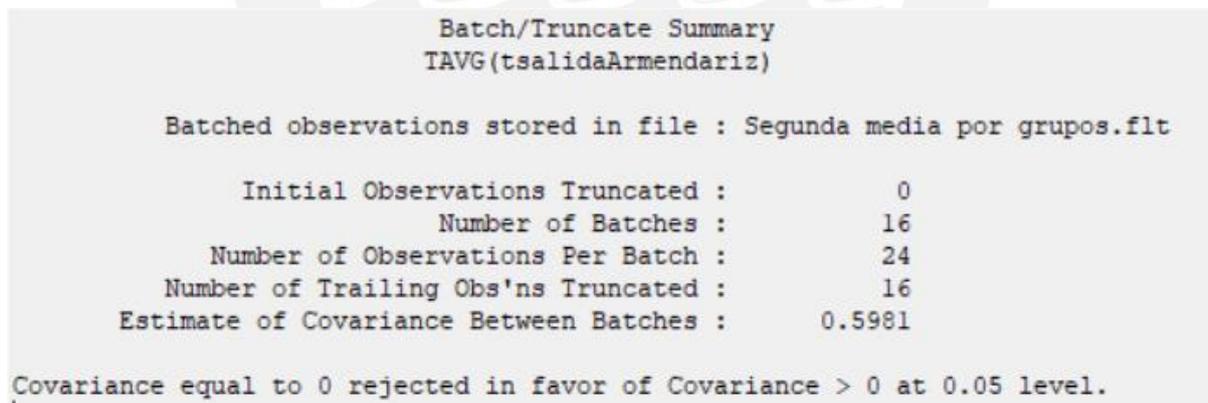


Figura 53: Segunda media por grupos
Elaboración propia

Al obtener 16 observaciones, se presenta los siguientes intervalos de confianza en la Figura 54.

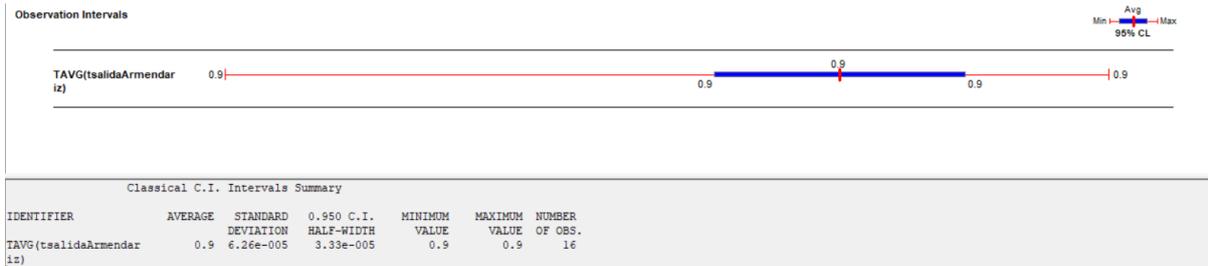


Figura 54: Intervalos de confianza
Elaboración propia

De acuerdo al reporte, el half width es muy pequeño, por tanto, el error tolerable (h) no tendrá mayor efecto en la cantidad de batches a tomar en cuenta. Se tomará un $h=0.000030$, $no=16$.

$$n = n_0 \frac{h_0^2}{h^2} = 20$$

El número de batches se mantienen. Por tal motivo, el tiempo de simulación completa será la siguiente:

$$TS = 100\ 000 + 20 * 24 * 9\ 750 = 4\ 780\ 000 \text{ minutos}$$

A continuación, la Figura 55 presenta los resultados corriendo el tiempo de simulación hallado:

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
NC(salidaSanMartin)	1.3551E+08 (Corr)	.00000	.00000	2.7104E+08	2.7104E+08
NC(salidaBarranco)	8.7134E+07 (Corr)	.00000	.00000	1.7426E+08	1.7426E+08
NQ(colaSalidaSanMartin)	90.352	.00920	.00000	331.00	165.00
NC(cantCurva)	9.8010E+07 (Corr)	.00000	.00000	1.9603E+08	1.9603E+08
NC(entradaSanIsidro)	2.1782E+08 (Corr)	.00000	.00000	4.3564E+08	4.3564E+08
TAVG(tsalidaArmendariz)	.89993 (Corr)	.00000	.00000	.95197	.89998
NQ(ColaSalidaBalta)	33.456	.48815	.00000	234.00	22.000
NC(salidaArmendariz)	3.2677E+07 (Corr)	.00000	.00000	6.5354E+07	6.5354E+07
TAVG(tsalidaBalta)	3.0599 (Corr)	.00000	.00000	3.9613	3.0630
TAVG(tsalidaSanMartin)	1.3333 (Corr)	.00000	.00000	1.4544	1.3334
NQ(ColaSalidaArmendariz)	14.704	.00437	.00000	80.000	47.000
NC(salidaBalta)	2.1847E+07 (Corr)	.00000	.00000	4.3691E+07	4.3691E+07
NC(autosistemtotal)	1538.0	.49335	.00000	1956.0	1598.0
NC(entradaBarranco)	4.8204E+07 (Corr)	.00000	.00000	9.6411E+07	9.6411E+07
NC(salidaSanIsidro)	3.6188E+07 (Corr)	.00000	.00000	7.2376E+07	7.2376E+07
NC(entradaBalta)	1.4176E+07 (Corr)	.00000	.00000	2.8350E+07	2.8350E+07
TAVG(tsisistema)	9.8161 (Corr)	.00000	.00000	9.8746	9.8165
NC(entradaArmendariz)	3.3160E+07 (Corr)	.00000	.00000	6.6321E+07	6.6321E+07
colaSalidaSanMartin.NumberInQueue	90.352	.00920	.00000	331.00	165.00
ColaSalidaArmendariz.NumberInQueue	14.704	.00437	.00000	80.000	47.000
ColaSalidaBalta.NumberInQueue	33.456	.48815	.00000	234.00	22.000
Entrada Bajada San Martin.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida San Isidro.NumEntTrans	6.8757	.00149	.00000	20.000	4.0000
Bajada Balta.NumEntTrans	101.18	.00571	.00000	124.00	101.00
Salida Bajada Balta.NumEntTrans	21.736	.00670	.00000	46.000	17.000
BajadaSanMartin.NumEntTrans	657.71	.05426	.00000	755.00	662.00
BajadaArmendariz.NumEntTrans	11.452	7.2090E-04	.00000	21.000	11.000
Entrada Barranco.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Curva a San Martin.NumEntTrans	108.91	9.9338E-04	.00000	117.00	109.00
Curva Armendariz.NumEntTrans	379.19	.03068	.00000	448.00	351.00
Entrada San Isidro.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida por Bajada Armendariz.NumEntTrans	19.606	.00389	.00000	44.000	16.000
Entrada Bajada Balta.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida Bajada San Martin.NumEntTrans	57.595	.00467	.00000	100.00	55.000
Entrada por Bajada Armendariz.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida Barranco.NumEntTrans	35.288	.00432	.00000	63.000	38.000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
autosistemtotal	1598	Infinite

Figura 55: Resultados a condiciones normales
Elaboración propia

De acuerdo a la información, se tienen los siguientes resultados en la Tabla 16.

Tabla 16: Resultados de la demanda

Detalle	Resultados	Unidad
Tiempo promedio en el sistema	9.8	minutos
Cantidad de autos en el sistema	1 598	unidad
Cantidad de vehículos en cola-Bajada San Martín	90	unidad
Cantidad de vehículos en cola-Bajada Balta	33	unidad
Cantidad de vehículos en cola-Bajada Armendáriz	14	unidad

Se observa que el tiempo promedio en el sistema (TAVG); es decir, el tiempo promedio en que está un vehículo dentro de la zona vulnerable, es de 9.8 minutos. Este tiempo es menor a los 15 minutos, instante en que se estima la llegada de un tsunami posterior a un terremoto. Por otro lado, la simulación muestra que la cantidad de vehículos en promedio en el sistema es de 1 598 (autosistemtotal).

De acuerdo al artículo presentado por la Promoción de Transporte Público (2016), estima que, para determinar la cantidad de personas en un flujo vehicular, se considere que en un bus viaja en promedio 12.7 personas, mientras que, en un auto, se considere 1.18 personas. De acuerdo al trabajo de campo, se considera que el 89% de los vehículos eran autos particulares, mientras que el 11% eran buses y motos. De acuerdo a ello, se estimó que el factor a utilizar de cantidad de personas por vehículo es de 2.4.

Utilizando este factor, se estima que la cantidad de personas vulnerables a condiciones normales ese de 3 835 personas, este sería la demanda potencial para recibir ayuda humanitaria ante un terremoto y posterior tsunami en la Costa Verde de Miraflores. En esta situación, no se está considerando los riesgos identificados en capítulos anteriores, para ello se propondrá 3 escenarios en el sistema.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE ESCENARIOS

En este capítulo se presentarán tres escenarios para determinar la variación de la demanda bajo diferentes criterios con el objetivo de minimizar la población que no podrá evacuar de la zona. En primer lugar, el escenario 1 establece dar prioridad a la salida de los vehículos que están en la Costa Verde, de acuerdo al plan de evacuación de la Municipalidad de Miraflores (2019) y bloquear los ingresos de más vehículos al sistema. En el escenario 2, aparte de dar prioridad a la salida de vehículos, considera un derrumbe en la zona 9 (mayor riesgo de colapso), bloqueando la carretera. Esto generará que los vehículos den media vuelta optando por salir en la bajada Balta. El escenario 3 asume los supuestos de los anteriores escenarios, pero considera el derrumbe de la zona 13 (es la 2da zona más propensa a colapsar durante un terremoto), bloqueando también la carretera por la zona de la bajada Armendáriz. A continuación, el detalle y resultado de cada escenario.

4.1. Escenario 1

En el escenario 1, se considera que todas las salidas en las Bajadas tienen preferencia con respecto a los demás vehículos que circulan por esa zona. En el caso de la Bajada San Martín, el flujo de los vehículos que pasan por la Avenida Ejército no bloquearía el paso a los vehículos que están saliendo de la Costa Verde para que puedan salir sin problema. En el caso de la Bajada Balta, se asume que los vehículos que salen pasen con normalidad a pesar de que el semáforo esté rojo. En el caso de Armendáriz, se daría preferencia a los vehículos que están saliendo de la Costa Verde.

Los parámetros que se cambiaron en el software son los siguientes:

- Semaforización en verde en los puntos de salida de los vehículos durante los últimos 15 minutos finales de la simulación.
- Se detiene el ingreso de vehículos al sistema en los últimos 15 minutos de la simulación.

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
NQ(colaSalidaSanMartin)	90.306	.04198	.00000	329.00	.00000
TAVG(tsalidaArmendariz)	.89980	(Corr)	.00000	.95197	.89964
NQ(ColaSalidaBalta)	34.168	1.6238	.00000	216.00	.00000
TAVG(tsalidaBalta)	3.1592	(Corr)	.00000	3.9613	3.1273
TAVG(tsalidaSanMartin)	1.3329	(Corr)	.00000	1.4544	1.3331
NQ(ColaSalidaArmendariz)	14.696	(Corr)	.00000	76.000	.00000
NC(autosistematotal)	1538.6	1.6214	.00000	1920.0	.00000
TAVG(tsistema)	9.8221	(Corr)	.00000	9.8746	9.8205
colaSalidaSanMartin.NumberInQueue	90.306	.04198	.00000	329.00	.00000
ColaSalidaArmendariz.NumberInQueue	14.696	(Corr)	.00000	76.000	.00000
ColaSalidaBalta.NumberInQueue	34.168	1.6238	.00000	216.00	.00000
Entrada Bajada San Martin.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida San Isidro.NumEntTrans	6.8783	.00482	.00000	18.000	.00000
Bajada Balta.NumEntTrans	101.17	.01871	.00000	122.00	.00000
Salida Bajada Balta.NumEntTrans	21.742	.02099	.00000	46.000	.00000
BajadaSanMartin.NumEntTrans	657.60	.22477	.00000	751.00	.00000
BajadaArmendariz.NumEntTrans	11.451	.00233	.00000	20.000	.00000
Entrada Barranco.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Curva a San Martin.NumEntTrans	108.90	.00512	.00000	117.00	.00000
Curva Armendariz.NumEntTrans	379.21	.13376	.00000	441.00	.00000
Entrada San Isidro.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida por Bajada Armendariz.NumEntTrans	19.603	.01666	.00000	43.000	.00000
Entrada Bajada Balta.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida Bajada San Martin.NumEntTrans	57.578	.01709	.00000	95.000	.00000
Entrada por Bajada Armendariz.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida Barranco.NumEntTrans	35.293	.01734	.00000	59.000	.00000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
autosistematotal	0	Infinite

Figura 56: Resultados del primer escenario
Elaboración propia

El resultado que se observa en la Figura 56 indica que al final de la simulación la cantidad de vehículos en el sistema sería de 0 vehículos con un tiempo promedio en el sistema de 9.81 minutos. Es decir, el tiempo de evacuación sería menor al tiempo que estaría llegando el tsunami.

4.2. Escenario 2

El escenario 2 considera un derrumbe en la zona 9 de la Costa Verde, debido a la alta probabilidad de que colapse bloqueando la vía al momento de la evacuación. Los autos que se encuentren en la zona serán redireccionados para que puedan salir por la Bajada Armendáriz. También se considera las premisas del escenario 1; es decir, las salidas de los autos reciben mayor prioridad.

Los parámetros que se cambiaron en el software son los siguientes:

- Semaforización en verde en los puntos de salida de los vehículos durante los últimos 15 minutos finales de la simulación.
- Se detiene el ingreso de vehículos al sistema en los últimos 15 minutos de la simulación.

- Incremento de viaje de 0.75 minutos para los autos que salen por la Bajada Balta.

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
NQ(colaSalidaSanMartin)	65.321	.04435	.00000	241.00	.00000
TAVG(tsalidaArmendariz)	.89980	(Corr)	.00000	.95197	.89962
NQ(ColaSalidaBalta)	.00123	(Insuf)	.00000	65.000	.00000
TAVG(tsalidaBalta)	4.6867E-05	(Insuf)	.00000	1.5849	1.5849
TAVG(tsalidaSanMartin)	1.3328	(Corr)	.00000	1.6401	1.3331
NQ(ColaSalidaArmendariz)	14.696	(Corr)	.00000	76.000	.00000
NC(autosistemtotal)	1488.2	.14027	.00000	1724.0	132.00
TAVG(tsistema)	9.4983	(Corr)	.00000	9.5015	9.4990
colaSalidaSanMartin.NumberInQueue	65.321	.04435	.00000	241.00	.00000
ColaSalidaArmendariz.NumberInQueue	14.696	(Corr)	.00000	76.000	.00000
ColaSalidaBalta.NumberInQueue	.00123	(Insuf)	.00000	65.000	.00000
Entrada Bajada San Martin.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida San Isidro.NumEntTrans	18.151	.00288	.00000	28.000	.00000
Bajada Balta.NumEntTrans	101.17	.01871	.00000	122.00	.00000
Salida Bajada Balta.NumEntTrans	.00155	.00000	.00000	82.000	.00000
BajadaSanMartin.NumEntTrans	692.79	.22050	.00000	784.00	95.000
BajadaArmendariz.NumEntTrans	11.451	.00233	.00000	20.000	.00000
Entrada Barranco.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Curva a San Martin.NumEntTrans	108.90	.00512	.00000	117.00	.00000
Curva Armendariz.NumEntTrans	379.22	.13376	.00000	441.00	.00000
Entrada San Isidro.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida por Bajada Armendariz.NumEntTrans	19.603	.01666	.00000	43.000	.00000
Entrada Bajada Balta.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida Bajada San Martin.NumEntTrans	41.649	.01681	.00000	73.000	37.000
Entrada por Bajada Armendariz.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida Barranco.NumEntTrans	35.293	.01734	.00000	59.000	.00000

COUNTERS		
Identifier	Count	Limit
autosistemtotal	132	Infinite

Figura 57: Resultados del segundo escenario
Elaboración propia

De acuerdo los resultados de la Figura 57, la cantidad de vehículos que permanecería en el sistema posterior a los 15 minutos, serían 132. Es decir, se incrementa la cantidad de personas que fallecerían si colapsara la zona 9 de la Costa Verde.

4.3. Escenario 3

El escenario 3 consiste en que colapsen las zonas 9 y 13. Los autos bloqueados por la zona 13 cambiarán de carril y se dirigirán hacia la bajada Armendáriz. Este escenario también recoge las premisas del escenario 1 y escenario 2.

Los parámetros que se cambiaron en el software son los siguientes:

- Semaforización en verde en los puntos de salida de los vehículos durante los últimos 15 minutos finales de la simulación.
- Se detiene el ingreso de vehículos al sistema en los últimos 15 minutos de la simulación.
- Incremento de 0.75 minutos en el tiempo de viaje para los autos de la Bajada Balta.

- Incremento de 5 minutos en el trayecto de Bajada Armendáriz a Bajada Balta.
- Incremento de 0.50 minutos de la Bajada Balta hacia la salida del sistema (hacia el parque Kennedy).
- Incremento de 3 minutos de la Bajada Armendáriz hacia su salida.

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifíer	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
NQ(colaSalidaSanMartin)	65.321	.04435	.00000	241.00	.00000
TAVG(tsalidaArmendariz)	.89980	(Corr)	.00000	.95197	.89960
NQ(ColaSalidaBalta)	4.2179E-04	(Insuf)	.00000	57.000	.00000
TAVG(tsalidaBalta)	2.3565E-05	(Insuf)	.00000	1.1399	1.1399
TAVG(tsalidaSanMartin)	1.3328	(Corr)	.00000	1.6401	1.3331
NQ(ColaSalidaArmendariz)	14.696	(Corr)	.00000	76.000	.00000
NC(autosistemtotal)	1488.2	.14027	.00000	1724.0	139.00
TAVG(tsistema)	9.4983	(Corr)	.00000	9.5015	9.4990
colaSalidaSanMartin.NumberInQueue	65.321	.04435	.00000	241.00	.00000
ColaSalidaArmendariz.NumberInQueue	14.696	(Corr)	.00000	76.000	.00000
ColaSalidaBalta.NumberInQueue	4.2179E-04	(Insuf)	.00000	57.000	.00000
Entrada Bajada San Martin.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida San Isidro.NumEntTrans	18.151	.00288	.00000	28.000	.00000
Bajada Balta.NumEntTrans	101.17	.01871	.00000	122.00	.00000
Salida Bajada Balta.NumEntTrans	9.2500E-04	(Insuf)	.00000	111.00	.00000
BajadaSanMartin.NumEntTrans	692.79	.22050	.00000	784.00	95.000
BajadaArmendariz.NumEntTrans	11.451	.00233	.00000	20.000	.00000
Entrada Barranco.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Curva a San Martin.NumEntTrans	108.90	.00512	.00000	117.00	.00000
Curva Armendariz.NumEntTrans	379.22	.13376	.00000	441.00	.00000
Entrada San Isidro.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida por Bajada Armendariz.NumEntTrans	19.605	.01666	.00000	102.00	.00000
Entrada Bajada Balta.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida Bajada San Martin.NumEntTrans	41.649	.01681	.00000	73.000	44.000
Entrada por Bajada Armendariz.NumEntTrans	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Salida Barranco.NumEntTrans	35.293	.01734	.00000	59.000	.00000

COUNTERS

Identifíer	Count	Limit
autosistemtotal	139	Infinite

Figura 58: Resultados del tercer escenario
Elaboración propia

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 58, estarían quedando 139 vehículos en el sistema luego de los 15 minutos máximo para poder evacuar la zona de la Costa Verde.

A continuación, la Figura 59 muestra el resumen de la situación actual versus los escenarios. Se asume el mismo factor de 2.4 personas por vehículo.

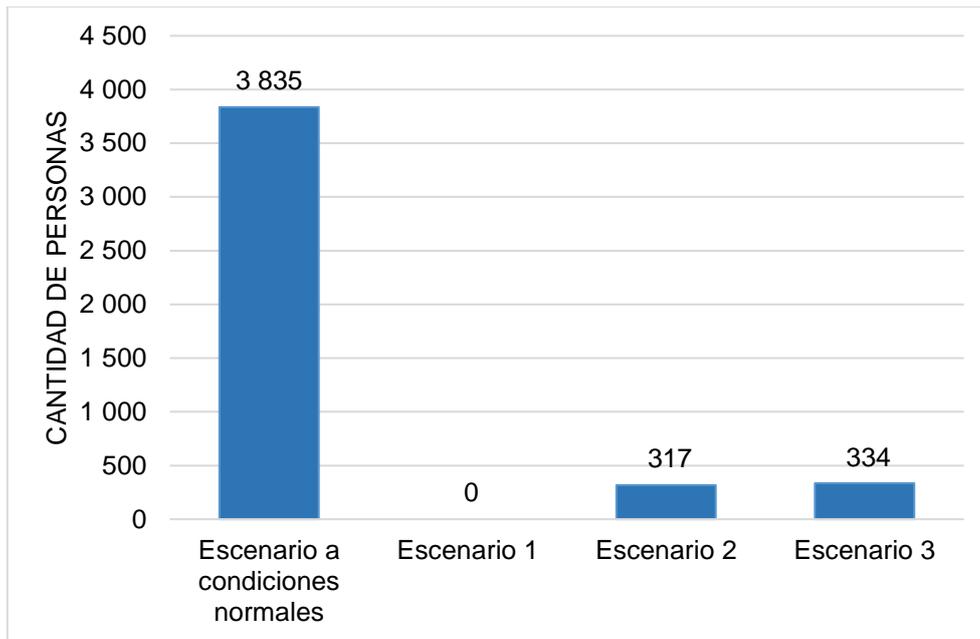


Figura 59: Estimación de personas vulnerables por escenario
Elaboración propia

El escenario a condiciones normales indica la mayor cantidad de personas vulnerables en la Costa Verde de Miraflores; es decir, de no haber una respuesta ante la evacuación de personas, la cantidad de personas vulnerables sería de 3 835 personas aproximadamente. En el caso del escenario 1, dar prioridad a la salida de vehículos mediante la semaforización inteligente, muestra que todos los vehículos saldrían del sistema en menos de 15 minutos. En este escenario 1 se considera que no exista algún colapso del acantilado después del terremoto. Sin embargo, gracias al estudio geomorfológico y geotécnico del IGP, se ha observado zonas de mayor riesgo de colapso, lo cual bloquearía las rutas de evacuación en la vía de la Costa Verde. En el escenario 2, colapso en la zona 9, la cantidad de personas vulnerables aumenta a 317 personas aproximadamente. En el escenario 3, bloqueo de la zona 9 y 13, la cantidad de personas vulnerables sería de 334 personas.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se detallará los resultados y recomendaciones de la tesis.

- De acuerdo a la simulación, bajo condiciones normales, la cantidad de personas vulnerables sería de 3 835 aproximadamente en horario pico.
- De acuerdo a la evaluación de escenarios, el factor más predominante es la infraestructura cercana a la carretera; es decir, el colapso de una parte del acantilado y en consecuencia el bloqueo de la carretera. El escenario 1 nos brinda un resultado favorable para la evacuación, pero el escenario 2 toma en cuenta estos riesgos, teniendo como resultado la muerte potencial de 317 personas.
- El modelo propuesto se puede aplicar para otros distritos aledaños en la Costa Verde, debido a su geometría y similitud; de acuerdo al mapa de riesgos, los distritos más críticos son Chorrillos y El Callao en la zona costera de Lima.
- El modelo propuesto posee la ventaja de analizar zonas con alto fluido vehicular, mas no las zonas con alta densidad poblacional. En caso se requiera también incluir el comportamiento poblacional, será necesario recopilar mayor información como la cantidad de edificios, el flujo peatonal, el tiempo de evacuación, etc.
- Se recomienda utilizar este modelo para un nivel macroscópico de alguna zona en específica. A diferencia de otras investigaciones, la Costa Verde tiene una menor complejidad geométrica, pues la autopista no se encuentra entre edificios. Su optimización de evacuación dependerá mucho de las zonas de salida existentes, de la rapidez que se obstaculice las entradas y de la comunicación inmediata de dejar la zona.
- Se recomienda analizar también el comportamiento entre las 5:45 pm a 7:30 pm. De acuerdo a la Municipalidad, en esta hora se genera congestión vehicular debido a que es horario de salida del trabajo de oficina.
- Se recomienda conocer qué tan diferente es la proporcionalidad de vehículos de carga y motos entre el flujo matutino y nocturno; pues de esta forma la matriz origen-destino puede sufrir una variación.
- La cantidad de personas vulnerables puede fluctuar ante eventos sociales no comunes realizados en la zona, por ejemplo, mayor concurrencia de peatones en las playas por el verano o conciertos y eventos que se desarrollen en el distrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Alçada Almeida, L., Tralhao, L., Santos, L., & Coutinho Rodrigues, J. (2009). A multiobjective approach to locate emergency shelters and identify evacuation routes in urban areas. *Geogr. Analysis*, 9-29.
- Alcalá, M. (2016). *Micro simulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software Vissim 6*. Lima, Perú: Tesis para optar el título de Ingeniero Civil-PUCP.
- Altay, N., & Green, W. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European journal of operational research*, 175, 475-494. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221705005047>
- Andina. (11 de Marzo de 2017). Conoce las zonas de inundación ante tsunami en Lima. *Andina*. Obtenido de <https://andina.pe/Agencia/noticia-conoce-las-zonas-inundacion-ante-tsunami-lima-657187.aspx>
- Andina. (2 de Setiembre de 2021). Costa Verde: entregan segundo puente peatonal inclusivo con ascensores en Miraflores. *Andina*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-costa-verde-entregan-segundo-puente-peatonal-inclusivo-ascensores-miraflores-860164.aspx>
- Banerjee, S., & Shinozuka, M. (2007). Nonlinear Static Procedure for Seismic Vulnerability. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 293-305. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1467-8667.2007.00486.x>
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-event system simulation*. Pearson.
- Berman, O., & Krass, D. (Mayo de 2002). The generalized maximal covering location problem. *Journal Computers and Operations Research*, 29, 563-581.
- Cañari, M., & Alva, J. (2011). *Análisis de la estabilidad de taludes de la Costa Verde*. Lima: Guzlop Editoras. Recuperado el 04 de Septiembre de 2019, de http://www.guzlop-editoras.com/web_des/ing01/civil/pld0121.pdf
- Carpio, J., & Tavera, H. (2002). Estructura de un catálogo de tsunamis para el Perú basado en el catálogo de Gusiakov. *Boletín de la sociedad Geológica del Perú*, 45-59.
- Cassidy, W. (27 de October de 2003). A logistics lifeline. *Traffic World*, 1.

- Chai, G., Fang, C., Zhou, J., & Wan, S. (2009). A multi-objective decision model of traffic rescue service site location on road. *ICCTP*.
- Chen, W., Zhai, G., Ren, C., Shi, Y., & Zhang, J. (2018). Urban Resources Selection and Allocation for Emergency Shelters: In a Multi-Hazard Environment. *Internacional Journal*. Obtenido de https://www.mdpi.com/1660-4601/15/6/1261?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc
- Choi, S. (2013). Study On The Development Of The Loss Estimation Method For Urban Flood In Korea. *WITPRESS*, 51-56. Obtenido de <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/133/25018>
- Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Paper of the regional science association*, 32, pp: 101-118. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de http://www.geog.ucsb.edu/~forest/G294download/MAX_COVER_RLC_CSR.pdf
- Comercio, E. (29 de Enero de 2016). Costa Verde: Así cambian los límites de velocidad. *El Comercio*, pág. s/n. Obtenido de <https://elcomercio.pe/lima/costa-verde-cambian-limites-velocidad-mapa-267627>
- DHN. (2011). *Carta de Inundación*. Obtenido de https://www.dhn.mil.pe/secciones/departamentos/oceanografia/apps/cartastsunamis/tsunamis_prevenccion/tsunamis_inundacion.htm
- Doerner, K., Gutjahr, W., & Nolz, P. (2009). Multi-criteria location planning for public facilities in tsunami-prone coastal areas. *OR Spectr.*, 651-678.
- Duadé, É. (2019). Escape: exploring by simulation cities on population evacuation. *Analytical modeling and simulation*. Obtenido de <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02144058/document>
- Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2001). Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations. *Paper prepared for presentation at the 80th annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January, 1-8*.
- FEMA. (1999). Earthquake loss estimation methodology. *Technical Manual, Vol. 1*.
- Fernández, R. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. (J. C. Dextre, Ed.) Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gándara, C., Padilla, F., & Gutierrez, P. (2020). Población flotante y ciudad desde una perspectiva socioespacial: revisión de estudios recientes. *Revista de estudios*

transfronterizos. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ssa/v20n1/0719-0948-ssa-20-01-103.pdf>

- García, L. (2019). Lima tendría pérdidas económicas de US\$35 mil millones por un terremoto de 8.5. *El Comercio*. Recuperado el 03 de junio de 2019, de <https://elcomercio.pe/peru/lima-tendria-perdidas-superiores-us-35-mil-millones-terremoto-magnitud-8-5-lloyds-sismo-noticia-ecpm-254500>
- Gates, T., Bill, A., A. Noyce, D., & Van Ee, N. (2006). Recommended Walking Speeds for Timing of Pedestrian Clearance Intervals Based on Characteristics of the Pedestrian Population. *Transportation research record journal of the Transportation Research Board*, pp: 38-47.
- Gates, T., Noyce, D., Bill, A., & Van Ee, N. (2006). Recommended Walking Speeds for Timing of Pedestrian Clearance Intervals Based on Characteristics of the Pedestrian Population. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, pp: 38-47.
- Granados, A. (2006). *Estabilización de talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Barranco (Tesis de pregrado)*. Lima: PUCP.
- Herman, R., Montroll, E., Potts, R., & R, R. (1958). Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following. *Operations Research*, 86-106.
- Hu, F., Yang, S., & Xu, W. (2014). A non-dominated sorting genetic algorithm for the location and districting planning of earthquakes shelters. *Int. J. Geogr. Inf. Sci*, 1482-1501.
- IGP. (2019). *Evaluación de peligros geofísicos en el distrito de Miraflores*.
- INDECI. (2017). Instalación y gestión de refugios temporales. *Boletín del Instituto Nacional de Defensa Civil*. Recuperado el 24 de mayo de 2019, de <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/folleto/2017/3%20REFUGIOS%20TEMPORALES.pdf>
- Jiang, Y., Lu, J., & Zhu, S. (Julio de 2011). The Demand analysis of emergency management of large bridge under emergency events. *11th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP)*.
- Jin, C.-y., Wang, J.-j., Chen, K., Su, J., & Bi, M.-t. (2011). Research on Monitoring and Emergency Response Project of the Urban Road Network. *11th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP)*.

- Kubisch, S., Guth, J., Keller, S., Bull, M., & Braun, A. (2019). Combining a social science approach and GIS-based simulation to analyse evacuation in natural disasters: A case study in the Chilean community of Talcahuano. En Franco, Z., Gonzalez, J. y Canós, J. (Ed). 16th International Conference on Information System. *16th International Conference on Information Systems for Crisis Response And Management (ISCRAM 2019)*.
- Leonard, D., & Tough, J. (Julio de 1979). Validation work on CONTRAM-a model for use in the design of traffic management schemes. *Proceedings 7th PTRC Summer Annual Meeting*.
- Li, S., & Cao, D. (2018). Variable speed limit strategies analysis with link transmission model on urban expressway. *World Scietific Publishing Company*.
- LIMA, M. (2011). *Proyecto Costa Verde*. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de Mi Costa Verde (Blog): <https://micostaverde.blogspot.com/2011/02/autoridad-del-proyecto-costa-verde.html>
- Lima, M. d. (s.f.). *MML PONE EN SERVICIO PUENTE PEATONAL "MARÍA REICHE" EN COSTA VERDE DE MIRAFLORES*. Obtenido de Municipalidad de Lima: <http://www.munlima.gob.pe/noticias/item/36741-mml-pone-en-servicio-puente-peatonal-mar%C3%ADa-reiche-en-costa-verde-de-miraflores>
- Lu, H. (2017). Hierarchical location selection and layout optimization of emergency shelter system in satellite town-A case of Yanjiao Town in Hebei Province. *Scientific Technology Eng., Vol. 17*, pp. 96-104.
- Ma, Y., Xu, W., Qin, L., & Zhao, X. (2019). Site Selection Models in Natural Disaster Shelters: A review. *Sustainability, Vol II, Issue 2*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/2/399>
- Matherly, D., Murray-Tuite, P., & Wolshon, B. (2015). Traffic Management for Planned, Unplanned, and Emergency Events. *Traffic Engineering Handbook: Institute of Transportation Engineers, Seventh Edition*, pp. 599-635.
- Miraflores, M. (2019). *Miraflores exhorta a Municipalidad de Lima proteger playas de la Costa Verde*. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de Portal web de la Municipalidad de Miraflores: <https://www.miraflores.gob.pe/miraflores-exhorta-a-municipalidad-de-lima-proteger-playas-de-la-costa-verde/>
- Miraflores, M. d. (2016). *Plan de prevención y reducción de riesgo de desastres en el distrito de Miraflores*. Lima-Miraflores: Reporte de la Municipalidad. Obtenido de

http://www.miraflores.gob.pe/Gestorw3b/files/pdf/10203-24624-plan_de_preencion_y_reduccion_de_riesgo_de_desastre.pdf

Miraflores, M. d. (2016). *Plan Urbano Distrital de Miraflores 2016-2026*. Lima. Recuperado el 08 de Septiembre de 2019, de <https://www.miraflores.gob.pe/Gestorw3b/files/pdf/10299-25442-capitulosiyii.pdf>

Miraflores, M. d. (2019). *Miraflores es único*. Obtenido de <https://www.miraflores.gob.pe/defensa-civil/>

MTC. (2013). *Encuesta de recolección de información básica del transporte urbano en el área Metropolitana de Lima y Callao*. Lima: Agencia de Cooperación Internacional del Japón.

Murray, S. (7 de Enero de 2005). How to deliver on the promises: supply chain logistics. *Financial Times*, pág. pp. 9. Obtenido de <https://www.ft.com/content/79ae9810-6012-11d9-bd2f-00000e2511c8>

Nolz, P., Semet, F., & Doerner, K. (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR Spectrum*, Vol. 33, pp. 543-569. Recuperado el 25 de mayo de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/81782292.pdf>

Ortiz, A. (Julio de 2010). La deuda de la ciudad con la Costa Verde (y viceversa). *Qué hacer*(No. 179), pp. 80-85. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de <http://www.desco.org.pe/recursos/sites/indice/798/2317.pdf>

Ortúzar, J. (2008). *Modelos de Transporte*. España: Universidad de Cantabria.

Pamukcu, D., Zobel, C., & Arnette, A. (2019). A new data-driven approach to measuring hurricane risk. *ISCRAM 2019-Towards individual-centric emergency management systems*.

Pareja, C., & Rodriguez, X. (2016). *Determinantes del número de damnificados por causa de un terremoto en Lima Metropolitana y Callao y contraste de medidas de respuestas a través de modelos de programación lineal entera para la distribución de bienes para ayuda humanitaria*. Lima: PUCP.

Peruano, E. (2017). Normas Legales: Aprueban lineamientos generales en gestión del riesgo de desastres del distrito. *Diario El Peruano*. Recuperado el 24 de Mayo de 2019, de https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Buenas_Practicas/Ordenanza%20San%20Isidro.pdf

- Público, P. d. (30 de Agosto de 2016). *Ecomovilidad.net*. Obtenido de <https://ecomovilidad.net/global/calculamos-la-ocupacion-del-transporte-publico/>
- Quicaño, M. (Julio de 2014). *APCV Perú*. Obtenido de http://www.apcvperu.gob.pe/portalttransparencia/files/Lineamientos_Tecnicos_para_e_I_Desarrollo_de_Polos_de_Estructuracion_de_la_Costa_Verde.pdf
- Quicaño, M. (2014). *Estudio "Lineamientos técnicos para el desarrollo de polos de estructuración de la Costa Verde"*. Lima: Proyectos y Consultorias. Obtenido de http://www.apcvperu.gob.pe/files/estudios/Lineamientos_2.pdf
- Ramirez, D. (2019). Logística Urbana. *Logistics*. Recuperado el 09 de junio de 2019, de <https://www.revistalogistec.com/index.php/vision-empresarial/lideres/419-lideres/3554-logistica-urbana>
- Raygada, L. (2011). *Análisis de estabilidad y deformación en el acantilado de la Costa Verde*. Lima-Perú: UNI. Recuperado el 04 de Septiembre de 2019, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3480/1/raygada_rl.pdf
- República, L. (3 de Enero de 2018). Puentes de la Costa Verde en abandono por fallas en expedientes. *La República*. Obtenido de <https://larepublica.pe/sociedad/1166267-puentes-de-la-costa-verde-en-abandono-por-fallas-en-expedientes/>
- ReVelle, C., & Swain, R. (1970). Central Facilities Location. *Geographical Analysis, Vol. 2*, pp. 30-42. Obtenido de <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1970.tb00142.x>
- Santa Cruz, W. (2018). *Territorios Fragmentados El Caso de la Costa Verde*. Lima.
- Soltani, A., Ardalan, A., Bolorani, A., Haghdoost, A., & Hosseinzadeth-Attar, M. (2014). Site selection criteria for sheltering after earthquakes: A systematic review. *PLOS Curr. Disasters*.
- Tang, L., Yang, X., Huang, F., Xu, H., & Li, Q. (2012). A New Models for Emergency Evacuation under the Disaster Condition. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 195-202.
- Teves, N. (2016). Revista del Colegio de Ingenieros de Lima. (No. 75), 8-9. Recuperado el 10 de junio de 2019, de http://www.cdlima.org.pe/docs/revista/REV_EL_INGENIERO_75.pdf
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The Location of Emergency Service Facilites. *Operation research, Vol. 19*(No. 6), pp. 1363-1373. Obtenido de https://www.jstor.org/stable/169241?seq=1#metadata_info_tab_contents

- Transportation, I. o. (2006). Traffic micro-simulation modelling. *Network Management Note*, pp. 1-4.
- Vargas, J., Lauras, M., Dupont, L., & Charles, A. (2013). Towards a demand forecast methodology for recurrent disasters. En *Disaster Management and Human Health Risk III* (págs. 99-110).
- Xu, W., Ma, Y., Zhao, X., Li, Y., Qin, L., & Du, J. (2018). A comparison of scenario-based hybrid bilevel and multi-objective location-allocation models for earthquake emergency shelters: a case study in the central area of Beijing, China. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 38, pp. 236-256.
- Yosritzal, K., Purnawan, & Putra, H. (2018). n observation of the walking speed of evacuees during a simulated tsunami evacuation in Padang, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Zaynab, Q., Abdul-Razzak, Z., & Khaldoon, F. (2018). TransCad analysis and GIS techniques to evaluate transportation network in Nasiriyah city. *MATEC Web of Conferences*, pp. 1-7.
- Zhao, L., Li, H., Sun, Y., Huang, R., Hu, Q., Wang, J., & Gao, F. (2017). Planning emergency shelters for urban disaster resilience: an integrated location-allocation modeling approach. *Sustainability*, Vol. 9.
- Zhou, Y., Liu, M., & Wang, L. (2010). Study of urban shelter location planning based on multi-objective approach. *J. Saf. Environ.*, 205-209.

ANEXOS

Anexo 1: Puente Maria Reiche



Elaboración propia

Anexo 2: Puente Isaac Rabin



Elaboración propia

Anexo 3: Iubes



Elaboración propia

Anexo 4: Escaleras-Puente María Reiche



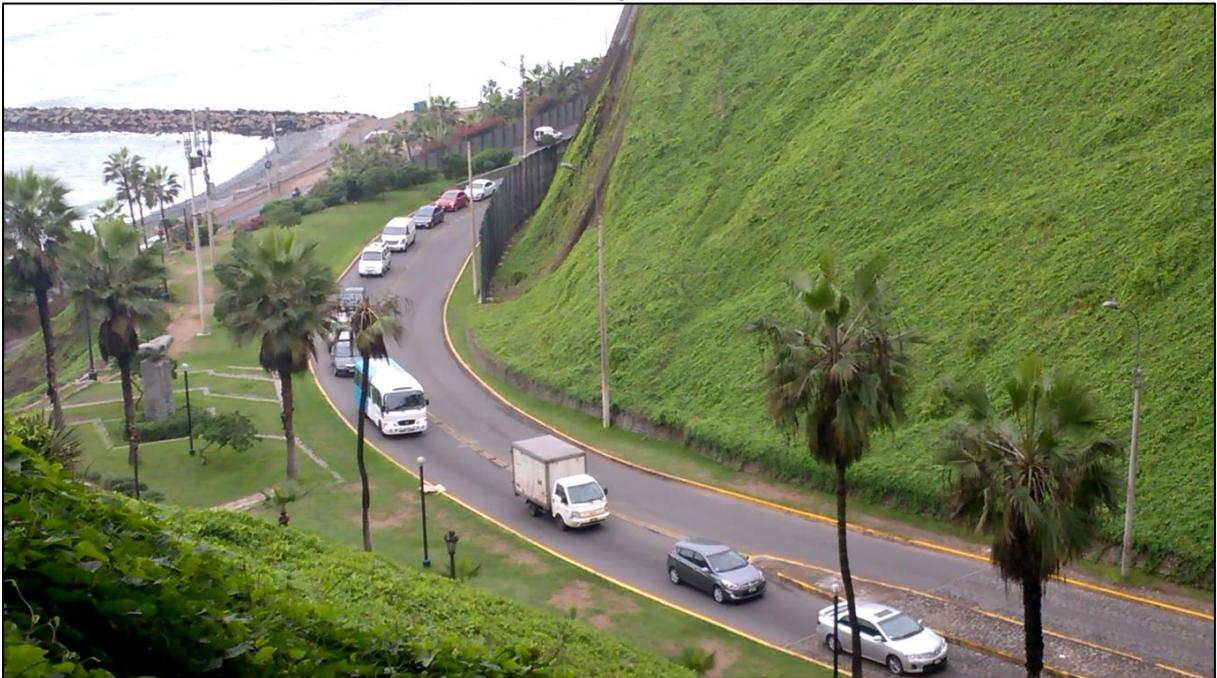
Elaboración propia

Anexo 5: Bajada San Martín



Elaboración propia

Anexo 6: Bajada Balta

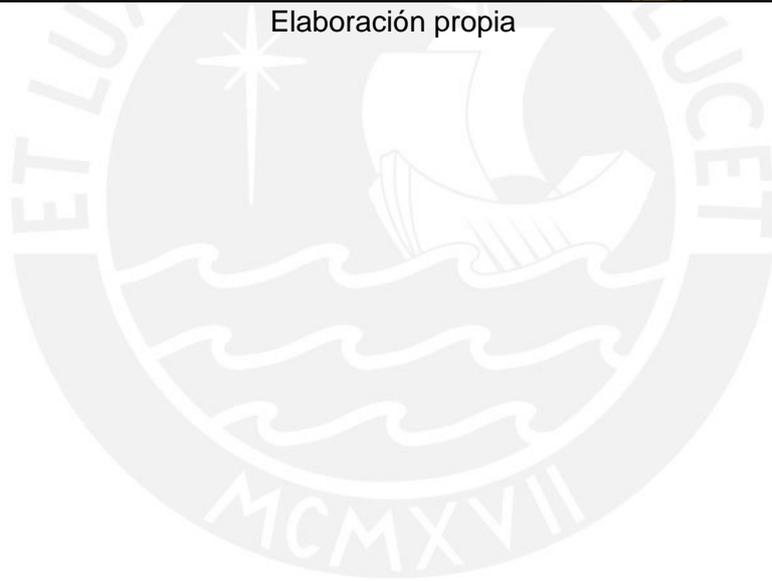


Elaboración propia

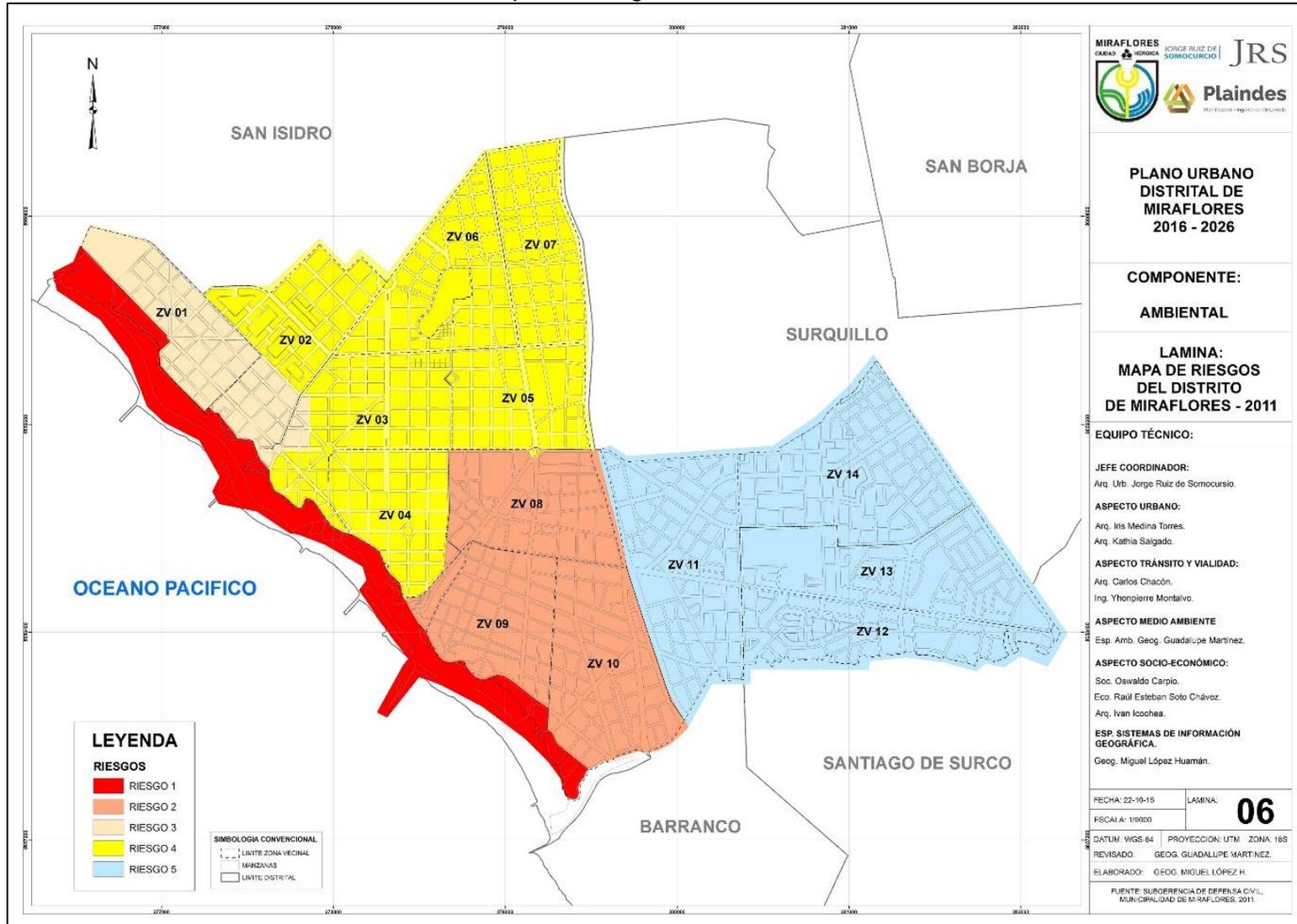
Anexo 7: Baja Armendáriz



Elaboración propia



Anexo 8: Mapa de Riesgos del Distrito de Miraflores



Fuente: Municipalidad de Miraflores

Anexo 9: Intersecciones donde se hizo el conteo-2015

Zona	Intersección
1	Av. Del Ejército, altura Bajada San Martín
2	Av. José Pardo / Av. Santa Cruz
3	Av. José Pardo / Av. Comandante Espinar
4	Av. Comandante Espinar / Av. Angamos Oeste
5	Av. Comandante Espinar / Av. Santa Cruz
6	Puente Eduardo Villena
7	Av. José Larco / Av. Miraflores
8	Av. José Larco / Av. Alfredo Benavides
9	Av. José Larco / Av. José Pardo / Av. Arequipa
10	Av. Arequipa / Av. Angamos
11	Av. Arequipa / Av. Aramburú
12	Av. Aramburú / Av. Petit Thouars
13	Av. Aramburú / Av. Paseo de la República
14	Av. Paseo de la República / Av. Angamos
15	Av. Paseo de la República / Jr. Manuel Gonzales Prada
16	Av. Paseo de la República / Av. Ricardo Palma
17	Av. Ricardo Palma / Av. La Paz
18	Av. Paseo de la República / Av. Diez Canseco
19	Av. Paseo de la República / Ca. Shell
20	Av. Paseo de la República / Av. Alfredo Benavides
21	Av. Paseo de la República / Av. Miraflores
22	Puente Armendáriz
23	Av. Armendáriz / Av. La Paz
24	Av. Armendáriz / Ca. Vasco Nuñez de Balboa
25	Av. Miraflores / Av. La Paz
26	Av. Miraflores / Av. Reducto
27	Av. Miraflores / Av. República de Panamá
28	Av. Alfredo Benavides / Av. República de Panamá
29	Av. Ricardo Palma / Av. República de Panamá
30	Av. Roca y Bologna / Av. República de Panamá
31	Av. Alfredo Benavides / Av. La Merced
32	Av. Alfredo Benavides / Av. Tomás Marsano
33	Av. Alfredo Benavides / Av. Manuel Villarán
34	Av. Alfredo Benavides / Av. Roca y Bologna

Fuente: (Municipalidad de Miraflores, 2015)

Anexo 10: Plantilla para la toma de datos

Punto de conteo

Fecha

Realizado por

Hora	Auto	Moto	Bus
7:45-8:00			
8:00-8:15			
8:15-8:30			
8:30-8:45			
8:45-9:00			
9:00-9:15			
Total			
Promedio			

Elaboración propia

Anexo 11: Conteo Bajada Balta y Armendáriz

Hora	Salida Balta			Entrada Balta			Hacia San Martín		
	Auto	Moto	Bus	Auto	Moto	Bus	Auto	Moto	Bus
7:45-8:00	146	14	0	114	4	0	860	40	2
8:00-8:15	151	5		90	2	1	851	33	2
8:15-8:30	132	15		103	2	1	878	42	1
8:30-8:45	128	9		112	3	0	903	47	3
8:45-9:00	171	12	1	105	4	0	888	58	9
9:00-9:15	127	6		96	5	0	686	43	11

Hora	Salida Armendáriz			Salida Barranco			Entrada Barranco			Entrada Armendáriz		
	Auto	Moto	Bus	Auto	Moto	Bus	Auto	Moto	Bus	Auto particular/minivan	Moto	Bus/De Carga
7:45-8:00	253	16	7	564	14	1	463	39	2	188	4	7
8:00-8:15	241	13	9	279	5	4	504	44	3	155	1	3
8:15-8:30	225	16	6	426	13	2	370	29	4	353	9	1
8:30-8:45	235	20	5	422	12	4	231	19	3	421	17	1
8:45-9:00	248	16	2	442	15	3	424	24	5	208	4	2
9:00-9:15	202	10	4	390	17	1	232	9	3	293	9	3
TOTAL	1404	91	33	2523	76	15	2224	164	20	1618	44	17
PROMEDIO	234	15	6	421	13	3	371	27	3	270	7	3