

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**DISEÑO DE UN PLAN DE EVACUACIÓN EN CASO DE  
EMERGENCIA POR TSUNAMI EN EL DISTRITO LA PUNTA  
USANDO MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Industrial**, que presenta el bachiller:

**Ayrton José Alejandro García Avellaneda**

**ASESOR: Ing. Atoche Diaz, Wilmer Jhonny**

Lima, abril de 2019

## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño y la simulación de un modelo de un plan de evacuación en caso de emergencia por tsunami en el distrito La Punta.

Debido a la creciente cantidad de desastres de origen natural a nivel mundial y en América Latina surge esta investigación. En el Perú, se encuentra uno de los litorales más vulnerables de Sudamérica, expuesta a inundaciones por causa de tsunami, pudiendo ser la causa de un gran número de pérdidas en el país. El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) ha obtenido un modelo digital de elevación con grillas para estimar escenarios sísmicos y sus repercusiones en tsunamis hipotéticos. Uno de estos escenarios es un terremoto de magnitud 8.5 Mw con epicentro en el mar, frente al Callao, coincidiendo con el terremoto más probable que podría ocurrir en Lima, donde se sabe que las primeras olas llegarían a las costas de La Punta en 15 minutos.

El objetivo principal de la tesis es poder optimizar el número de recursos y número de personas evacuadas a una zona segura fuera del distrito La Punta. En ese sentido, se busca una mejor preparación ante un desastre por tsunami para reducir el número de pérdidas. En este trabajo se propone el cumplimiento del objetivo a través de optimizar las rutas de escape a utilizar de los vehículos de la zona. Luego se confirma la viabilidad de estas rutas a través de un modelo de simulación por dinámica de transportes de camino dirigido. La demanda de vehículos se obtuvo a través de información de INDECI de población de la zona; dado que se estima resultados para dos tiempos del día distintos se usó información de población por manzanas y densidad de tráfico poblacional.

Por último, se concluye que dos variables juegan un importante rol en la cantidad de vehículos evacuados en el límite de tiempo que llegan las olas a las costas de La Punta, el tráfico inicial y el tiempo de reacción de las personas para poder salir del distrito, de estas variables se conoce que cuando se compara los escenarios día y noche, siendo este último con menor tráfico inicial, se llegan a localizar 100 vehículos más dentro de la zona segura en el tiempo establecido de 15 minutos; por otro lado, cuando se compara un tiempo menor de reacción con uno mayor, diferencia de 3 minutos, se logra localizar 328 vehículos más dentro de la zona segura; se debe trabajar ambas variables en conjunto para maximizar el número de personas evacuadas. Hoy en día el distrito La Punta y Callao deben reforzar estas ideas e indicar las vías de escape en sus planes de evacuación.



*Dedicado a todos aquellos que en algún momento han sufrido alguna pérdida a causa de un desastre natural. A mis padres y hermana por su apoyo incondicional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi hermana y padres, Alisson, Marlene y Jorge, por darme las fuerzas que siempre necesito para seguir adelante en cada etapa de mi vida.

A todos mis amigos que estimo que siempre me acompañaron y ayudaron durante distintas etapas de mi vida.

A mi asesor de tesis, el Ing. Wilmer Atoche y a mi profesor el Ing. Luis Clemente por sus asesorías y ayuda para el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Finalmente, a Dios por estar siempre conmigo y haberme cuidado para poder llegar a esta meta de mi vida.





PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial  
ALUMNO : **AYRTON JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA AVELLANEDA**  
CÓDIGO : 2013.2216.12  
PROPUESTO POR : Ing. Wilmer J. Atoche Díaz  
ASESOR : Ing. Wilmer J. Atoche Díaz  
TEMA : DISEÑO DE UN PLAN DE EVACUACIÓN EN CASO DE EMERGENCIA POR TSUNAMI EN EL DISTRITO LA PUNTA USANDO MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN.  
N° TEMA : 1405  
FECHA : San Miguel, 22 de octubre de 2018



### JUSTIFICACIÓN:

Se ha definido como desastre natural a un evento catastrófico causado por la naturaleza o procesos naturales de la tierra, donde la gravedad del desastre se mide en pérdidas de vidas, pérdidas económicas, y la capacidad de la población para la reconstrucción<sup>1</sup>.

Dentro de la Tierra hay en total 14 placas rocosas que al no poder movilizarse de manera natural provocan lo que se conoce como sismo. El anillo o cinturón de fuego del Pacífico es una de las zonas más destructivas del planeta, conformado por las costas del océano Pacífico y países como el Perú, dejándolo en un estado de grave peligro<sup>2</sup>. Tsunami es una serie de ondas marinas de gran tamaño generadas por un movimiento sísmico superficial bajo el fondo marino, siendo estas no dañinas en alta mar, pero destructivas para las regiones limitantes con la costa<sup>3</sup>.

En el Perú entre las zonas más peligrosas en caso de un tsunami son Callao, Ventanilla, Villa el Salvador, Chorrillos, la Costa Verde y la Punta; siendo este último distrito el de mayor índice de vulnerabilidad en el país. Se han realizado distintas simulaciones que indican que un terremoto de 8.5 grados provocaría una inundación de 12 a 15 metros de profundidad con olas de hasta 10 metros de altura<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Centro Nacional de Apoyo para Contingencias Epidemiológicas y Desastres (CENACED)

<sup>2</sup> Perú, América Noticias Cuarto Poder. *Perú y su presencia en el destructivo cinturón de fuego del Pacífico.*

<sup>3</sup> Centro Nacional de Alerta de Tsunami (CNAT)

<sup>4</sup> Centro Peruano - Japonés de Investigaciones Sísmicas y Desastres (CISMID). *Evaluación de la Amenaza frente a Tsunami para Lima y Callao.* Perú. Disponible desde internet  
<[http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CISMID/Estudio\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_amenaza\\_frente\\_a\\_tsunami\\_para\\_Lima\\_y\\_Callao\\_2010.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CISMID/Estudio_Evaluacion_de_la_amenaza_frente_a_tsunami_para_Lima_y_Callao_2010.pdf)>



La preparación ante desastre sísmico y/o tsunami tienen por objetivo el fortalecimiento de capacidades en preparativos y recuperación temprana para de esta manera reducir el número de pérdidas debido al desastre<sup>5</sup>. Según los registros históricos, el callao ha soportado seis maremotos en los últimos 500 años.

El más devastador ocurrió en el año 1746, tras un terremoto de 8.6 grados. Diferentes crónicas relatan que solo el 4% de la población logró sobrevivir a las olas de 10 metros, el puerto principal de América Latina en el siglo XVIII había desaparecido<sup>6</sup>.

El presente trabajo se enfoca en la elaboración de rutas óptimas a tomar para la evacuación de la población en caso de emergencia por alerta de tsunami en el distrito La Punta, teniendo en cuenta las alternativas de escape por movilidad o localización en zonas seguras en edificios con la altura necesaria para evitar contacto con la inundación.

#### **OBJETIVO GENERAL:**

Estructurar un plan de evacuación en la provincia La Punta en caso de emergencia por tsunami usando métodos de optimización con varias funciones objetivos.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Describir conceptos relacionados a los desastres naturales, un panorama de probabilidad y consecuencias en el Perú de posibles tsunamis en la costa y presentar modelos teóricos aplicados a la estimación de tiempos, obtención de la ruta más óptima.
- Determinar y mostrar datos demográficos de la población en el distrito La Punta, proyectos actuales y realizados, límites de zonas seguras y centros de resguardo en caso de emergencia.
- Realizar un diagnóstico de la situación actual del Plan tsunami La Punta, identificando oportunidades de mejora en el plan de acción.
- Obtener rutas a utilizar desde distintos puntos de referencia en el distrito La Punta para poder evacuar en caso de emergencia de tsunami para disminuir el tiempo de traslado.
- Contrastar resultados finales de escenarios propuestos junto con un análisis sobre la diferencia de resultados entre estos y mostrar principales palancas que mueven las conclusiones.
- Presentar propuestas de mejora y recomendaciones para evitar mayores pérdidas en caso de tsunami; así como, oportunidades para mejorar los resultados.

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI 2011). *Manual de Estimación del riesgo ante Inundaciones Fluviales. Perú.*

<sup>6</sup> Perú, Municipalidad de La Punta. *Plan Tsunami – La Punta.* Disponible desde internet < <http://www.munilapunta.gob.pe/portalTransparencia/documentos/file457.pdf> >



## PUNTOS A TRATAR:

### a. Marco Teórico.

Se detallarán los principales conceptos teóricos del problema de obtención de la ruta más corta. Se revisará modelos que detallan factores involucrados en el tema de evacuación en caso de emergencia. Asimismo, se detallará casos similares en otros trabajos de investigación y como resuelven la problemática.

### b. Descripción de la situación actual y plan de acción vigente.

Se describirá el plan de evacuación actual para la provincia La Punta, sus limitaciones y que zonas participan del plan. Además, se realizará un análisis de las posibles soluciones a las imprecisiones que se tienen ahora.

### c. Diagnóstico del plan actual y propuesta.

Se realizarán análisis sobre las medidas que se tienen ahora en caso de emergencia, se buscarán imprecisiones y se mostrarán los resultados de información faltante; así como, lo que la población busca durante esta situación.

### d. Desarrollo del modelo para el plan de acción.

Se describirán todos los temas relacionados a un modelo de optimización para llegar a los resultados de los cuales partirá el plan de evacuación, además se explicará cómo se simulará el proceso de evacuación por auto en el distrito La Punta, incluyendo los supuestos que la simulación implica.

### e. Resultados.

Se detallarán las rutas óptimas para la evacuación dependiendo de la ubicación inicial al momento de la alerta de tsunami, además se mostrarán los resultados de la simulación de evacuación del distrito y haciendo un análisis de los datos encontrados.

### e. Conclusiones y recomendaciones.

*Máximo: 100 páginas*

  
\_\_\_\_\_  
ASESOR



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1 MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Concepto de tsunami y el cinturón de fuego .....	3
1.2. Definición de desastre y riesgo .....	4
1.2.1. Desastre .....	4
1.2.2. Ecuación del riesgo .....	4
1.3. Matriz de planeamiento estratégico cuantitativo .....	6
1.4. Modelo de redes – Problema de la ruta más corta .....	7
1.4.1. Concepto .....	7
1.4.2. Notación .....	8
1.4.3. Modelo ruta más corta .....	11
1.5. Análisis de flujo vehicular – Modelos .....	12
1.5.1. Modelos de tráfico vehicular .....	12
1.5.2. Descripción de modelos .....	13
1.5.3. Variables principales .....	13
1.6. Herramientas para simulación del modelo .....	15
1.6.1. Simulación .....	15
1.6.2. Supuestos .....	18
1.6.3. Software .....	18
1.7. Estudio de casos .....	19
1.7.1. Optimización de rutas de evacuación a partir del control del tráfico ...	20
Capítulo 2 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PLAN DE ACCIÓN VIGENTE .....	25
2.1. Descripción e historia del distrito La Punta .....	25
2.1.1. Localización y reseña histórica .....	25
2.1.2. Aspecto Sociodemográfico .....	28
2.1.3. Aspecto Económico .....	29
2.1.4. Estructura Urbana .....	31
2.1.5. Población con discapacidad .....	35
2.1.6. Registro Nacional de La Punta .....	35
2.2. Riesgo de tsunami en La Punta .....	36
2.2.1. Amenaza de tsunami .....	37
2.2.2. Vulnerabilidad ante un tsunami .....	38
2.2.3. Peligro de Tsunami en el Área Metropolitana de Lima y Callao .....	41
2.3. Plan en caso de emergencia por Tsunami en La Punta .....	42
2.3.1. Evacuación a zonas no inundables .....	43



2.3.2. Ubicaciones de refugio en caso de emergencia.....	44
Capítulo 3 DIAGNÓSTICO DEL PLAN ACTUAL Y PROPUESTA.....	47
3.1. Revisión del plan actual de la municipalidad.....	47
3.2. Planeamiento contramedidas .....	48
Capítulo 4 DESARROLLO DEL MODELO PARA EL PLAN DE ACCIÓN .....	51
4.1. Presentación de los escenarios del modelo.....	51
4.1.1. Descripción del escenario con movimiento peatonal.....	51
4.1.2. Descripción del escenario con bajo movimiento .....	51
4.2. Supuestos del problema .....	52
4.3. Datos de entrada .....	53
4.3.1. Distancias.....	53
4.3.2. Población.....	56
4.3.3. Tráfico vehicular .....	59
4.3.4. Tiempos de recorrido entre nodos .....	61
4.4. Obtención de las rutas óptimas.....	64
4.4.1. Justificación del modelo.....	64
4.4.2. Explicación de los componentes del modelo .....	64
4.4.3. Modelo en el lenguaje AMPL .....	68
4.5. Descripción del modelo de simulación .....	70
Capítulo 5 RESULTADOS .....	75
5.1. Rutas de evacuación .....	75
5.2. Simulación de la evacuación del distrito La Punta .....	78
Capítulo 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
6.1. Conclusiones .....	83
6.2. Recomendaciones.....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	87

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1: Formación de un tsunami.....	3
Ilustración 1.2: Ejemplo gráfico operación triple en el algoritmo de Floyd .....	9
Ilustración 1.3 Algoritmo Bellman-Ford por número de saltos (h).....	10
Ilustración 1.4: Distribución de Poisson .....	14
Ilustración 2.1: Mapa de la localización de La Punta.....	25
Ilustración 2.2: Crecimiento de la población de La Punta.....	28
Ilustración 2.3: Distribución en edades de la población de La Punta.....	29
Ilustración 2.4: Distribución de la población ocupada en La Punta.....	30
Ilustración 2.5: Distribución de viviendas por número de pisos .....	34
Ilustración 2.6: Distribución de viviendas por material de construcción .....	34
Ilustración 2.7: Zonas de inundación y rutas de evacuación .....	38
Ilustración 2.8: Aplicativo MGP Tsunamis .....	44
Ilustración 2.9: Edificios de refugio en caso de emergencia.....	45
Ilustración 3.1: Factores relevantes en la evacuación fuera del distrito.....	47
Ilustración 3.2: Factores relevantes en la evacuación dentro del distrito.....	48
Ilustración 3.3: Mejoras tras inclinación por resultados .....	50
Ilustración 4.1: Nodos a trabajar en el modelo de optimización.....	54
Ilustración 4.2: Tráfico peatonal en La Punta .....	56
Ilustración 4.3 Capa de manzanas ArcGis .....	57
Ilustración 4.4: Tráfico vehicular en La Punta .....	59
Ilustración 4.5 Acumulación de tiempos en la ruta .....	65
Ilustración 4.6 Balance de conservación.....	66
Ilustración 4.7 Cada nodo inicial solo tiene salidas .....	67
Ilustración 4.8 Solo se llega por un camino.....	68
Ilustración 4.9 Sets de uso en el AMPL .....	69
Ilustración 4.10 Modelo en AMPL .....	70
Ilustración 4.11 Entrada de entidades al sistema.....	71
Ilustración 4.12 Ruta óptima en simulación.....	72
Ilustración 4.13 Lógica de avance.....	74
Ilustración 4.14 Salida del sistema.....	74
Ilustración 5.1 Rutas de evacuación, movimiento peatonal regular .....	77
Ilustración 5.2 Rutas de evacuación, bajo movimiento peatonal .....	77
Ilustración 5.3 Evacuación día vs noche .....	78
Ilustración 5.4 Evacuación con dos tiempos de reacción en la noche .....	79

Ilustración 5.5 Tiempo en el sistema con tiempo reacción mayor.....	80
Ilustración 5.6 Tiempo en el sistema con tiempo reacción menor .....	81



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matriz de planeamiento estratégico cuantitativo .....	6
Tabla 1.2 Ejemplo de matriz de planeamiento .....	7
Tabla 1.3 Evacuación óptima caso Beijing .....	23
Tabla 2.1 Acontecimientos históricos en La Punta .....	27
Tabla 2.2 Distribución de niveles socioeconómicos .....	31
Tabla 2.3 Variables del grado de consolidación urbana .....	31
Tabla 2.4 Población con impedimento según tipo de discapacidad.....	35
Tabla 2.5 Desastres de Tsunamis históricos en La Punta.....	39
Tabla 2.6 Máxima altura y tiempo de arribo de la primera ola .....	42
Tabla 2.7 Lista de edificios refugio en caso de emergencia .....	46
Tabla 3.1 Matriz Planeación Estratégica Cuantitativa .....	49
Tabla 4.1 Distancias entre nodos (km).....	55
Tabla 4.2 Flujo promedio por nodo .....	58
Tabla 4.3 Velocidades entre nodos con movimiento peatonal (Km/h) .....	60
Tabla 4.4 Tiempos entre nodos, movimiento peatonal regular (minutos) .....	62
Tabla 4.5 Tiempos entre nodos, bajo movimiento peatonal (minuto) .....	63
Tabla 5.1 Rutas de evacuación por nodo.....	76
Tabla 5.2 Instante máximo de salida por nodo para evacuar el distrito .....	82

# INTRODUCCIÓN

Un desastre de origen natural es aquel evento catastrófico causado por la naturaleza o procesos naturales de la tierra; los científicos y geólogos trabajan para poder adelantarse a la realización de catástrofes y evitar el mayor daño posible. La Tierra se encuentra en constante movimiento, en total 14 placas tectónicas cubren el globo terráqueo que al no poder movilizarse de manera simple o sin obstáculos provocan lo que se conoce como sismo. El anillo o cinturón de fuego del Pacífico es una de las zonas más destructivas del planeta, conformado por las costas del océano Pacífico de varios países entre los que se encuentra el Perú, dejando a cada una de ellas bajo un grave peligro. Tsunami son una serie de ondas marinas de gran tamaño generadas por un movimiento sísmico superficial bajo el fondo marino, siendo estas no dañinas en alta mar, pero destructivas para las regiones limitantes con la costa.

En el Perú las zonas más peligrosas en caso de un tsunami son Callao, Chorrillos, Costa Verde y La Punta, siendo este último distrito de la provincia Callao el de mayor índice de vulnerabilidad en el país. Distintas crónicas relatan cómo solo el 4% de la población en La Punta logró sobrevivir a un terremoto de 8.6 grados, siendo a la vez desaparecido el principal puerto de América Latina en 1746. Hoy en día, un terremoto de 8.5 grados provocaría una inundación de 12 a 15 metros de profundidad con olas de hasta 10 metros de altura, alcanzando las costas en 15 minutos.

A partir de lo anterior, el presente trabajo de investigación, desarrolla el diagnóstico y mejora de un plan de evacuación para el distrito La Punta en caso de emergencia por tsunami. Para ello se desarrollará un modelo de simulación el cual tendrá como objetivo reconocer rutas óptimas de evacuación en auto, tratando de incrementar el volumen de personas fuera de una zona de peligro.

En el primer capítulo se presenta el marco teórico que será utilizado a lo largo de todo el trabajo. Este detalla, teoría y ejemplos, uso de metodologías de diagnóstico de problemas y herramientas a utilizar en el modelo de simulación.

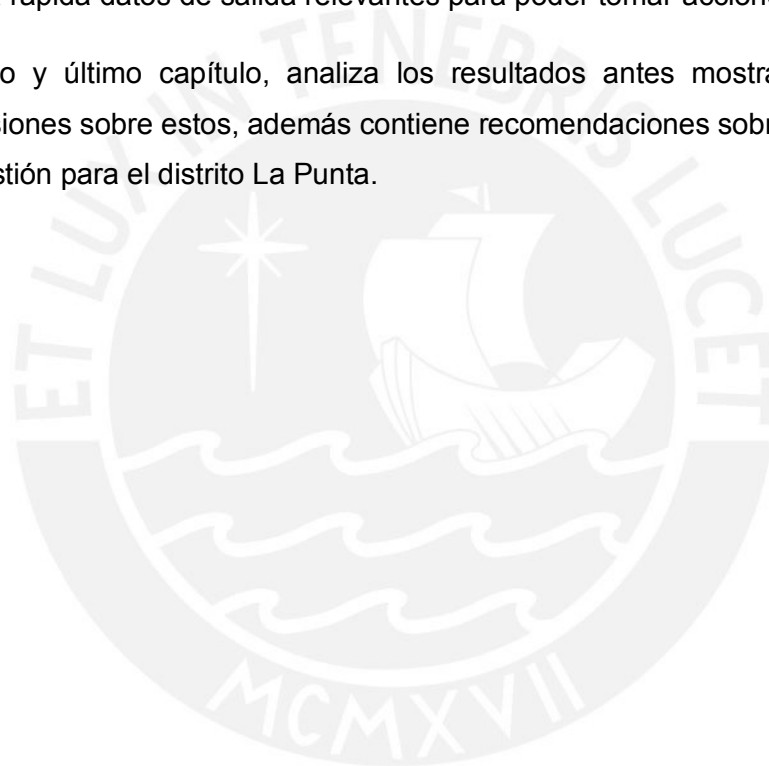
El segundo capítulo desarrolla la descripción de la zona afectada, en este caso el distrito La Punta, se investiga sobre datos que servirán como entrada para el modelo de simulación como el nivel socio económico de la zona, el volumen de población, edificios identificados por la municipalidad como seguro de caso de tsunami, etc.

El tercer capítulo realiza un análisis sobre las medidas que se tienen ahora en caso de emergencia por tsunami, buscando imprecisiones y mostrando resultados de información faltante.

El cuarto capítulo identifica los datos de entrada relevantes para el modelo de manera que pueda obtener soluciones aplicables a la realidad. Así mismo, contiene la explicación del modelo de simulación y la metodología de identificación de rutas óptimas para la evacuación.

El quinto capítulo muestra los resultados del modelo (rutas óptimas y simulación), presentando distintos cuadros comparativos e imágenes para poder identificar de manera rápida datos de salida relevantes para poder tomar acciones.

El sexto y último capítulo, analiza los resultados antes mostrados y transmite conclusiones sobre estos, además contiene recomendaciones sobre la problemática en cuestión para el distrito La Punta.



# Capítulo 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1. Concepto de tsunami y el cinturón de fuego

Según el Centro Nacional de Alerta de Tsunami (2010), este fenómeno marítimo consiste en una sucesión de olas causadas por sismos de origen tectónico, erupciones volcánicas submarinas, derrumbes submarinos o por la caída de un meteorito en el mar. Puede producir olas de hasta 30 metros; sin embargo, debido a la profundidad del litoral costero, las olas de un posible tsunami no deberían ser de más de 7 u 8 metros de altura en el Callao, pero alcanzando su punto máximo en el inicio del litoral, distrito La Punta, con 10 metros de altura.

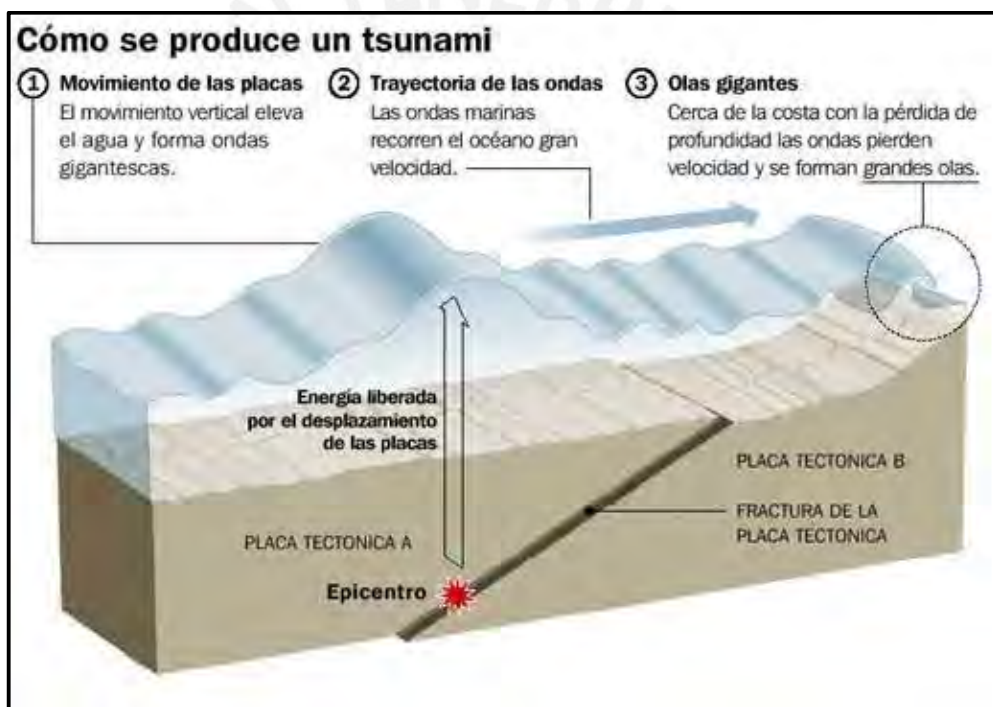


Ilustración 1.1: Formación de un tsunami

Fuente: Areaciencias geología

El concepto de este fenómeno natural es bien descrito por la situación actual de Japón ya que, es uno de los países con mayor número de tsunamis, esto tiene mucho que ver con la ubicación geográfica del país en el planeta. En primer lugar, es uno de los lugares en donde hay más volcanes, lo cual está directamente relacionado con los movimientos sísmicos de la zona. En segundo lugar, las más de 3000 islas e

islotos de Japón se sitúan en una franja dentro del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, este efecto cruzado hace que el país del sol naciente tenga más de 5000 movimientos sísmicos al año, siendo percibidos por el hombre unos 1000 al año. El cinturón de fuego del pacifico se trata de un área situada en las costas del océano Pacifico que cuenta con algunas de las zonas de subducción de placas más importantes del mundo, subducción quiere decir cuando una de las placas tectónicas de las que está compuesta la litosfera se hunde debajo de otra, la velocidad promedio aproximada es de 2,5 cm al año. (Yoshii, 1979)

## **1.2. Definición de desastre y riesgo**

### **1.2.1. Desastre**

Un desastre o una catástrofe es un suceso inesperado y extraordinario que resulta como un suceso fuera de lo común y quita el orden convencional, atenta sobre la vida y salud de los seres vivos, genera la pérdida de bienes comunes y daña severamente el medio ambiente (Cardona, 1993). Según Rodríguez (2011), un desastre comprende “la compleja interrelación entre eventos físicos potencialmente dañinos y la vulnerabilidad de la sociedad, su infraestructura, economía y medio ambiente” (p.12). Un desastre se puede entender como la “la materialización de un riesgo” a veces se utilizan los términos peligro y desastre indistintamente, pero el primero se refiere a una destrucción potencial, mientras que el segundo trata de una destrucción ocurrida. El desastre implica el conjunto de daños que resultan del peligro (Aneas de Castro, 2000, p.1).

El peligro o la amenaza es la probabilidad de exceder el nivel ocurrencia de un evento con cierta intensidad, en cierto sitio, y en cierto periodo de tiempo. Por otro lado, el riesgo o el daño es la probabilidad de exceder el nivel de las consecuencias económicas y sociales en cierto sitio y en cierto periodo de tiempo. La diferencia está en que el peligro es la probabilidad de que ocurra cierto evento inesperado mientras que el riesgo es la probabilidad que se manifiesten ciertas consecuencias, a raíz del evento inesperado (Cardona, 1993).

### **1.2.2. Ecuación del riesgo**

Esta información puede llegar a ser de mucha utilidad, en especial cuando se desea identificar las razones por la cual una zona llega a tener un alto nivel de riesgo; es



decir, permite tener un alto alcance para la identificación de factores que afectan a la zona y como prevenirlos. En el presente trabajo ayudará a identificar cuáles son los factores que intervienen tanto en la amenaza como la vulnerabilidad del distrito La Punta.

Los factores que incrementan el riesgo frente a los fenómenos naturales son:

- La probabilidad de ocurrencia de diferentes tipos de fenómenos, de intensidades variables.
- Los elementos expuestos al fenómeno.
- La vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Por lo general, el nivel de riesgo se mide cualitativamente ya que depende de ciertos factores que difícilmente se miden de manera exacta. Sin embargo, Cardona (1993) propone la siguiente ecuación para evaluar el riesgo:

$$Rt = (E)(RS) = (E)(H.V)$$

Dónde:

**Rt:** Riesgo total: número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica causados por un desastre natural. En otras palabras, es el producto del riesgo específico y los elementos bajo riesgo.

**E:** Elementos bajo riesgo: la población, las construcciones, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura en un área específica.

**RS:** Riesgo específico: grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento determinado. Está expresado en función de la amenaza y la vulnerabilidad.

**H:** Amenaza/peligro: probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante un período específico de tiempo y en un lugar determinado.

**V:** Vulnerabilidad: es el grado de pérdida respecto a la posible ocurrencia de un evento desastroso. Se representa en una escala de 0 sin daño o 1 que significa tipo daño significativo sin pérdida total.

### 1.3. Matriz de planeamiento estratégico cuantitativo

Para el desarrollo del presente trabajo se analizará el caso con una matriz de priorización que ayuda a comparar racionalmente entre varias opciones o soluciones, en base a ciertos criterios.

Según Leebov (1993), la matriz muestra las opciones a priorizar en las columnas y los criterios para tomar las decisiones en las filas; además en una columna se coloca la ponderación por criterio o un peso relativo, de modo que la suma de porcentajes sea igual a uno.

Tabla 1.1 Matriz de planeamiento estratégico cuantitativo

	OPCIONES			
Ponderación	1	2	3	4
Criterio 1				
Criterio 2				
Criterio 3				
Criterio 4				
TOTALES				

Fuente: Leebov, Wendy, Ersoz, Clara (1993)

De esta manera se puede escoger entre las opciones que tengamos a disposición la más eficaz, ataque mejor los riesgos, flexible y posible en respuesta a la problemática que se presente.

En la tabla 1.2 se muestra un ejemplo de matriz de planeamiento estratégico aplicada a la elección de programas de formación para llevar a cabo un negocio.

Tabla 1.2 Ejemplo de matriz de planeamiento

		Estrategias					
		Diseño de autopartes	BPO	Energía mareomotriz	Manejo de residuos sólidos	Diseño de paquetes turísticos	Procesamiento de frutas silvestres
Factores	Peso	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Intensidad tecnológica	1	5	4	3	2	5	2
Valor agregado	1	2	5	3	2	5	4
Capacidades institucionales	1	2	1	2	4	3	2
Documentos de Política pública	1	3	4	1	5	1	5
Socios estratégicos	1	4	2	5	2	2	4
		63%	55%	43%	40%	31%	24%

Fuente: Elaboración propia, Universidad del Valle 2010

En este caso en el dato de valor se ha colocado con la siguiente relación donde 1 es inexistente, 2 es insuficiente, 3 es regular, 4 es bueno y 5 es excelente. Dado los resultados del ejemplo, se debería tomar el diseño de autopartes como programa a desarrollar ya que, presenta mejores resultados en los factores propuestos a tomar en cuenta.

#### 1.4. Modelo de redes – Problema de la ruta más corta

En el desarrollo de este trabajo de investigación y en especial en el capítulo 3 se describe la necesidad de optimización de rutas de evacuación para obtener mejores resultados, por lo descrito se desarrolla un modelo de redes que resuelva las necesidades del problema planteado en esta tesis.

En esta sección se presentará una reseña del problema de la ruta más corta, la explicación de forma y distintas notaciones empleadas; así como, algunos modelos matemáticos de programación lineal para formular la ruta más óptima.

##### 1.4.1. Concepto

Se denomina problema de la ruta más corta, a todo problema de red de transporte, que incluye un juego de nodos conectados donde solo un nodo es considerado como

el origen y solo un nodo es considerado como el nodo destino. Según Hamdy A. Taha (2010), se trata de encontrar la ruta de menor distancia, o costo, entre el punto de partida o nodo inicial al destino o nodo terminal.

Otra definición según F. Hiller y G. Lieberman (2012), el problema trata de una red conexa y no dirigida con dos nodos especiales llamados origen y destino. A cada ligadura (arco no dirigido) se asocia una distancia no negativa. El objetivo es encontrar la ruta más corta, trayectoria mínima distancia total, del origen al destino. La esencia del procedimiento es que analiza toda la red a partir del origen; identifica de manera sucesiva la ruta más corta a cada uno de los nodos en orden ascendente de sus distancias (más cortas), desde el origen; el problema queda resuelto en el momento de llegar al nodo destino.

Por otro lado, se tiene la descripción del modelo como una red en la cual cada arco tiene asociado un número, el cual se interpreta como la distancia (o costo o tiempo) de un nodo inicial a otro. Una ruta o camino entre nodos es cualquier secuencia de arcos que los conecte. La meta consiste en encontrar rutas más cortas (por costo o rapidez) desde un nodo específico hasta cada uno de los demás nodos de la red. (Eppen G. D. y González, 2000).

Se tiene las siguientes tres categorías de aplicaciones:

- Minimizar la distancia total recorrida.
- Minimizar el costo total de una secuencia de actividades.
- Minimizar el tiempo total de una secuencia de actividades.

### **1.4.2. Notación**

En esta sección se presentará una definición formal de la notación empleada en el algoritmo de Floyd, algoritmo que determina la distancia entre dos nodos cualesquiera en la red, con base en la notación empleada por Hamdy A. Taha (2010). Además, se mostrará la definición del algoritmo Bellman-Ford con notación empleada por William Stallings (2011).

En primer lugar, se define al algoritmo de Floyd como la red con número  $n$  de nodos como una matriz cuadrada con  $n$  filas y  $n$  columnas. La entrada  $(i,j)$  de la matriz da la

distancia  $d_{ij}$  del nodo  $i$  al nodo  $j$ , la cual es finita si  $i$  está vinculado directamente a  $j$ , e infinita en caso contrario.

La idea del algoritmo de Floyd es simple. Por ejemplo, para el caso de tres nodos  $i$ ,  $j$  y  $k$  con las distancias de conexión que se muestran en sus tres arcos, es más corto llegar de  $j$  a  $i$  pasando por  $k$  si

$$d_{ik} + d_{kj} < d_{ij}$$

En este caso es óptimo reemplazar la ruta directa del nodo  $i$  al nodo  $j$  con la ruta indirecta nodo  $i$ , luego  $j$  y último  $k$ .

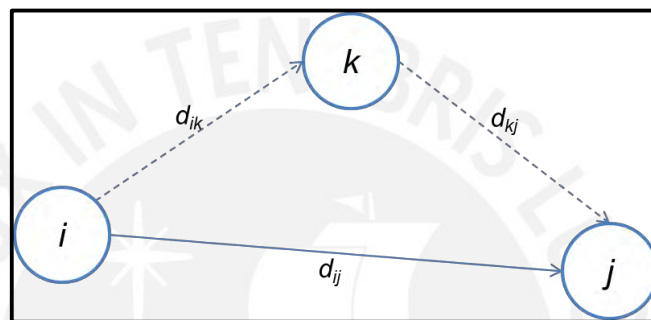


Ilustración 1.2: Ejemplo gráfico operación triple en el algoritmo de Floyd

Elaboración Propia

Para aplicar a la matriz de distancias, es por medio de los siguientes pasos:

- Se define una matriz de distancias de inicio  $D_0$  y la matriz de secuencia de nodos  $S_0$  (todos los elementos en las diagonales están bloqueados).
- Se define una fila y columna  $k$  como fila y columna pivote. Se aplica la operación triple a cada elemento  $d_{ij}$  en  $D_{k-1}$ , para todas las  $i$  y  $j$ , si se satisface la condición entonces se realiza los siguientes cambios: Se crea  $D_k$  reemplazando  $d_{ij}$  en  $D_{k-1}$  con  $d_{ik} + d_{kj}$  y se crea  $S_k$  reemplazando  $s_{ij}$  en  $S_{k-1}$  con  $k$ . Se establece  $k=k+1$ . Si  $k=n+1$ , se para la secuencia, caso contrario se repite el paso  $k$ .

Después de  $n$  pasos, se puede visualizar la ruta más corta entre los nodos  $i$  y  $j$  a partir de las matrices  $D_n$  y  $S_n$ . Donde la matriz  $D$  muestra la ruta más corta entre los nodos en estudio y la matriz  $S$  enseña el o los nodos intermedios.

Según William Stallings (2011), en el algoritmo de Bellman-Ford se puede enunciar así: encontrar los caminos más cortos desde un nodo origen dado con la condición de que éstos contengan a lo sumo un enlace; a continuación, encontrar los caminos más cortos con la condición de que contengan dos enlaces como máximo, y así sucesivamente.

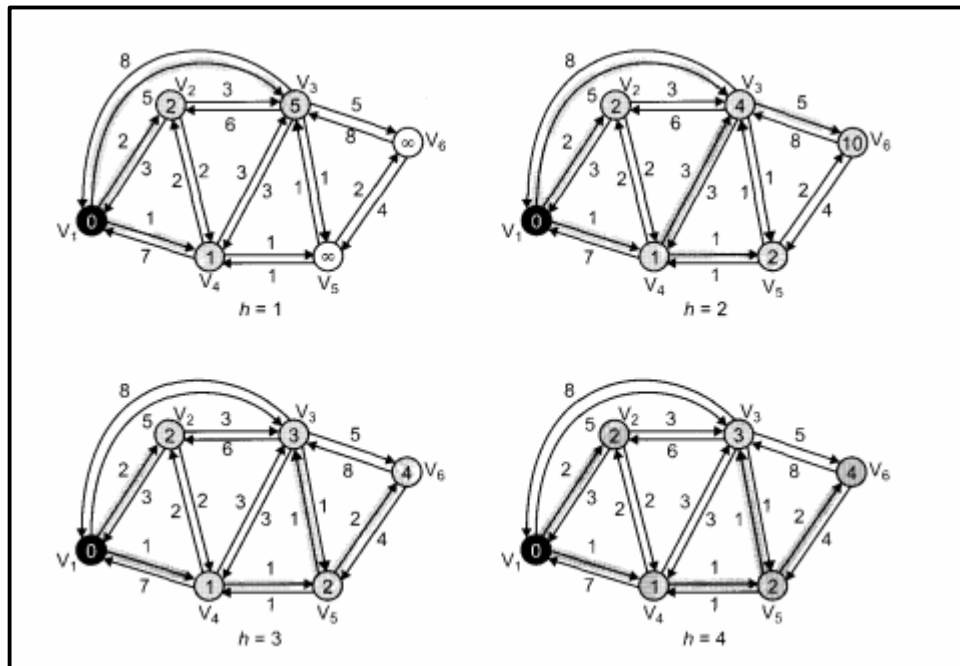


Ilustración 1.3 Algoritmo Bellman-Ford por número de saltos (h)

Fuente: William Stallings (2011)

$s$  = nodo origen.

$w(i,j)$  = costo del enlace desde el nodo  $i$  al nodo  $j$ ;  $w(i,i) = 0$ ,  $w(i,j) = \infty$  si los dos nodos no se encuentran directamente conectados,  $w(i,j) \geq 0$  si los dos nodos están directamente conectados.

$h$  = número máximo de enlaces en un camino en el paso actual del algoritmo.

$L_h(n)$  = costo del camino de mínimo costo desde el nodo  $s$  hasta el nodo  $n$  con la condición de no más de  $h$  enlaces.

Conectar  $n$  con el nodo predecesor  $j$  de mínimo costo y eliminar todas las conexiones de  $n$  con un nodo predecesor diferente obtenido en una iteración anterior. El camino entre  $s$  y  $n$  finaliza con el enlace de  $j$  a  $n$ .

Para la iteración del paso 2 con  $h = K$ , y para cada nodo de destino  $n$ , el algoritmo compara las rutas potenciales de longitud  $K+1$  desde  $s$  hasta  $n$  con el camino existente al final de la iteración anterior. Si el camino más corto previo tiene un costo inferior, se guarda; en caso contrario, se define un nuevo camino de longitud  $K+1$  entre  $s$  y  $n$ , que consiste en una ruta de longitud  $K$  entre  $s$  y algún nodo  $j$  más un salto directo desde el nodo  $j$  hasta el nodo  $n$ . En este caso, el camino de  $s$  a  $j$  usado es la ruta de  $K$  saltos para  $j$  definida en la iteración anterior.

Encada paso se determinan las rutas de mínimo costo con un número máximo de enlaces igual a  $h$ . Tras la última iteración se conoce el camino de mínimo costo a cada nodo y el costo asociado. El mismo procedimiento se puede usar tomando como nodo origen el nodo 2, y así sucesivamente.

Una comparación interesante entre los dos algoritmos hace referencia a la información necesaria a utilizar. En el caso del algoritmo de Floyd toma información de toda la topología de la red; es decir, cada nodo debe conocer todos los enlaces y los costos asociados a ellos, así los nodos intercambian información entre todos. El algoritmo de Bellman-Ford se basa solo en la información dada por sus vecinos y en el conocimiento del costo de las líneas asociadas, para actualizar los caminos y los costos (Bellman-Ford punto a todos y Floyd todos a todos).

En general, en la evaluación de las ventajas relativas de ambos algoritmos se debe considerar el tiempo de procesamiento de los algoritmos y la cantidad de información a obtener del resto de nodos de la red o de Internet, dependiendo dicha evaluación de la implementación específica.

### **1.4.3. Modelo ruta más corta**

En esta parte se mostrará el modelo básico de programación y se explicará cada restricción para el algoritmo de Floyd. Este modelo está basado en la publicación de Hamdy A. Taha (2010).

$X_{ij}$  = Cantidad de flujo en el arco  $(i,j)$ , donde 1 si el arco está en la ruta más corta y 0 lo contrario

$C_{ij}$  = Longitud del arco  $(i,j)$

La función objetivo del programa lineal es:

$$\text{Min} \sum_{\substack{\text{todos los arcos definidos} \\ (i,j)}} C_{ij}X_{ij}$$

Las restricciones representan la ecuación de la conservación del flujo en cada nodo:

$$\text{Flujo de entrada total} = \text{Flujo de salida total}$$

Matemáticamente, esto se traduce así para el nodo  $j$

$$\left( \begin{array}{c} \text{Entrada externa} \\ \text{al nodo } j \end{array} \right) + \sum_{\text{Arcos } (i,j)} X_{ij} = \left( \begin{array}{c} \text{Salida externa} \\ \text{del nodo } j \end{array} \right) + \sum_{\text{Arcos } (j,k)} X_{jk}$$

Para la ecuación de Bellamn-Ford general basada en la publicación de William Stallings (2011) se tiene lo siguiente:

$$L_0(n) = \infty, \text{ para todo } n \neq s$$

$$L_h(s) = 0, \text{ para todo } h$$

$$L_{h+1}(n) = \text{Min} \{ L_h(j) + w(j,n) \}, \text{ para } n \neq s \text{ y } h \geq 0$$

## 1.5. Análisis de flujo vehicular – Modelos

### 1.5.1. Modelos de tráfico vehicular

**Macroscópicos:** Un modelo macroscópico describe el comportamiento general de un fenómeno del mundo. Las variables que se estudian quedan en términos de promedio y se puede observar que, para describir un modelo macroscópico, se debe sustentar en los modelos microscópicos para poder hallar los valores promedios de las variables, se usa métodos de estimación estadística.



**Microscópicos:** Es usada para estudiar la relación entre el comportamiento microscópico y un fenómeno macroscópico, así se determinan diferentes comportamientos de ciertos fenómenos macroscópicos, como el tráfico vehicular, comportamiento de la población basándose en comportamiento individuales.

### 1.5.2. Descripción de modelos

A continuación, se describirá las posibles variables del tráfico que pueden ser interesantes observar y aplicar en el simulador. Los modelos de tráfico han sido construidos usando analogías con flujo de fluidos. Esto asume que cada camino en una red puede ser representado por un enlace que tiene una cierta capacidad de flujo.

Los modelos antiguos asumen que la demanda de tráfico entre origen y un destino mantiene un valor constante, lo cual no se cumple en la mayoría de los casos, la demanda de la red es dinámica y no existe un estado de equilibrio.

La simulación microscópica de tráfico resuelve problemas de movimiento de cada vehículo a través de la red simulado de manera independiente, donde cada vehículo es independiente y llega a un comportamiento individual dependiendo de los factores por los cuales pasa como por el tiempo.

Según Rodriguez Daniel y Octavio German (2002), se destaca entre los modelos existentes usados para conocer la distribución de los vehículos es: Lineal, Logarítmica y Exponencial.

### 1.5.3. Variables principales

Velocidad ( $v$ ): Espacio recorrido por un vehículo en un tramo de tiempo específico.

Densidad ( $k$ ): Cantidad de vehículos que se concentran en un lugar.

Flujo ( $q$ ): Cantidad de vehículos que pasan por un determinado sitio y en un intervalo de tiempo. El flujo se expresa en función de la densidad y el tiempo  $q=v*k$

Los vehículos no viajan a intervalos de tiempos uniformes, para poder aproximarlos con un modelo se toman en cuenta fenómenos del tráfico para tender a una distribución de probabilidad.

El caso de tráfico vehicular sigue una distribución de Poisson ya que, existe independencia entre el intervalo de tiempo, el sitio de observación y el número de vehículos.

Esta es la fórmula para hallar cuantos vehículos serán analizados en el flujo en un tiempo determinado:

$$P(x) = P(X=x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!} \text{ Para } x=0, 1, 2, \dots$$

Donde  $X$  = el número de llegadas de vehículos a un punto

$P(x)$  = probabilidad que lleguen  $x$  vehículos al punto durante el intervalo  $t$ .

$m$  = número de vehículos que se espera lleguen durante el intervalo  $t$ .

$m$  está en función de la tasa de flujo de llegada  $q$ :  $m=qt$

La función de Poisson queda de la siguiente manera:

$$P(x) = \frac{(qt)^x e^{-qt}}{x!}$$

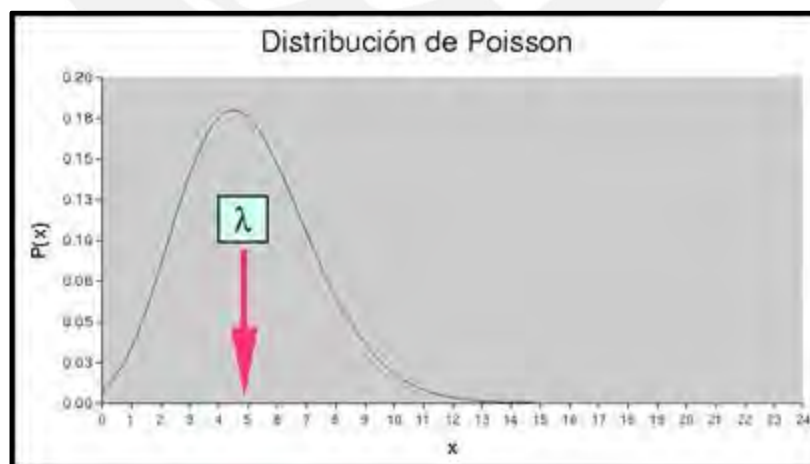


Ilustración 1.4: Distribución de Poisson

Fuente: Conceptos Estadísticos Básicos

## **1.6. Herramientas para simulación del modelo**

Identificado el problema y causa que afecta al caso planteado, se requiere utilizar un conjunto de herramientas que brinden solución a estos inconvenientes. En este trabajo, la mejora se basará en plantear rutas de evacuación, los cuales serán puestos a prueba por medio de la simulación de eventos discretos. En esta sección se describirá todos los conceptos e instrumentos que se involucran para la fase de simulación.

### **1.6.1. Simulación**

Se conoce como el método para conseguir una descripción parecida a un sistema o proceso para representar su comportamiento a través del tiempo. Se emplea un modelo que es usada como el sistema y las actividades que se encuentran involucradas en él.

Según Azarang (1998), existen distintas ventajas y desventajas de una simulación:

Ventajas:

- Una vez construido, el modelo es flexible y sufrir cambios para poder analizar distintos escenarios.
- Usualmente es más barato mejorar un sistema por medio de la simulación, en lugar de aplicarlo directamente en un sistema real.
- Es sencillo comprender y visualizar los métodos de simulación que los métodos puramente analíticos.
- Los modelos de simulación son capaces de analizar sistemas de mayor complejidad o con mayor detalle, mientras que los métodos analíticos se desarrollan casi siempre para sistemas relativamente sencillos donde no hay gran número de suposiciones.
- En algunos casos, la simulación es el único medio para lograr una solución.

Desventajas:

- Los modelos de simulación en una computadora son costosos y necesitan mucho tiempo invertido en su desarrollo y validez.
- Para poder encontrar soluciones óptimas es necesario tener gran cantidad de corridas computacionales, lo cual repercute en altos costos.
- Es difícil aceptar los modelos de simulación.

- Normalmente los modelos de simulación no dan soluciones óptimas.
- Existe la posibilidad de tener un falso sentido de seguridad tras una solución de un modelo de simulación.

El modelo desarrollado para la simulación, es analizado para observar problemas que presenta el sistema, de esta manera plantear soluciones a esos problemas.

a) Desarrollo de un modelo de simulación

Para la obtención y desarrollo de un modelo de simulación se sigue la siguiente metodología con los siguientes pasos;

- Definición del sistema: Todo estudio empieza por una descripción, esta viene dada por que exista una correcta identificación del objetivo, de las variables de decisión, las restricciones, la medida de efectividad y las variables no controlables y su comportamiento estadístico.
- Análisis del sistema: Describe las interacciones entre las variables de decisión, de tal suerte que se optimice la solución hacia el objetivo, sin olvidar las restricciones del sistema.
- Formulación del modelo: Codificación lógico-matemático que representa a las interacciones entre las variables a través del tiempo.
- Selección del lenguaje: Se debe utilizar el lenguaje que mejor se acomode al modelo. Hay lenguajes generales como BASIC, PASCAL o FORTRAN, hasta lenguajes más complejos como SIMAN.
- Codificación del modelo: Consiste en la reproducción de instrucciones o código computacional necesario para lograr que el modelo pueda ser ejecutado en algún tipo de computadora.
- Validación del modelo: Proceso que busca conocer la habilidad que tiene un modelo para representar la realidad. Es la comparación estadística entre los resultados del modelo y los resultados reales.
- Experimentación: Aquí se visualiza las diversas alternativas que pueden ser evaluadas, seleccionando las variables de entrada y sus diferentes niveles con la finalidad de optimizar las variables de salida del sistema real.
- Implantación: Lleva al sistema real la mejor alternativa, revisando procesos de simulación para validar la respuesta que generará en el sistema.

- Monitoreo y control: no se debe olvidar que los sistemas son dinámicos y con el transcurso del tiempo se requerirá modificar el modelo de simulación, ante nuevos cambios del sistema real y su entorno, de esta manera se permitirá que el modelo siga siendo una representación del sistema.

b) Tipos de simulación

Existen distintos modelos de simulación que puede clasificarse de acuerdo a ciertos criterios como:

- Estático vs Dinámico: Según Kelton (1998), si en el sistema a estudiar interviene la variable tiempo cambia la definición del mismo. Una simulación estática es cuando el tiempo no está involucrado directamente, ya que la representación del sistema en mención se realiza en un solo instante en particular, por otro lado, se describe a la simulación dinámica cuando el tiempo si es importante, debido a que el sistema presenta variaciones durante el transcurso del tiempo y es un modelo más operacional. Arena fue diseñado con ambas situaciones en mente.
- Determinístico vs Estocástico: Según Kelton (1998), describe a las variables de entrada, se dice que son determinísticas en caso los valores sean constantes y no sigan una ley probabilística, es decir, no son entradas random, en caso alguna variable siga una función de probabilidad se dice que estas son estocásticas.
- Continuo vs Discreto: Kelton (1998) describe que hay características que representan el estado de variables del sistema, estas pueden ser discretas, cuando dentro de su rango de valores puede ocurrir cambios solo en separados puntos de tiempo, en caso que las variables pueden tomar cualquier valor de un intervalo determinado y puede cambiar en cualquier momento a lo largo de la simulación se les dice continuas, de manera que no pueden ser medidas con exactitud debido a que su estado cambia continuamente en el tiempo. Arena está diseñado para usar continuas, discretas y modelos mixtos.

c) Generación de números y variables aleatorias

Para realizar un modelo de simulación es necesario generar una serie de números que representen la variabilidad de las actividades a través de funciones de densidad, para eventos discretos, y distribuciones de probabilidad.

En este trabajo varios datos de entrada son constantes y tienen definido su valor por estudios previos en la zona (descritos en el capítulo 2.1 y 4.3 como la población, edad, nivel socioeconómico, etc), mientras otros datos como el flujo vehicular (descrito en la sección 1.5) siguen una distribución de probabilidad.

### **1.6.2. Supuestos**

Se conoce a los supuestos como datos asumidos como cierto a efectos de la planificación del proyecto. En un sistema de simulación son una herramienta que permiten reducir la complejidad del mismo; sin embargo, se debe conocer que no deben ser muy pocos, ya que un modelo de lo contrario podría llegar a ser muy complejo para diseñar, tampoco deben ser demasiados, pues disminuyen el acercamiento con la realidad del sistema.

Consideraciones importantes:

- Deben considerarse un número adecuado de supuestos, no muchos pues se simplificaría demasiado el modelo, ni tampoco un número reducido de supuestos pues la complejidad del modelo no sería manejable.
- Los supuestos deben ser relevantes y deben estar alineados con el modelo que se está diseñando.
- Los supuestos no describen el funcionamiento del sistema ni enumeran sus componentes.

### **1.6.3. Software**

Rockwell Automation creó un software con múltiples herramientas que permiten realizar simulaciones de procesos, analizar datos y validar resultados a través de una computadora. Entre las herramientas tenemos:

- a) Arena

Este software es el más importante en este proceso pues provee un entorno de trabajo integrado para la construcción de modelos de simulación en una amplia

variedad de campos. Según Fábregas (2003), Arena integra todas las funciones que necesita el desarrollo de una simulación para ser exitosa (animaciones, análisis de entrada y salida de datos, y verificación del modelo). Este sistema utiliza el lenguaje SIMAN, de manera que puede crear modelos que simulan áreas específicas de los procesos.

#### *b) Input Analyzer*

Esta herramienta permite analizar la data que será utilizada en el modelo para poder encontrar su comportamiento y generar escenarios respecto a esto, según Fábregas (2003), el Input Analyzer puede ser de uso para determinar que distribución de probabilidad se ajusta a los datos de entrada; también para ajustar una distribución de los datos conocidos, para poder comparar funciones de distribución o de visualizar los efectos de cambios en los parámetros de una misma distribución.

#### *c) Process Analyzer*

El Procces Analyzer permite analizar, evaluar y validar diversos escenarios de un sistema, previa construcción, verificación y validación del modelo en términos de una o más variables o recursos de respuesta específica, según Fábregas (2003).

#### *d) Output Analyzer*

Según Fábregas (2003), esta herramienta permite realizar un análisis estadístico de los datos de salida mediante histogramas, gráficos de promedios, intervalos de confianza, correlogramas, etc.

Es necesario tener varias corridas para generar varios datos de salida, que especifican la extensión del archivo en el cual se desea guardar los datos y definiendo nombres de las variables que están siendo almacenada para una mejor identificación de estas al momento de realizar el análisis.

## **1.7. Estudio de casos**

Para esta sección se muestra un caso que tiene o plantea problemas parecidos al fin de este trabajo, se trata de simular la salida de las personas involucradas, es decir, tratan de estimar el volumen de personas que son posibles de evacuar al momento de la emergencia. El nombre de este artículo es: "*Comprehensive Optimization of*

*Emergency Evacuation Route and Departure Time under Traffic Control*" de Guo Li, Ying Zhou, and Mengqi Liu.

A continuación, se procederá a explicar las limitaciones, ventajas y resultados del estudio mencionado; así mismo, a partir de las conclusiones reforzar la idea y conclusiones descritas en las próximas secciones.

### **1.7.1. Optimización de rutas de evacuación a partir del control del tráfico**

Un modelo de optimización está basado en distintas suposiciones y parámetros definidos, según Guo Li, Ying Zhou y Mengqi Liu (2014) un modelo de evacuación de emergencia bajo el control de tráfico está definido en base a la ruta de evacuación y el tiempo de salida tomando en cuenta las siguientes premisas y suposiciones:

- El volumen del tráfico (número de vehículos) desde la fuente de evacuación que necesita salir al punto final conocido.
- El volumen del tráfico es 0 en el instante inicial in la red de rutas, es decir, independiente del tráfico que existe actualmente.
- Solo existe un flujo de tráfico de evacuación en la red durante el período de emergencia, también el volumen de tráfico está separado de un flujo de tráfico de rescate bajo el control de tráfico.

Se consideran como nodos a los puntos de intersección, fuentes de evacuación y nodos finales. Los arcos significan las distancias entre las intersecciones, la fuente de evacuación o punto final. Se asume que la evacuación sucede  $[0, T]$ , ahora dividimos en lapso de tiempo en  $K$  partes, donde cada una es un  $\Delta$ , entonces  $T = K \Delta$ . Los símbolos y variables son definidos como:

M: grupo de nodos fuente de evacuación en la red

N: grupo de nodos fin de evacuación en la red

m: nodo de la fuente de evacuación en la red, donde  $m \in M$

n: nodo de salida de evacuación en la red, donde  $n \in N$

a: sección en la red de evacuación donde  $a \in A$



p: intersección en la red de evacuación

$R_{mn}$ : grupo de rutas de evacuación entre la fuente m y al nodo final n

l: número de serie del periodo in cual el vehículo sale de la fuente de evacuación, donde  $l = 1, 2, \dots, K$

$l_s, l_e$ : período de inicio y fin,  $l_s=(l-1) \Delta, l_e= l_s+ \Delta$

k: número de serie del periodo in cual el vehículo corre en las rutas de la red, donde  $k = 1, 2, \dots, K$

$k_s, k_e$ : período de inicio y fin,  $k_s=(k-1) \Delta, k_e= k_s+ \Delta$

$D_{mn}$ : demanda total de evacuación (número de vehículos) entre m y n

$F_{mnr}^l$ : número de vehículos que salen de m a n entre la ruta r en el período k, donde  $r \in R_{mn}$

F: grupo de  $F_{mnr}^l$ , para todo m, n, r, l

$p_a^k$ : número de vehículos en movimiento en la sección a del punto de inicio en el periodo k

$x_a^k, y_a^k$ : número de vehículos que entran y salen de la sección a en un período k

$x_{mnr}^{lka}, y_{mnr}^{lka}$ : número de vehículos que entran y salen de la sección a en un período k entre que sale de m a n a través de r en un período l

$t_{mnr}^l(F)$ : promedio de tiempo promedio gastado por los vehículos que salen de m a n a través de la ruta r en un período l bajo las condiciones de tráfico determinados por F

A(p), B(p): grupo de secciones de inicio o fin en los cuales los nodos son p

$\&_{mnr}^{lka}$ : valor 0 o 1, si el vehículo que parte de m a n a través de la ruta r en el período l entre la sección a en un período k, entonces toma el valor de 1 sino toma 0

El objetivo de un plan organizado de evacuación es obtener el tiempo de evacuación total más corto con un buen arreglo de tiempo de salida y ruta de evacuación, la fórmula modelo puede ser descrita como

$$\text{Min } T$$

La primera fórmula es intuitiva y simple, por lo tanto, puede ser expandida como la siguiente función objetivo:

$$\text{Min } Z(K) = \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R_{mn}} \sum_{l=1}^L F_{mnr}^l [(l s + \alpha \Delta)] + t_{mnr}^l(F)$$

Donde  $l s + \alpha \Delta$  significa el tiempo de espera promedio hecho por los vehículos que salen en un período  $l$  de la fuente de evacuación,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Las restricciones del modelo son las siguientes:

$$\sum_{r \in R_{mn}} \sum_{1 \leq l \leq K} F_{mnr}^l = D_{mn} \quad \forall m, n,$$

$$p_a(0) = 0 \quad \forall a,$$

$$p_a^k = p_a^{k-1} + x_a^k - y_a^k \quad \forall k, a,$$

$$\sum_{b \in B(p1)} x_b^k = \sum_{c \in A(p2)} y_c^k$$

$$\forall k, p1 \in A - M, p2 \in A - N,$$

$$x_a^k = \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R_{mn}} \sum_{1 \leq l \leq K} x_{mnr}^{lka} \quad \forall k, a,$$

$$y_a^k = \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R_{mn}} \sum_{1 \leq l \leq K} y_{mnr}^{lka} \quad \forall k, a,$$

$$\begin{pmatrix} x_{mnr}^{lka} \\ y_{mnr}^{lka} \\ \&_{mnr}^{lka} \end{pmatrix} = g(F_{mnr}^l : \forall m, n, r, l) \quad \forall m, n, r, l, a,$$

$$t_{mnr}^l(F) = \sum_{a \in A} \sum_{k=1}^K \&_{mnr}^{lka} * \Delta \quad \forall m, n, r, l,$$

Por otro lado, el trabajo también contempla el mecanismo de propagación de tráfico, que describe el comportamiento general de los vehículos al momento de una evacuación, aumentando la tasa de entrada a rutas de evacuación y sin modificar la

tasa de salida de las mismas, provocando en las distintas áreas de la simulación un aumento de tráfico y tiempo de salida en todas las rutas.

El modelo está dividido en dos secciones: el recorrido y la cola. El recorrido describe la propagación del flujo de tráfico y la derivada de la función de salida describe la propagación del tráfico en las colas. Se divide el tiempo en K intervalos para poder analizar los cambios entre estos y como afectan la tasa de entrada y salida por arcos en la red.

Para cada fuente de donde salen los vehículos se tiene un tiempo de salida que afecta al final el tiempo de llegada a una zona fuera del modelo, cada número de fuente tiene una ruta asignada que al momento de correr el modelo varias se cruzan, por esto el intervalo de tiempo elegido para el modelo debe ser pequeño para contemplar los cambios que va a suceder en cada arco.

Tabla 1.3 Evacuación óptima caso Beijing

Optimal evacuation planning (D1,15 = 1000, D2,13 = 1500)

OD	Route	Departure time (every 6 minutes)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1-13	1	59	66	83	96					
	2	40	58	51	50					
	3	22	32	37	37					
	4	22	34	32	8					
	5	7	7	6	2					
	6	8	12	12	3					
	7	12	18	16	4					
	8	8	35	39	11					
	9	20	20	23	18					
2-13	10	40	53	75	50	15	19	12	6	
	11	-	10	7	17	12	6			
	12	16	17	15	21	13	8	2		
	13	8	11	12	14	5	6			
	14	31	18	37	44	8				
	15	12	15	16	17	3	5			
	16	8	14	12	7					
	17	30	11	30	25	22	6			
	18	5	55	68	73					
	19	14	8	12						
	20	16	8							
	23	4								

Fuente: Guo, Ying y Mengqi (2014)

Como se puede observar en la ilustración 1.5 se ha diseñado la evacuación óptima con intervalos de tiempo y control de tráfico, buscando distribuir mejor la demanda por zonas y minimizando el tiempo de salida de áreas afectadas por la situación, separándolas en distintos puntos estudiados.

Como conclusión de este trabajo se pudo obtener un modelo de simulación bajo el control de tráfico aplicable a cualquier situación de evacuación efecto de acumulación de vehículos en rutas de salida, estado descrito anteriormente.



## Capítulo 2 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PLAN DE ACCIÓN VIGENTE

### 2.1. Descripción e historia del distrito La Punta

#### 2.1.1. Localización y reseña histórica

La Punta es una península situada en la parte central y occidental del territorio peruano, en las coordenadas geográficas 77° 07' 26" de longitud Oeste y 12° 04' 03" de latitud Sur, y a 1.8 m.s.n.m. Políticamente es un Distrito de la Provincia Constitucional del Callao.

El distrito estudiado limita por el Norte, el Oeste y el Sur con el Océano Pacífico y por el Este con el barrio de Chucuito, perteneciente al Cercado del Callao. Tiene una extensión de 0.75 km<sup>2</sup>.

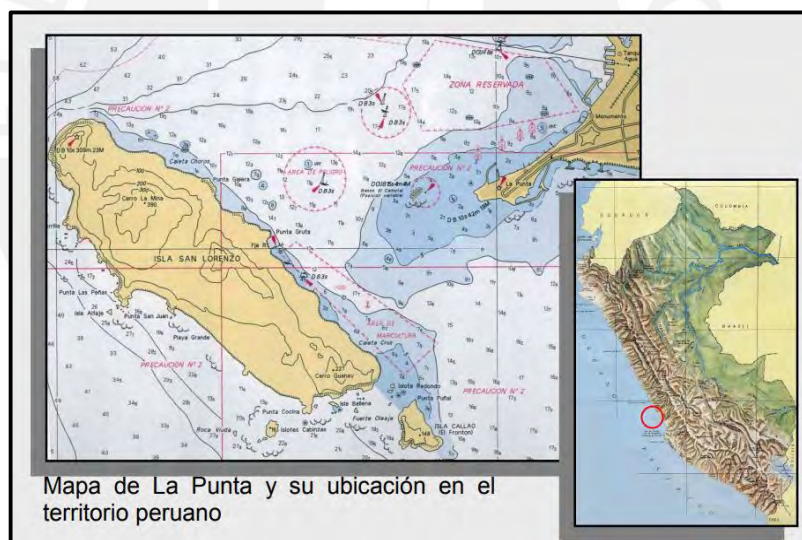


Ilustración 2.1: Mapa de la localización de La Punta

Fuente: Municipalidad La Punta (2015)

Diversas publicaciones sobre la historia de La Punta, desde el asentamiento de los primeros pescadores llamados “pitipiti” y hasta nuestros días, han descrito un singular e interesante crecimiento y evolución, que lo han ubicado entre los distritos de mayor índice sociocultural, económico y de consolidación urbana del país.

Se construye la historia de La Punta en 1685 con el asentamiento de pescadores “pitipiti”, luego en 1857 se creó la Provincia Constitucional del Callao durante el gobierno del Mariscal Ramón Castilla por mandato constitucional, siendo el primer alcalde de la Provincia fue el Manuel Cipriano Dulanto. Luego ampliando las vías de comunicación y transporte de recursos en la Provincia se hizo la ampliación del ferrocarril hasta Chucuito. En 1910 La Punta se conformó por dos calles principales Jirones Medina y Sáenz Peña por las cuales circulaban los visitantes a la Provincia. Cinco años después fue declarado Distrito en el gobierno de José Pardo y Barreda, con esto existió estabilidad creciente y consolidación de las áreas urbanas. (CIAM, 2015)

A continuación, se muestran los acontecimientos más importantes en La Punta que forjaron al distrito como tal con su descripción y como se vieron reflejados en el pueblo.



Tabla 2.1 Acontecimientos históricos en La Punta

Referencia Cronológica	Acontecimiento Histórico	Evolución Urbana
1639	Asentamiento de los pescadores llamados Pitipiti.	Se describe la existencia de primeras chozas en la "Punta de tierra firme", actual playa de Cantolao.
1716	El francés Amadeo Freizer lo describe en sus crónicas y sus mapas como "La Punta del Callao".	Transformación de chozas en hilera de ranchos de regular magnitud.
1749	Tsunami de gran magnitud en donde pereció el 95% de la población del Callao.	Presumible destrucción de las construcciones en La Punta.
1857	Creación de la Provincia Constitucional del Callao.	Definición de los límites de la provincia y de los barrios de Bellavista y La Punta, así como la denominación de las Islas San Lorenzo. El Frontón y los islotes Hormicas de Afuera, Palominos y Roca Horadada.
1866	Batalla del 2 de mayo. Muerte heroica de José Gálvez.	Construcción de baterías para defender la costa peruana.
1895	Reimpulso del comercio, la industria y el flujo marítimo con Europa y EEUU. Apertura de sucursales del Banco Italiano y Banco de Londres.	Ampliación del ferrocarril Lima-Callao, hasta Chucuito, entrada de La Punta. Construcción de hoteles para empleados de las compañías navieras y empresas de puertos.
1910	Categoría de Balneario exclusivo para la alta sociedad limeña.	Delimitación del trazo definitivo con dos ejes viales (Grau y Bolognesi). Creación de plazas.
1915	Creación del Distrito de La Punta.	Consolidación del trazo definitivo y construcción de equipamiento urbano y casonas de estilo.
1921	Categoría de Balneario por la aristocracia chalaca y limeña.	Formación de playas, creación de clubes.
1914-1950	Guerras Mundiales y comercio intensivo con EEUU y Europa.	Llegada de las colonias europeas, especialmente de Italia. Equipamiento comercial.
1950-1970	Crecimiento económico del país y comienzo de modernización de Lima y Callao.	La Punta alcanza su mayor crecimiento. Construcciones de ladrillo y cemento en reemplazo de casonas en mal estado de conservación.
1970-2004	Programas metropolitanos de servicios urbanos.	Consolidación urbana alcanza el 99.2%.

Fuente: Municipalidad La Punta 2015

Elaboración Propia

## 2.1.2. Aspecto Sociodemográfico

El distrito La Punta no guarda relación con tendencias demográficas en Lima Metropolitana o el Callao.

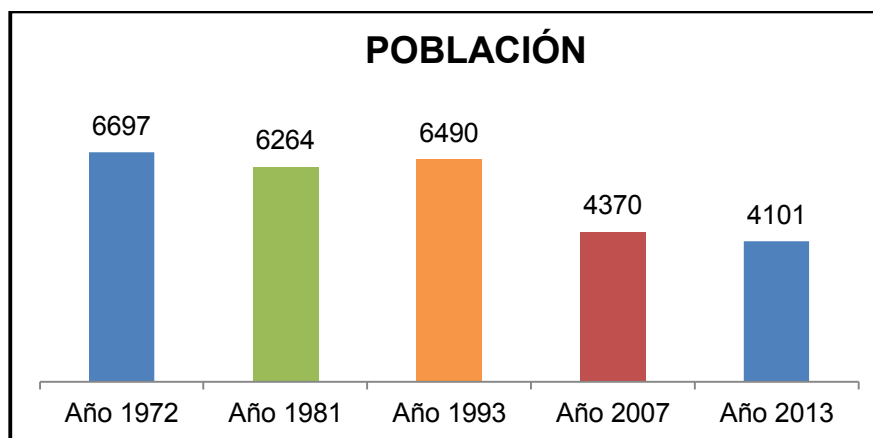


Ilustración 2.2: Crecimiento de la población de La Punta

Fuente: INEI  
Elaboración propia

Del total de esta población, 80% son residentes en viviendas particulares, el resto vive en viviendas colectivas como: Escuela Naval, Bomberos, Centro de Menores, Seminario y Convenio.

La estructura por sexo indica que la población es mayoritariamente de sexo femenino (55.3% mujeres y 44.7% varones). El dato de cantidad de persona por sexo en el Distrito es un dato muy importante en la formulación de programas y proyectos orientados al desarrollo económico y social.

La estructura por edad muestra que, entre 2004 y 2013 el grupo de menores de 0-14 años mantiene el mismo peso de 15% de la población total, proporción menor que el 25% que aproximadamente corresponde al Callao; los jóvenes y adultos en el 2013 están en un 64% y los mayores de edad, es decir, mayores a 65 años suben el 2013 a 21% del total.



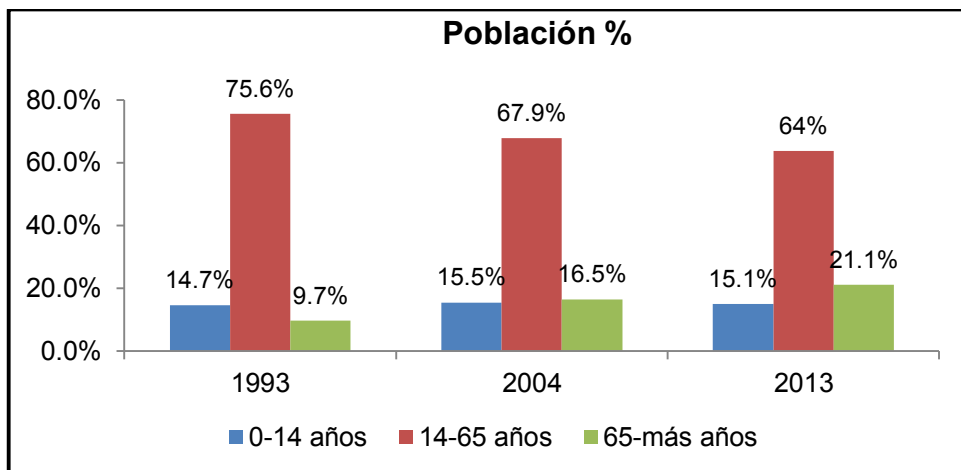


Ilustración 2.3: Distribución en edades de la población de La Punta

Fuente: INEI

Elaboración propia

### 2.1.3. Aspecto Económico

Las actividades económicas del distrito son de pequeña escala, básicamente de servicios y en menor medida, de comercio debido al tamaño reducido de su población y la distribución de su área geográfica.

La estructura económica del Perú tiene mayor énfasis en el sector terciario o de servicios, con un PBI nacional de 59.6% de contribución, en el caso de La Punta llega al 84%.

Estas cifras permiten afirmar que la vocación del distrito es la de producción de servicios, pero a nivel micro y de pequeña escala, inclusive, con el aumento del movimiento de la población en épocas de verano con un número mayor de 50,000 personas durante una semana de verano, no logra generar mayores ingresos para dinámicas económicas más grandes.

Del total de la población en edad de trabajar (15 años a más), la población económicamente activa (PEA) alcanza el 47.9%, mientras el restante 52.1% lo constituye la población económicamente no activa. Si se toma el total de la población distrital, el peso relativo de los ocupados y desocupados resulta un 37% de PEA, mientras el otro 63% es población dependiente del otro tercio del distrito,

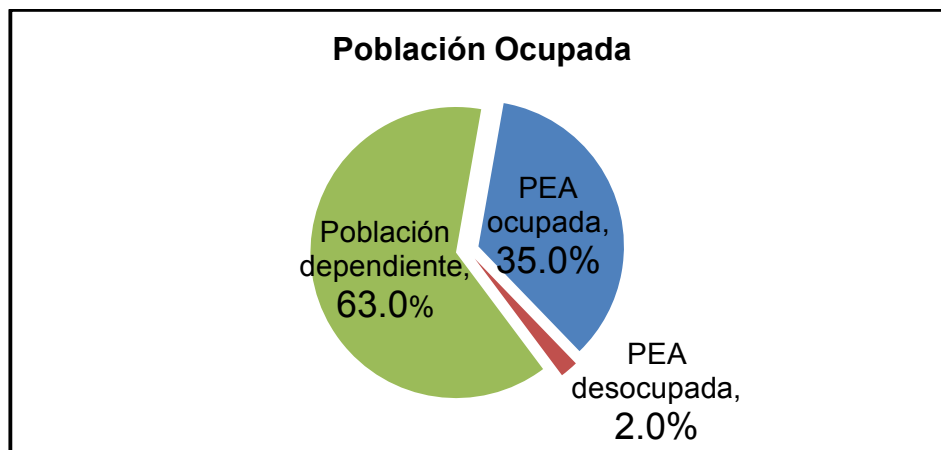


Ilustración 2.4: Distribución de la población ocupada en La Punta

Fuente: INEI 2013

Elaboración propia

Según el INEI 2013, dentro de la actividad económica realizada por los trabajadores del distrito se tiene:

- Actividad Agrícola 0.6%
- Actividad Pecuaria 0.2%
- Actividad Forestal 0.1%
- Actividad Pesquera 0.7%
- Actividad Minera 1.2%
- Actividad Artesanal 0.7%
- Actividad Comercial 15.5%
- Actividad Servicios 59.5%
- Actividad Otros 5.4%
- Actividad de Estado (gobierno) 16.3%

En cuanto a los niveles socio económicos de la zona, podemos identificarlo al encontrarse dentro de Lima Metropolitana, zona 10. Según el APEIM 2016, la zona 10 que incluye a Callao, bellavista, La Perla, La Punta, Carmen de la Legua, Ventanilla; presenta la siguiente distribución de niveles socio económico:

Tabla 2.2 Distribución de niveles socioeconómicos

Zona	Niveles Socioeconómicos				
	NSE A	NSE B	NSE C	NSE D	NSE E
Zona 10 (Callao, bellavista, La Perla, La Punta, Carmen de la Legua, Ventanilla)	2.7	8.4	11	9.9	16.6

Fuente: APEIM 2016

#### 2.1.4. Estructura Urbana

Dado los resultados del Censo del 2004, se aprecia que en el Distrito existen 1413 viviendas, de las cuales 1405 son viviendas particulares y 8 son viviendas colectivas. Del total de viviendas particulares solo 112 viviendas se encuentran desocupadas cuyos números muestra que no hay déficit de viviendas en la zona.

Los servicios dentro de la vivienda alcanzan casi el 99.7% de cobertura, detectándose muy pocas viviendas deficitarias en energía eléctrica y 2 en agua y desagüe.

Tabla 2.3 Variables del grado de consolidación urbana

Descripción	Porcentaje
Viviendas totalmente construidas	98.2%
Viviendas en proceso de construcción	1.8%
Aprovisionamiento de energía y agua	99.7%
Viviendas con agua y desagüe propio	99.9%
Grado de consolidación urbana	99.2%

Fuente: CIAM (Municipalidad de La Punta)

Elaboración Propia

La estructura urbana del distrito presenta un alto grado de homogeneidad y armonía espacial. Sin embargo, difieren algunas características entre las construcciones con vista al mar y las que se encuentran en el interior del casco urbano, algunos de los criterios son: ocupación inicial, alineamientos (los de vista al mar no tienen espacio

al frente de la calle), densidad de casonas y monumentos históricos (casco urbano tiene 104 monumentos históricos y dos plazas públicas) y ubicación de áreas verdes.

La altura predominante de las edificaciones es de 2 pisos, luego 1 y 3. En este perfil urbano de poca altura, destacan algunas edificaciones de 5 a 8 pisos que estarían marcando la tendencia constructiva. Cerca de 113 viviendas en el distrito son de adobe y/o quincha, una parte de ellas en mal estado de conservación. Esta situación presenta dificultades cuando se trata de monumentos históricos, cuyo mantenimiento y recuperación deben compatibilizar las exigencias del INC (Instituto Nacional de Cultura del Perú), los criterios sismorresistentes y la disponibilidad económica del propietario (INEI, 2013).

Los servicios dentro de una vivienda promedio de La Punta casi alcanzan el 99.7% de cobertura, detectándose muy pocas viviendas con déficit de electricidad o agua y desagüe. Las viviendas totalmente construidas llegan al 98.2% del total y el grado de consolidación urbana llega al 99.2% (CIAM, 2010).

En conclusión, las exigencias básicas poblacionales no estarían orientadas a la cantidad, sino a la calidad de los mismos. Las expectativas de desarrollo económico orientados al turismo, podrían exigir políticas, estrategias urbanísticas y de zonificación para darle una vuelta a los cambios de uso comercial (turismo y restaurantes), recreativo (deportes, espectáculos y descanso) y del patrimonio cultural.

Dado la información proporcionada por el INEI 2017, se sabe que malos materiales predominantes por vivienda son:

Paredes:

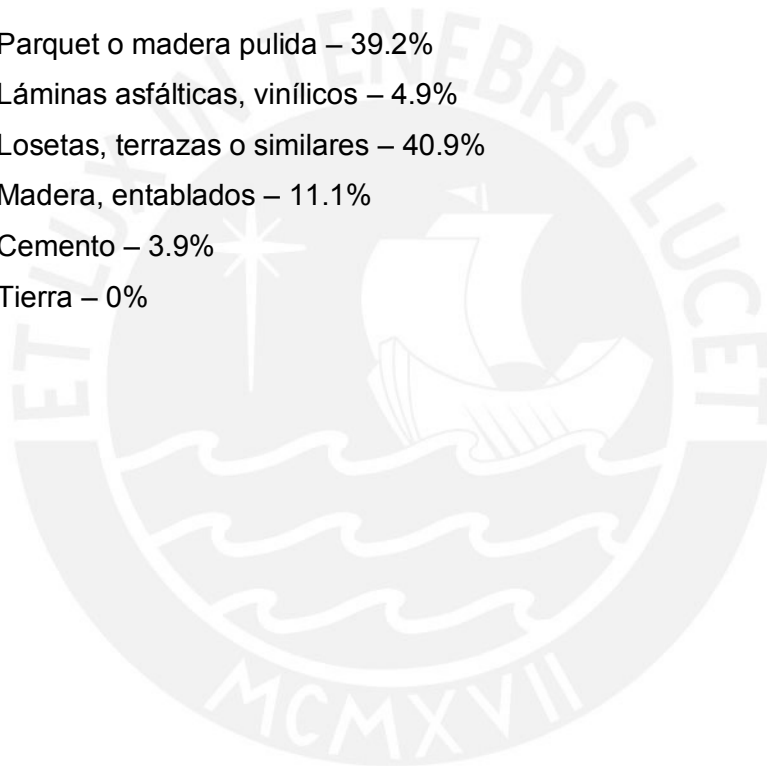
- Ladrillo o bloque de cemento – 85.9%
- Piedra o sillar con cal o cemento – 0.5%
- Adobe o tapia – 0.3%
- Quincha (caña con barro) – 10.7%
- Piedra con barro – 0%
- Madera – 2.6%
- Estera – 0%

Techos:

- Concreto armado – 82.2%
- Madera – 17.1%
- Tejas – 0%
- Plancha de calamina – 0.6%
- Caña o estera con torta de barro – 0.2%
- Estera – 0%
- Paja, hojas de palmera – 0%

Pisos:

- Parquet o madera pulida – 39.2%
- Láminas asfálticas, vinílicos – 4.9%
- Losetas, terrazas o similares – 40.9%
- Madera, entablados – 11.1%
- Cemento – 3.9%
- Tierra – 0%



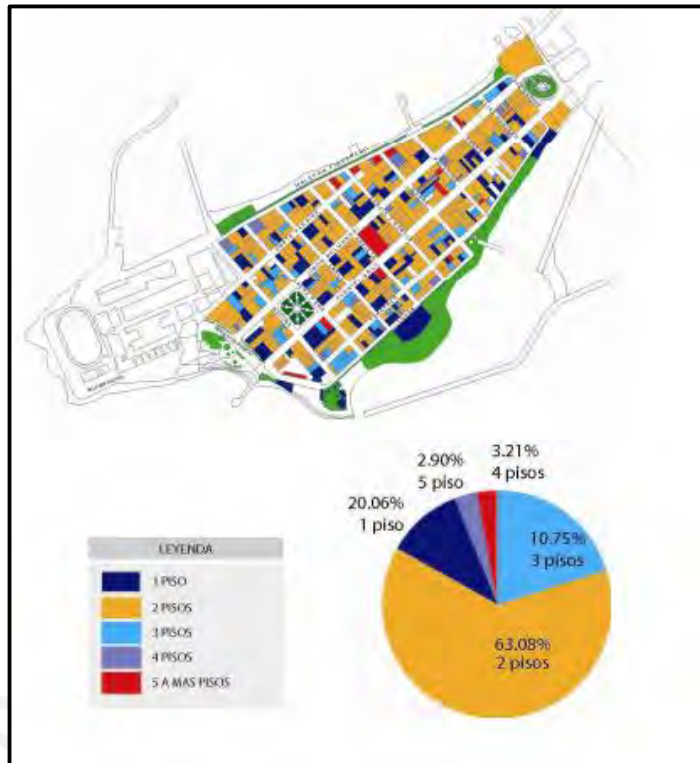


Ilustración 2.5: Distribución de viviendas por número de pisos

Fuente: Municipalidad de La Punta 2006

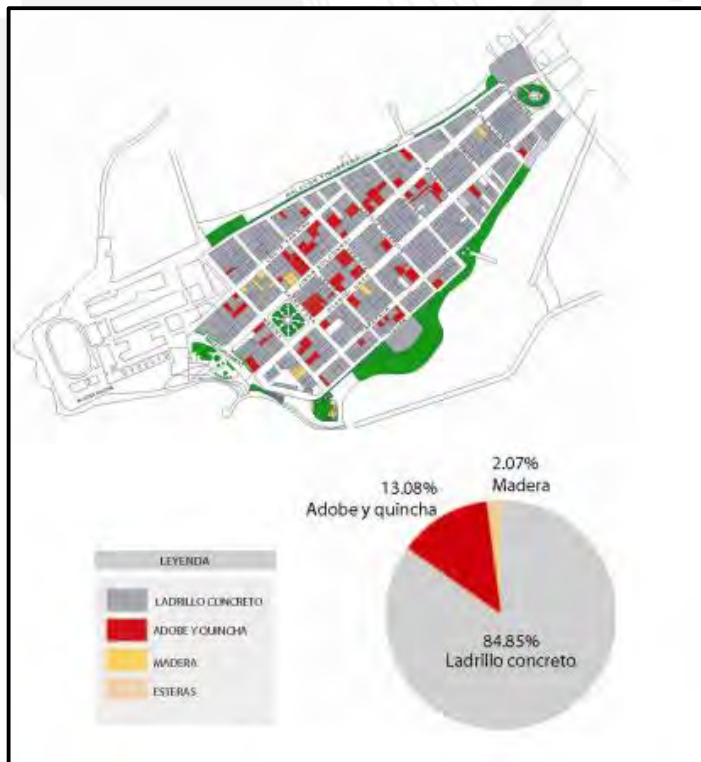


Ilustración 2.6: Distribución de viviendas por material de construcción

Fuente: Municipalidad de La Punta 2006

### 2.1.5. Población con discapacidad

Se considera personas con discapacidad a aquellas que presentan alguna deficiencia, incapacidad o impedimento de tipo anatómico, psicológico o fisiológico y que, debido a estas características, tienen ciertas restricciones o limitaciones para realizar alguna actividad en una forma considerada como normal para un ser humano.

El INEI 2013 registra en La Punta 135 personas con algún tipo de discapacidad. Los datos muestran que el principal impedimento es los problemas para usar brazos y piernas, que afecta al 1.5% de la población con esta discapacidad. En menor proporción aparecen la visual (0.3%) y la pérdida o invalidez del sentido auditivo (0.4%).

Tabla 2.4 Población con impedimento según tipo de discapacidad

Tipo de Discapacidad	N°	%
TOTAL	4101	100
Visual	12	0.3
Para oír	15	0.4
Para hablar	18	0.4
Para usar brazos y piernas	61	1.5
Mental o intelectual	29	0.7
No tiene	3975	96.7

Fuente: Municipalidad de La Punta (2013)

Elaboración Propia

### 2.1.6. Registro Nacional de La Punta

La municipalidad de La Punta se encuentra en la avenida Saenz Peña 298, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2014) no se cuenta disponible el uso de maquinaria pesada para distintas operaciones o proyectos que pueda tener el distrito, por lo que, si se requiere sacar adelante un proyecto de construcción o desarrollo, todas las tareas serían tercerizadas.

Se cuenta con lo que son vehículos y equipos disponibles para el trabajo del distrito, existe telefonía fija y celular en su área porque lo que la comunicación se encuentra al alcance de sus directores.

Por otro lado, La Punta tiene conexión a internet, por lo que trabajos de investigación y obtención de datos para los proyectos realizados dentro del distrito pueden ser hechos con normalidad. Además, tiene dentro una biblioteca municipal que se encuentra en la misma dirección que el centro de operaciones de la municipalidad.

Entre otros datos existe instalaciones deportivas y centros recreacionales y culturales para el desarrollo de los jóvenes y niños. Se dispone del uso de distintos locales para la atención de la salud junto con una terna de serenazgos disponibles para el distrito. Se tiene al alcance un alumbrado público y una red de agua potable con un sistema de desagüe.

La población de La Punta se encuentra asegurada ante los distintos tipos de accidentes por: Essalud 45.6%, FFAA-PNP 6.3%, Seguro Privado 31%, SIS 3.2%, otro 0.4% y los que no llegan a tener ningún tipo de seguro son el 13.4%.

Por otro lado, se sabe que la población que sabe leer y escribir ocupa casi toda actual en el distrito con un 99.7%. El nivel educativo está constituido por: Ningún nivel 0.3%, nivel inicial 0%, nivel primaria 2.4%, nivel secundaria 29.3%, superior no universitaria 21%, superior universitaria 45.8% y posgrado u otro similar solo el 1.2%.

## **2.2. Riesgo de tsunami en La Punta**

Según CIIFEN (2016), el riesgo se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad.

Amenaza es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. La amenaza depende de la intensidad y la frecuencia.

Vulnerabilidad son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Con los factores mencionados se compone la siguiente fórmula de riesgo.



$$RIESGO = AMENAZA \times VULNERABILIDAD$$

Estos dos conceptos se orientarán a la realidad de La Punta en caso de tsunami, por lo tanto, en esta sección se obtendrá un panorama de cuál es el riesgo sísmico actual del distrito.

### **2.2.1. Amenaza de tsunami**

El Perú está ubicado en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, zona caracterizada por concentrar algunas de las áreas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica, con la consecuente amenaza latente de tsunamis. En el Callao estos fenómenos han tenido lugar en los años 1586, 1604, 1687, 1746, 1806 con diferente intensidad y duración, siendo el más devastador el de 1746 que causó la muerte del 96% de habitantes. Según la Dirección de Hidrografía y Navegación de La Marina de Guerra del Perú (DHN), más del 70% de los Tsunamis en el mundo se han producido en el océano Pacífico.

Existen dos tipos de tsunami: De origen lejano y de origen cercano. Se define los de origen lejano los que se producen a miles de kilómetros de las costas, por lo que las olas toman varias horas en llegar al litoral; esto dará más tiempo para decidir la alerta y comunicar la respectiva evacuación, además no todos los de origen lejano se consideran destructivos, por esta razón no todas las alertas de este tipo representan la necesidad de evacuación. En caso de tsunamis de origen cercano se originan a consecuencia de un sismo de gran magnitud frente a las costas, ocasionando que las primeras olas alcancen el litoral a pocos minutos.

Según la municipalidad distrital de La Punta es altamente probable que un sismo con epicentro en el mar, frente a la costa del Callao, de magnitud 7 o más en la escala de Richter y con una profundidad no mayor de 60 kilómetros debajo del fondo del mar, ocasione un tsunami.

Con ayuda de un modelo matemático denominado *Tsunami Inundation modelling Exchange* (TIME), diseñado por la escuela japonesa, se permitió simular los efectos de un tsunami tras un sismo de magnitud 8,5 Mw con epicentro frente al Callao. La

altura de la ola y el tiempo de llegada para algunos lugares de la costa son: Callao 7 metros y 20 minutos (INDECI, 2011).

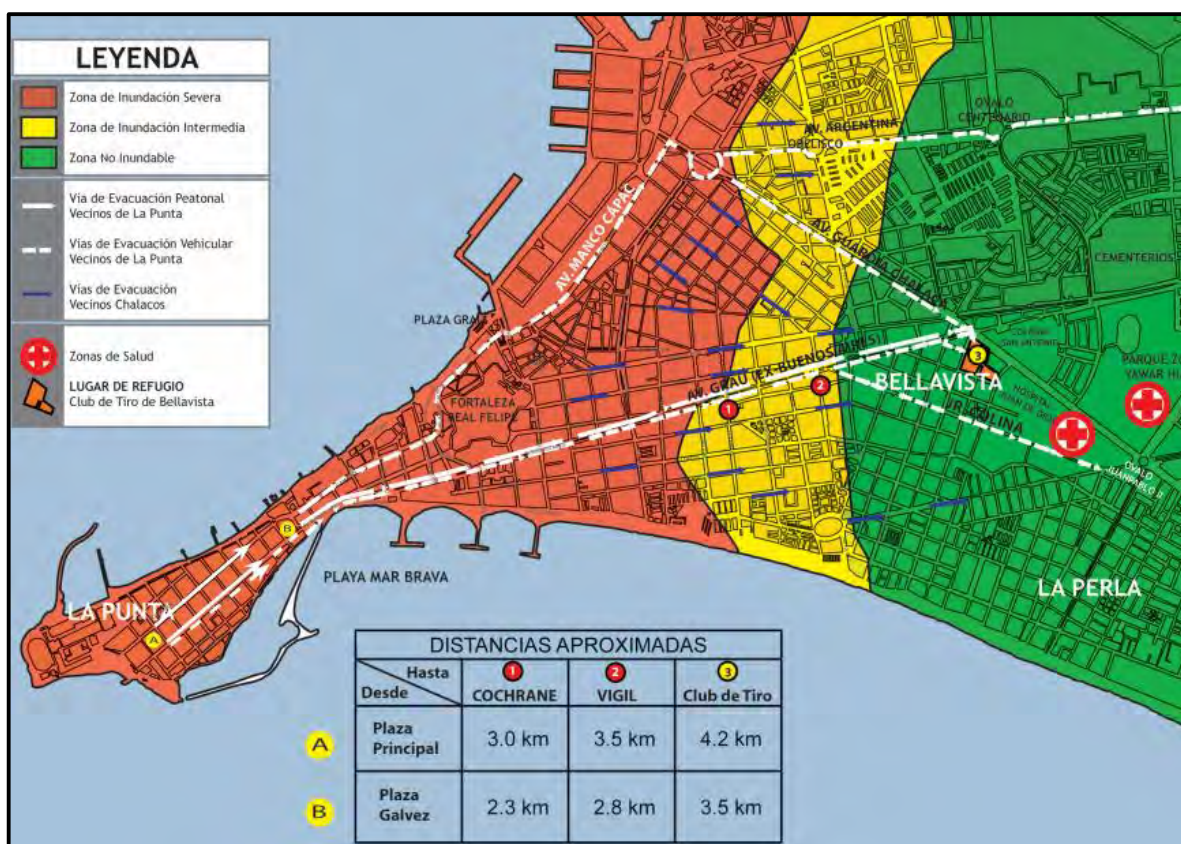


Ilustración 2.7: Zonas de inundación y rutas de evacuación

Fuente: Municipalidad distrital de La Punta (2010)

## 2.2.2. Vulnerabilidad ante un tsunami

Según SINADECI (2009), se entiende como vulnerabilidad al grado de resistencia que tiene una sociedad ante la ocurrencia de un evento catastrófico. La vulnerabilidad dependerá de factores como físico-estructurales, económicos, sociales, políticos, ambientales, educacionales, actitud de las personas, etc.

Tabla 2.5 Desastres de Tsunamis históricos en La Punta

Desastre	Fecha	Daños
Maremoto en las costas de Lima	09/07/1589	Mar subió 4 brazas destruyendo propiedades 300 metros tierra adentro y perdieron la vida 22 personas
Maremoto en Pisco	12/05/1644	Mar invadió a la población, se registró 70 muertos
Tsunami en el Callao	17/06/1678	Gran ola por un sismo de intensidad de 9 ocurrido a las 4 pm dejó más de 200 muertos
Maremoto desde Arequipa hasta Chile	26/11/1705	Arica fue destruida por esta ola
Tsunami en el Callao	28/10/1746	Dos olas que alcanzaron más de 7 metros de altura causando la muerte de 5 a 7 mil habitantes
Tsunami de Trujillo hasta Concepción (Chile)	13/08/1868	Mar dejó una nave de guerra encayda 400 metros tierra adentro
Tsunami por terremoto en Chile	01/04/1946	Deja 165 muertos y pérdidas materiales por más de 25 millones de dólares
Tsunami por sismo originado frente a las costas del Callao	03/10/1974	Fábricas inundadas, muelles y cultivos destruidos
Tsunami por sismo originado en Chimbote	21/02/1996	La ola causó daños materiales y la pérdida de 15 vidas
Tsunami en Pisco	15/08/2007	Originado por sismo a 60 km al Oeste de Pisco dejando 3 muertes y más de 500 víctimas

Fuente: CNAT  
Elaboración propia

Según Anderson y Woodrow (1989), existen varias clases de vulnerabilidad, entre las principales tenemos:

Vulnerabilidad física: Se refiere a qué tanto una población es propensa a sufrir daños colaterales porque habita o está expuesta de manera constante a zonas de riesgo físico. Este tipo de vulnerabilidad surge por la inadecuada infraestructura de los edificios y bienes físicos, la localización de estructuras en terrenos inapropiados y el incumplimiento de las normas de construcción vigentes. La pobreza y la tendencia a

la centralización que muestran las poblaciones en países en vía de desarrollo son aspectos claves que influyen en el incremento de la vulnerabilidad física o material.

A continuación, se presenta los elementos de infraestructura específicos que deben ser analizados para determinar la vulnerabilidad física o material, según Hays, B. Mohammadiouny y J. Mohammadioun (1998):

- Edificios sin refuerzo lateral sísmico.
- Edificios y viviendas construidos con baja calidad.
- Puentes y tuberías propensos a colapsar en una situación sísmica.
- Servicios de salud y hospitalización escasos en casos de emergencia.
- Falta de información y conocimiento acerca de la construcción antisísmica.

Vulnerabilidad social: La pobreza de la población en la zona territorial donde se habita es un factor social más significativo para determinar la vulnerabilidad frente a desastres naturales y es a su vez la causante principal de la destrucción.

Las dos principales causas de los siniestros en términos de pérdidas humanas y daños materiales son una geografía física propensa a generar, propagar y recibir fenómenos naturales de diversos tipos y, una alta proporción de la población en condiciones de pobreza. La mayor parte de la población vulnerable a los desastres, principalmente pobre, no tiene acceso a oportunidades de mitigación por la falta de recursos y conocimiento de las opciones existentes, lo cual aumenta la vulnerabilidad social.

La evidencia aquí expuesta, tanto los registros históricos como los factores que aumentan la vulnerabilidad en el distrito La Punta revelan un riesgo directo ante una amenaza de desastre natural como lo es un tsunami. La reducción de la vulnerabilidad es un factor importante para la reducción de riesgo y es deber del Estado tomar medidas necesarias para guardar seguridad a nivel nacional tomando planes de contingencia, planes de mitigación, preparación educacional de la población y preparación de respuesta rápida ante desastres. A un nivel local e individual, las relaciones socioculturales, las familias numerosas, las comunidades organizadas y la interdependencia misma de la comunidad son factores comunitarios que, ayudan a disminuir la vulnerabilidad total; por eso, es necesaria la preparación anticipada de la sociedad.

### **2.2.3. Peligro de Tsunami en el Área Metropolitana de Lima y Callao**

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) ha adquirido datos de topografía satelital y por levantamiento topográfico para ser procesados, Surfer 7.0 es el programada utilizado por la institución para analizar estos datos y obtener distintos mapas o trazos 3D que permite simular escenarios reales, de esta manera obtener un estimado de escenarios sísmicos y sus repercusiones en tsunamis hipotéticos en distintas partes del litoral costero.

En el modelo de fuente sísmica se tomó dos escenarios de referencia:

El escenario uno es de un hipotético terremoto de magnitud 8.5 Mw con epicentro en el mar, frente al Callao. Corresponde al terremoto más probable que podría ocurrir en Lima.

El escenario dos es análogo al terremoto de 1746 de magnitud de 9.0 Mw, con área de ruptura desde Chimbote (al norte de Lima) hasta el sur de Pisco, es el peor escenario sísmico que ha ocurrido en el Perú.

Se tiene como referencia al dorsal de Nazca como una barrera del terremoto, porque tiende a deslizarse de forma estable. Dado que ningún terremoto histórico grande ha sido reportado al norte de Perú (al menos desde el siglo XVI, llegada de los conquistadores), por lo tanto, es razonable suponer que los grandes terremotos frente a Lima se elige una longitud de la falla:  $L=500$  km, una distancia de acuerdo con esas latitudes.

El modelo de fuente sísmica elaborado servirá como condición inicial de la fase de generación del maremoto.

Como resultado de la simulación de la dinámica del maremoto, también se han obtenido los parámetros como tiempos de arribo, altura de la ola, mapa de inundación para cada una de las localidades consideradas.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación del maremoto en los dos escenarios:

Tabla 2.6 Máxima altura y tiempo de arribo de la primera ola

	Mw = 8.5		Mw = 9.0	
	Altura (m)	Tiempo (min)	Altura (m)	Tiempo (min)
Ancon	9.0	22.0	15.0	25.0
Ventanilla	7.5	21.0	14.0	24.0
Callao	7.0	20.0	10.0	22.0
Villa	6.5	16.0	14.0	18.0
Lurín	7.0	19.0	15.0	20.0
Pucusana	5.0	16.0	13.0	18.0

Fuente: INDECI 2010

Elaboración Propia

Se puede identificar varias zonas o distritos altamente vulnerables, por la topografía de las zonas y por la densidad poblacional y por la severidad de la inundación:

- Ventanilla
- Callao
- Chorrillos
- Lurín

Las zonas o distritos mínimamente afectados debido a su alta topografía corresponden a las zonas altas de la Costa Verde. Sin embargo, en las zonas colindantes al mar que generalmente corresponden a clubes, playas y restaurantes, la máxima altura de inundación es más alta y llega casi a los 12 m según el modelo numérico, esto se debe a la pared casi vertical conformada por el acantilado.

Todos los balnearios costeros pueden aumentar su nivel de vulnerabilidad en los meses de verano y en los fines de semana, cuando aumenta la densidad poblacional en pequeñas áreas (playas de veraneo).

### 2.3. Plan en caso de emergencia por Tsunami en La Punta

La Municipalidad Distrital de La Punta, basándose en los resultados del modelo matemático TIME, ha diseñado las opciones que debe tener presente la población en caso de evacuación por un tsunami de origen cercano.

### **2.3.1. Evacuación a zonas no inundables**

Se considera como la mejor alternativa para garantizar la integridad de la persona y la de su familia. Existen dos maneras de evacuar el distrito que son la evacuación peatonal y vehicular.

En caso de una evacuación peatonal se recomienda tener en cuenta que el mínimo recorrido esta entre 2.3 y 3 km para llegar a la zona no inundable, a la altura de Jr. Cochrane (Callao), en la ilustración 2.8 podemos observar las rutas de evacuación y las zonas inundables de acuerdo a la intensidad del sismo 8.5 Mw o 9 Mw. Además, se debe tener en cuenta la decisión de si se reunirá con sus familiares o si cada uno evacuara por su propia cuenta para llegar a un punto de encuentro en una zona segura.

El desorden será un gran obstáculo al momento de evacuar, fácilmente habrá gran cantidad de gente que no sabe evacuar ordenadamente, causando conmoción en la población.

En caso de una evacuación vehicular, se debe tener en cuenta que se podría encontrar congestión vehicular y aglomeración de personas, así como edificaciones y postes de luz caídos. En caso sea de noche, posiblemente se interrumpa el alumbrado público. Si la ruta de evacuación cruza la avenida Manco Cápac (Frente al Terminal Marítimo), se debe tener presente la posible congestión ocasionada por la salida de camiones del puerto.

Actualmente, existe un aplicativo llamado MGP Tsunamis, hecho por la Marina de Guerra del Perú en conjunto con el Centro Nacional de Alerta de Tsunami (CNAT) donde se indica el camino y sentido de las rutas de escape y el límite de las zonas de peligro. Adicionalmente se puede ver la ubicación actual, para ir a los lugares de refugios localizados.

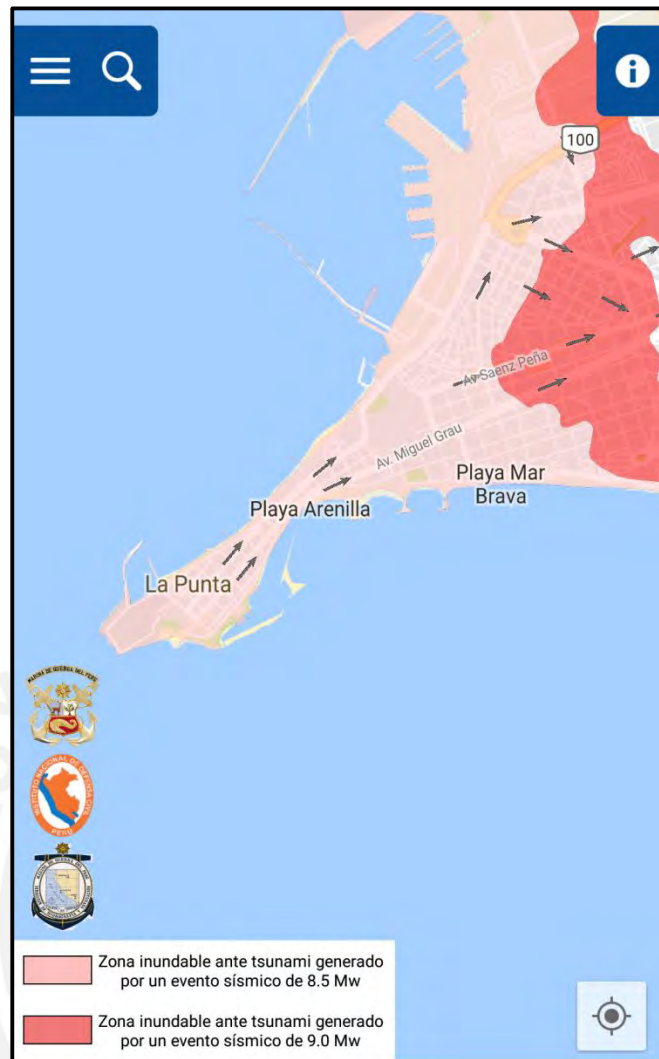


Ilustración 2.8: Aplicativo MGP Tsunamis

Fuente: Centro Nacional de Alerta de Tsunamis

### 2.3.2. Ubicaciones de refugio en caso de emergencia

Consiste en ponerse a buen recaudo, según el CIAM 2010, en el plan de evacuación del distrito se recomienda ganar altura geográfica en edificios de 12 metros o 4 pisos de altura. En La Punta existen 19 edificaciones con las características necesarias para ser punto de encuentro y refugio en caso de emergencia por tsunami, estos edificios cuentan con una arquitectura moderna, estructuralmente sólida y de fácil acceso a sus azoteas. En una situación de emergencia, ante la ausencia de inquilinos en uno o más edificios, el personal de la gerencia de seguridad ciudadana defensa civil y policía municipal se encargará de habilitar el acceso a las azoteas.



Se debe escoger el edificio más cercano a su hogar y actuar responsablemente en coordinación con los familiares. Existe la posibilidad de que los edificios podrían quedar bloqueados debido a un sismo de gran intensidad, por lo que se recomienda tener entre las alternativas al menos dos edificios.



Ilustración 2.9: Edificios de refugio en caso de emergencia

Fuente: Municipalidad distrital de La Punta (2010)

Tabla 2.7 Lista de edificios refugio en caso de emergencia

Edificio	Dirección	Capacidad
1	Jr. Sáenz Peña N°275 y 285	540
2	Jr. Sáenz Peña cdra. 4	160
3	Jr. Larco N°151	70
4	Jr. Arrieta N°295	200
5	Jr. Arrieta N°320	1450
6	Jr. Arrieta N°492	25
7	Av. Bolognesi N°508	50
8	Av. Bolognesi N°11	120
9	Av. Bolognesi cdra. 1	100
10	Jr. Tnte. Palacios N°375	60
11	Jr. Ferré N°460	220
12	Jr. Figueredo N°470	110
13	Jr. Figueredo N°520	30
14	Jr. More N°496	165
15	Jr. More N°380	75
16	Jr. Tarapaca N°155	105
17	Jr. Elias Aguirre N°155	450
18	Jr. Tarapacá 288	200
19	Escuela Naval	3000

Elaboración Propia

Fuente: CIAM 2010

# Capítulo 3 DIAGNÓSTICO DEL PLAN ACTUAL Y PROPUESTA

## 3.1. Revisión del plan actual de la municipalidad

A modo de realizar un análisis más detallado de las causas que pueden ser las fallas en los planes actuales de evacuación, será necesario estudiar los posibles factores que interrumpen la realización de las medidas requeridas. Actualmente, como se detalla entre las opciones del plan de evacuación ante un tsunami, se tiene dos destinos finales para poder estar en una zona sin riesgo, una persona puede evacuar del distrito La Punta hasta los límites fuera de peligro o buscar zonas más elevadas para guardar refugio y las olas no lleguen a donde uno se pueda encontrar.

Dado lo descrito en la sección 1.2. con los diferentes factores que afectan la vulnerabilidad de la población y aumentan el riesgo, junto con la descripción de la población del distrito La Punta en la sección 2.1. se elige cualitativamente distintos factores que afectan la decisión de las personas en caso de emergencia en dos distintas opciones de resguardo. La duda puede costar mayores pérdidas a la población.

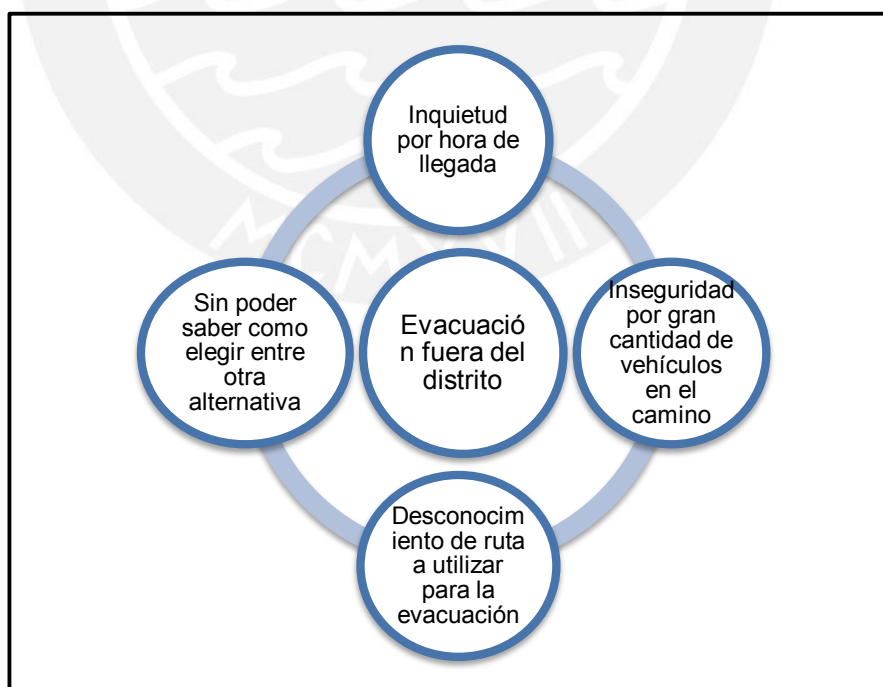


Ilustración 3.1: Factores relevantes en la evacuación fuera del distrito

Elaboración Propia



Ilustración 3.2: Factores relevantes en la evacuación dentro del distrito

Elaboración Propia

### 3.2. Planeamiento contramedidas

A partir del análisis realizado con las gráficas y los factores relevantes en las opciones de evacuación en caso de emergencia por tsunami, se concluye que la mejora del proceso en mención será realizada a través de un aproximado tiempo de llegada a las zonas seguras a partir del sector inicial e instante de partida, además mostrar una mejor distribución de los edificios seleccionados como hogares de refugio junto con su alcance de cada uno.

Para la selección de una estrategia general de acuerdo a los factores se usará la matriz de planeación estratégica cuantitativa, donde se le asignarán distintos pesos a cada uno de los factores y como afectan a las estrategias planteadas para mejorar el proceso de evacuación de la zona afectada. Estrategias generales debido a los factores presentados:

1. Planteamiento de rutas de evacuación con tiempo estimado de llegada.
2. Agrupación en cluster de personas para un proceso de evacuación conjunto.
3. Distribución y asignación de edificios de evacuación por zonas en el distrito.

Tabla 3.1 Matriz Planeación Estratégica Cuantitativa

				Estrategias					
				1		2		3	
Factores		Peso	Peso relativo	Influencia	Valor	Influencia	Valor	Influencia	Valor
Evacuación fuera del distrito La Punta	Inquietud por hora de llegada	4	0.167	4	0.667	1	0.167	3	0.500
	Sin capacidad de cómo elegir entre distintas alternativas	2	0.083	4	0.333	1	0.083	1	0.083
	Desconocimiento de ruta a utilizar para la evacuación	3	0.125	1	0.125	4	0.500	1	0.125
	Inseguridad a gran cantidad de vehículos en el camino	2	0.083	2	0.167	1	0.083	1	0.083
Evacuación en el mismo distrito La Punta	Inquietud por víveres en el punto de resguardo	4	0.167	3	0.500	3	0.500	4	0.667
	Incapacidad de poder elegir entre alternativas dentro	2	0.083	4	0.333	2	0.167	2	0.167
	Elección del lugar de refugio en caso de encontrarse dentro del distrito	4	0.167	3	0.500	3	0.500	4	0.667
	Capacidad de edificio destino	3	0.125	1	0.125	2	0.250	3	0.375
				<b>2.75</b>		<b>2.25</b>		<b>2.67</b>	

Elaboración Propia

A partir del análisis realizado con la matriz MPEC, se concluye que la mejora del proceso de evacuación en el distrito será realizada implementando la estrategia 1 y 3, una estimación de las rutas a tomar con un tiempo estimado de llegada al punto seguro y asignación de refugio por zonas para poder realizar una adecuada distribución de víveres cuando se dé la emergencia.

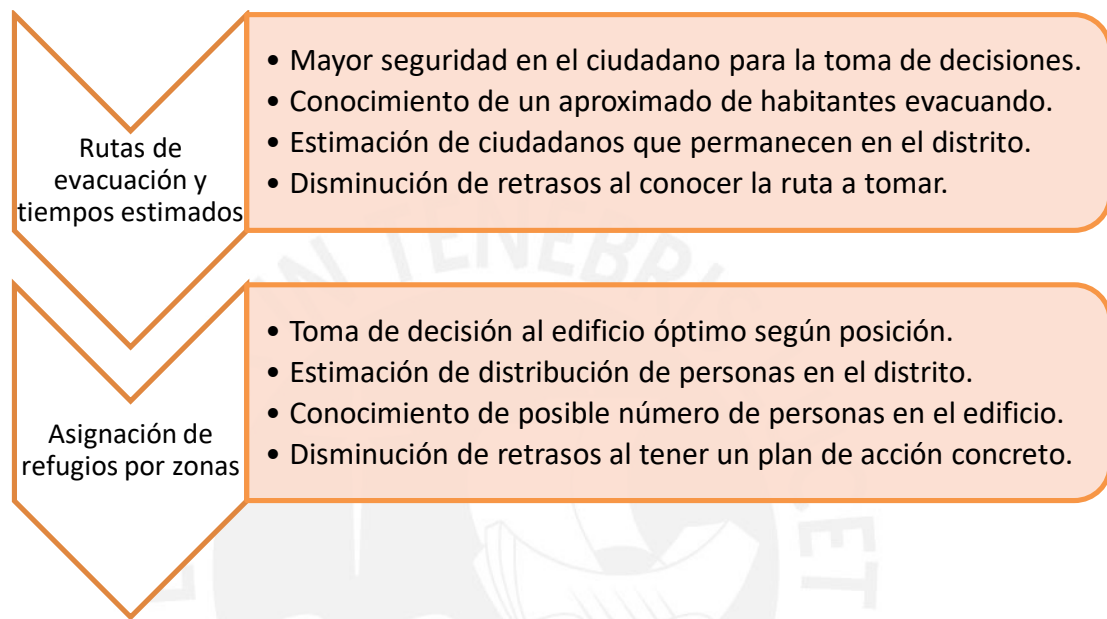


Ilustración 3.3: Mejoras tras inclinación por resultados

Elaboración Propia

Este diseño se obtendrá utilizando un modelo de simulación de la evacuación en el distrito, optimizando el número de habitantes a evacuar a zonas seguras y quedando con un número aproximado de personas en el distrito que podrían localizarse en los edificios sismorresistentes descritos en la sección 2.3.2.

## **Capítulo 4 DESARROLLO DEL MODELO PARA EL PLAN DE ACCIÓN**

### **4.1. Presentación de los escenarios del modelo**

El distrito La Punta es en su mayoría una zona residencial, como consecuencia, nos referimos a movimiento peatonal en la zona, se encuentra bien diferenciadas dos partes del día, la mañana (horas de almuerzo y visita a la playa) y la madrugada.

#### **4.1.1. Descripción del escenario con movimiento peatonal**

El distrito mantiene mayor afluencia en sí misma durante las horas del día, debido a sus atractivos turísticos y por ello también tiene distintos negocios que funcionan durante esas horas.

Como se ha mencionado, La Punta es una zona residencial por lo que no hay muchas instituciones con altas concentraciones de personas, la escuela naval es el lugar con mayor capacidad actualmente.

Hay varios restaurantes debido a las playas que rodean al distrito, playa Arenita y Cantolao, alrededor de 20 espacios para poder comer.

En el camino de salida de La Punta encontramos el gran atractivo que es la fortaleza del Real Felipe, edificación militar de área de 70, 000 metros cuadrados de uso actual turístico. Además, se encuentran alrededor de 6 museos cerca a la fortaleza.

#### **4.1.2. Descripción del escenario con bajo movimiento**

En el distrito a horas de la madrugada, no hay mucho movimiento de público ni vehículos circulando, por lo que se describe a una zona netamente compuesta por las personas con residencia en el distrito.

Los negocios en la zona no tienen una jornada de madrugada debido al rubro que se dedican (no hay grandes discotecas), por lo que, su jornada laboral no debería sobrepasar las 10 de la noche.

En este escenario una salida del distrito sería más veloz que en el escenario de día ya que, no se encuentran circulando varios vehículos y es menor el número de personas ocupando la zona. Teniendo esto en cuenta en el primer escenario se debe tener en cuenta un tráfico inicial, número de personas que podrían por grilla o zona; en el segundo escenario se toma el número de habitantes como el total.

## 4.2. Supuestos del problema

Los supuestos o presunciones son aquellas características diferentes que manejará el modelo de simulación en comparación al sistema real. Para este caso es necesario plantear ciertos supuestos que permitan obtener un nivel de complejidad adecuado para el modelamiento del sistema.

- Una vez lanzada la alerta de tsunami, todos los vehículos tendrán dirección a los nodos de salida.
- Se asume que todos los vehículos tienen el mismo tamaño y, por lo tanto, ocupan el mismo espacio en las calles.
- Las personas que evacuan una vez que toman una de las rutas para su salida, no cambian de decisión durante el trayecto.
- No habrá caída de objetos como postes o edificios sobre las calles que impidan el paso de los vehículos. Por lo cual, los datos de entrada de distancias y velocidades se mantienen constantes.
- Las personas que no tienen vehículo y buscan un lugar de refugio no intervienen con el circular del tránsito.
- Se asume que cuando se llega a la zona identificada por el INEI como segura, los vehículos terminan su paso por el modelo.
- Todos los nodos de entrada tienen la misma distribución para el flujo de vehículos.
- Una vez que los vehículos entran al sistema van directo por una ruta decidida, no pierden tiempo pensando en más opciones para evacuar.



- Los nodos en cada zona con cierta concentración de personas se dividen en partes iguales la salida de vehículos.
- Se asume que una vez lanzada la alerta de tsunami no entrarán más carros a la zona de peligro, es decir no hay demanda entrante de otro punto fuera del distrito.
- Se espera que cada persona que busca salir de la red tenga la suficiente gasolina para poder hacerlo y no quedarse varado en algún arco, ocasionando mayor tráfico.

### **4.3. Datos de entrada**

Como se mostró en el capítulo 1, al querer utilizar la ruta más corta como método de optimización aplicado a un sistema de evacuación, se requiere el número de personas a evacuar, el tráfico probable en las vías de evacuación y las distancias entre nodos.

#### **4.3.1. Distancias**

Para poder obtener un tiempo estimado en la simulación es necesario conocer las distancias entre los nodos a utilizar en el modelo, se han propuesto 32 nodos donde 7 de ellos serán los nodos de salida del modelo, pues ellos se encuentran en la zona segura en caso de tsunami en el La Punta. Se identifica a cada nodo hasta el número 25 como nodos de entrada puesto que, existe una demanda de vehículos a evacuar en cada uno, el resto de nodos son los identificados como salida. En esta sección se detallará la localización de los nodos a trabajar y la distancia existente entre ellos.



Ilustración 4.1: Nodos a trabajar en el modelo de optimización

Fuente: Elaboración propia herramienta ArcGis

Con la herramienta ArcGis y la opción “*measure*” se puede obtener la distancia en distintas unidades de medida desde un punto del mapa a otro según sea seleccionado, en este caso se está usando la unidad de medida kilómetros entre los nodos de los cuales requeriremos su información hasta llegar a los nodos de salida referenciados en la ilustración 4.4 con el color verde, estos serán los nodos como los habíamos mencionado que se encuentran fuera de la zona de peligro, basta con llegar a alguno de ellos para salir de la red y por lo tanto fuera del alcance del tsunami.

A continuación, se muestra las distancias existentes entre los nodos de la zona:

Tabla 4.1 Distancias entre nodos (km)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
1	-	0.12	0.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2		-	-	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3			-	0.10	0.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4				-	-	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5					-	0.12	-	-	-	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6						-	-	-	-	-	0.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7							-	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	0.81	1.05	-	1.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8								-	0.11	-	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9									-	-	-	-	-	-	0.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10										-	0.13	-	-	0.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11											-	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12												-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13													-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14														-	0.15	-	-	-	-	-	-	-	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15															-	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16																-	0.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.04	-	-
17																	-	0.37	-	-	-	-	-	0.52	0.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18																		-	0.33	-	-	-	-	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19																			-	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.11	0.91	-
20																				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.06	1.25	
21																					-	0.25	-	-	-	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-
22																						-	-	-	-	-	0.61	-	-	-	-	-	-	
23																							-	-	-	-	-	0.62	-	-	-	-	-	
24																								-	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25																									-	-	-	-	0.40	0.40	-	-	-	

Elaboración Propia

### 4.3.2. Población

Como se había mencionado en la sección 2.1.2, la cantidad de población registrada con residencia directa en el distrito La Punta es mayor a 4100 personas. De acuerdo al escenario en que se localiza el modelo en la sección 4.1. Podremos apuntar al número de personas a evacuar.

Se aplicará a la población un ratio de posesión de vehículo particular encuestado según los niveles socioeconómicos del INEI 2013 para el Callao junto con el rango de edad permitido para tener vehículo, con ello se puede estimar el número de vehículos que podrían partir desde el distrito La Punta. Además, se tiene la capa de tráfico peatonal hecha por el INEI 2007 en las zonas aledañas para poder estimar el número de vehículos a salir tras la alerta en el escenario de alto movimiento peatonal.

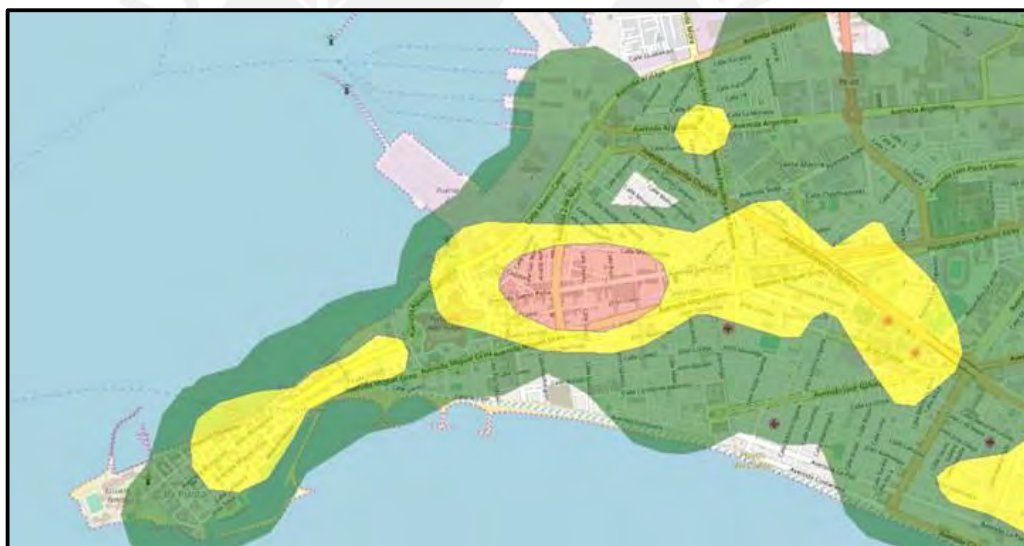


Ilustración 4.2: Tráfico peatonal en La Punta

Fuente: INEI 2011 herramienta ArcGis

La gráfica muestra la cantidad de personas que transitan en cada zona (población flotante), donde cada color significa:

- Verde, 2540 personas por kilómetro cuadrado.
- Amarillo, 5610 personas por kilómetro cuadrado.
- Rojo, 12716 personas por kilómetro cuadrado



Tabla 4.2 Flujo promedio por nodo

Nodo	Movimiento Peatonal		Bajo movimiento	
	Demanda de gente en la zona	Demanda de vehículos a evacuar en la zona	Demanda de gente en la zona	Demanda de vehículos a evacuar en la zona
1	1485	150	1025	104
2	1485	150	1025	104
3	1485	150	1025	104
4	1485	150	1025	104
5	1006	102	640	65
6	1006	102	640	65
7	1006	102	1330	135
8	1588	160	830	84
9	1588	160	830	84
10	1006	102	640	65
11	178	18	113	11
12	178	18	424	43
13	178	18	424	43
14	1588	160	854	86
15	1588	160	854	86
16	1588	160	2686	271
17	760	77	1578	160
18	178	18	440	44
19	178	18	440	44
20	178	18	440	44
21	178	18	424	43
22	178	18	424	43
23	1766	178	949	96
24	178	18	424	43
25	178	18	424	43

Elaboración Propia

### 4.3.3. Tráfico vehicular

Como parte del modelo es necesario conocer el tráfico que ocurre al momento de la alerta, se puede utilizar el tráfico promedio obtenido del INEI 2007 proyección a 2014 para la zona afectada por el tsunami.



Ilustración 4.4: Tráfico vehicular en La Punta

Fuente: INEI 2011 herramienta ArcGis

La leyenda de los colores es: rojo (15 km/h), amarillo (30 km/h) y verde (50 km/h); en caso no haya tráfico se asume que no hay flujo de vehículos normalmente en esa zona.

Con la velocidad existente en los arcos del modelo se puede estimar el tiempo que toma pasar de nodo en nodo. A finales la meta es optimizar el tiempo de salida a los nodos que se encuentran en la zona segura en caso de tsunami, mediante el modelo se buscará la mejor ruta de escape a partir del nodo origen de la demanda y escenario de simulación.

A continuación, se mostrará la velocidad promedio entre tramos de la red a evacuar:

Tabla 4.3 Velocidades entre nodos con movimiento peatonal (Km/h)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	-	50	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2		-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3			-	50	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4				-	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5					-	50	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6						-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7							-	50	-	-	-	-	-	-	-	50	50	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8								-	30	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9									-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10										-	40	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11											-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12												-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13													-	40	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14														-	23	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15															-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16																-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-
17																	-	15	-	-	-	-	-	40	40	-	-	-	-	-	-	-
18																		-	18	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-
19																			-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	15	-
20																				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	15
21																					-	40	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-
22																						-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-
23																							-	-	-	-	-	-	30	-	-	-
24																								-	40	-	-	-	-	-	-	-
25																									-	-	-	-	40	40	-	-

Elaboración Propia



#### 4.3.4. Tiempos de recorrido entre nodos

Dado los datos de entrada de las distancias a recorrer y la velocidad promedio entre nodos, se puede calcular un tiempo estimado de recorrido en cada arco. Para poder calcularlo se usa la ecuación de movimiento que se adecua a cada arco en el modelo.

$$\frac{\text{Distancia (Km)}}{\text{Velocidad promedio } \left(\frac{\text{Km}}{\text{h}}\right)} * \frac{60 \text{ (min)}}{\text{(h)}} = \text{Tiempo (min)}$$

Para el escenario de poca afluencia de personas, las distancias se mantendrán constantes para cada arco y en el caso de las velocidades se asume sin tráfico inicial en cada paso entre nodos, es decir, se puede utilizar una velocidad máxima o mayor, para el ejercicio utilizaremos 50 Km/h en los que son avenidas principales y en calles se utilizará como velocidad promedio 40 Km/h.

Al final el tiempo a minimizar es la suma de todos los tiempos de los arcos por los cuales los vehículos tendrán que pasar, por esto las rutas de evacuación pueden variar dependiendo de la posición del nodo y sus adyacentes a los cuales podría viajar. Si un nodo se encuentra en ruta de otro anterior, la ruta de evacuación será la misma, pero sin los arcos antes de llegar a sí mismo. Lo que causa gran diferencia en las rutas es la demanda de cada nodo y la ruta que se ha escogido, por esto se requiere hacer una simulación de las rutas escogidas para ver cómo cambia los tiempos de acuerdo a la diferencia de tasas de salida y entrada en cada arco.

Tabla 4.4 Tiempos entre nodos, movimiento peatonal regular (minutos)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
1	-	0.1	3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2		-	3.4	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3			-	0.1	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4				-	-	-	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5					-	1.1	-	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6						-	-	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7							-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	1.0	1.3	-	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8								-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9									-	-	-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10										-	0.2	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11											-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12												-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13													-	0.5	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14														-	0.4	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15															-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16																-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-	-	-
17																	-	1.5	-	-	-	-	-	0.8	1.2	-	-	-	-	-	-	-	
18																		-	1.1	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19																			-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	3.6	-	
20																					-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	5.0	-	
21																						0.4	0.5	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	
22																							-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	
23																								-	-	-	-	1.2	-	-	-	-	
24																									-	0.6	-	-	-	-	-	-	
25																										-	-	-	-	0.6	0.6	-	-

Elaboración Propia

Tabla 4.5 Tiempos entre nodos, bajo movimiento peatonal (minuto)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
1	-	0.2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
2		-	1.2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3			-	0.1	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
4				-	-	-	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
5					-	0.1	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6						-	-	-	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
7							-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	1.3	-	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
8								-	0.1	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
9									-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10										-	0.2	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
11											-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
12												-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
13													-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
14														-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
15															-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
16																-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
17																	-	0.5	-	-	-	-	-	-	0.8	1.2	-	-	-	-	-	-	-		
18																		-	0.4	-	-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-		
19																			-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.7	1.1	-	
20																					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	1.5	
21																						-	0.4	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	
22																							-	-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	
23																								-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	-	
24																									-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25																										-	-	-	-	-	0.6	0.6	-	-	-

Elaboración Propia

## 4.4. Obtención de las rutas óptimas

En esta sección se justificará el uso del modelo para solucionar el problema de evacuación tras alerta de tsunami; además, se explicará cada detalle del mismo.

### 4.4.1. Justificación del modelo

Como se indicó en el capítulo 2, el protocolo a seguir tras la alerta de tsunami indica la posibilidad de salir del distrito ya sea en auto o a pie; sin embargo, se debe realizar una simulación para conocer cuáles serían las rutas óptimas a tomar dependiendo donde te encuentres en ese momento, se busca tener un plan de ruteo de vehículos apoyado en un enfoque científico.

Se sabe que las personas no se encuentran concentradas en un mismo lugar, representado por nodos, por lo que sería irreal pensar en una sola ruta de escape para la población, por esta razón la solución debe mostrar distintas formas de escape a una zona segura.

La Municipalidad Distrital de La Punta, indica que se debe tomar con calma la evacuación y no entrar en desesperación. Basándose en el modelo matemático TIME se conoce que las olas del tsunami llegarán a las costas en alrededor de 15 minutos, dando a lugar el objetivo del modelo de la ruta más corta que permite minimizar la variable que nosotros indiquemos, que en este caso es el tiempo de salida. Por este motivo, se hizo uso de las variables distancia y velocidad por arco para obtener un aproximado del tiempo que se demoraría un vehículo en cada arco.

### 4.4.2. Explicación de los componentes del modelo

En el capítulo 1 se explicó de manera general lo que era el modelo de la ruta más corta; sin embargo, en la presente sección se explicará de manera más minuciosa cada componente del modelo. A continuación, se presenta las variables de decisión, la función objetivo y cada restricción del modelo para poder explicar la lógica de cada uno de ellos.

#### Conjunto de índices

- A      Conjunto de arcos en la red
- N      Conjunto de nodos en la red
- i      Nodo de origen en la red

- j      Nodo de destino en la red
- k      Dirigido a la solución en caso de iniciar en ese nodo

Parámetros

- $T_{ij}$     Tiempo para trasladarse del nodo i al nodo j
- $A_{ij}$     Posibilidad de viajar del nodo i al nodo j, 1 si es posible de caso contrario 0

Variables de decisión

- $X_{ijk}$     Elección de ir o no del nodo i al nodo j en caso de iniciar en el nodo k

Función Objetivo

$$Min \sum_{\text{todos los arcos definidos}} \sum_{(i,j) \in A} T_{ij} X_{ijk}$$

Con esta función objetivo se busca minimizar el tiempo total de la red, ya que se necesita que todos los vehículos se encuentren lo más rápido fuera del área de peligro. Se evalúa la decisión de los arcos utilizados en cada situación del nodo en que se pudo encontrar al inicio de todo, si  $X_{ijk} = 1$  entonces se toma el  $T_{ij}$  y se incluye en la sumatoria, caso contrario si  $X_{ijk} = 0$  el arco se multiplica por 0 lo cual dejaría fuera del resultado el tiempo que toma ir del nodo "i" al nodo "j".

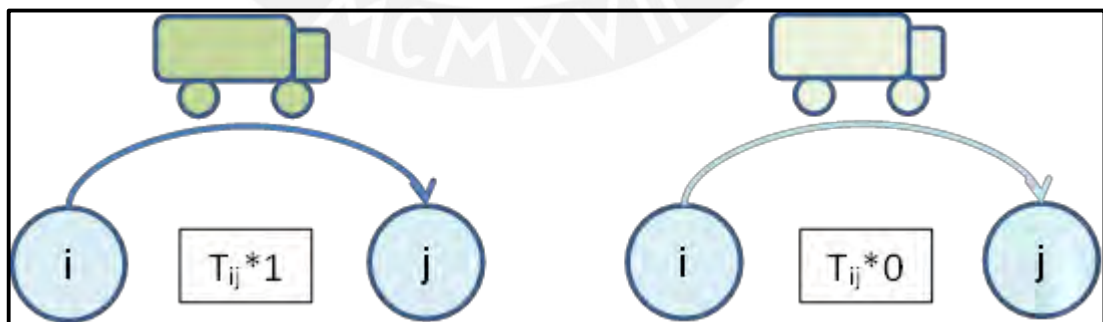


Ilustración 4.5 Acumulación de tiempos en la ruta

Elaboración Propia

## Restricciones

$$\sum_{Arcos (i,j,k)} X_{ijk} * A_{ij} = \sum_{Arcos (j,i,k)} X_{jik} * A_{ji}$$

La cantidad de formas de llegar al “j” es la misma que las formas de salir de dicho nodo. El nodo “j” podría recibir distintos caminos en alguna solución para el nodo “k”; sin embargo, de igual manera necesita continuar tomando decisiones para ir al siguiente nodo en la misma cantidad que llegaron a este.

La adyacencia se mantiene constante para todas las soluciones “k” que representan la ruta óptima dependiendo del nodo en que se inicie, puesto que la disponibilidad de viajar entre los nodos no depende de en qué posición inicies la red.

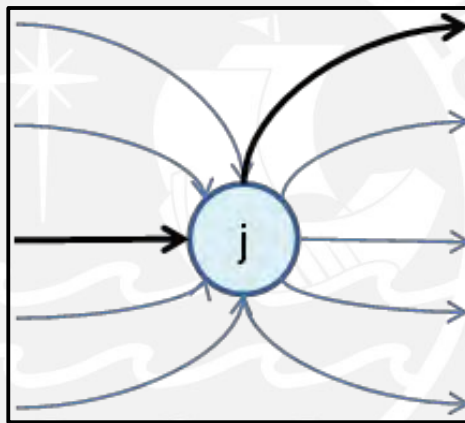


Ilustración 4.6 Balance de conservación

Elaboración Propia

$$\sum_{\substack{Arcos (i,j,k), \\ i=k}} X_{ijk} * A_{ij} = 1$$

Los caminos que parten del nodo inicial de donde se parte en la red “k” deben sumar 1, esto puesto que cualquier vehículo o unidad para dar como ruta óptima del nodo “k” de partir de este, caso contrario el modelo podría buscar cualquier ruta óptima desde cualquier nodo, con esto se limita a empezar el circuito desde el nodo del que se parte.

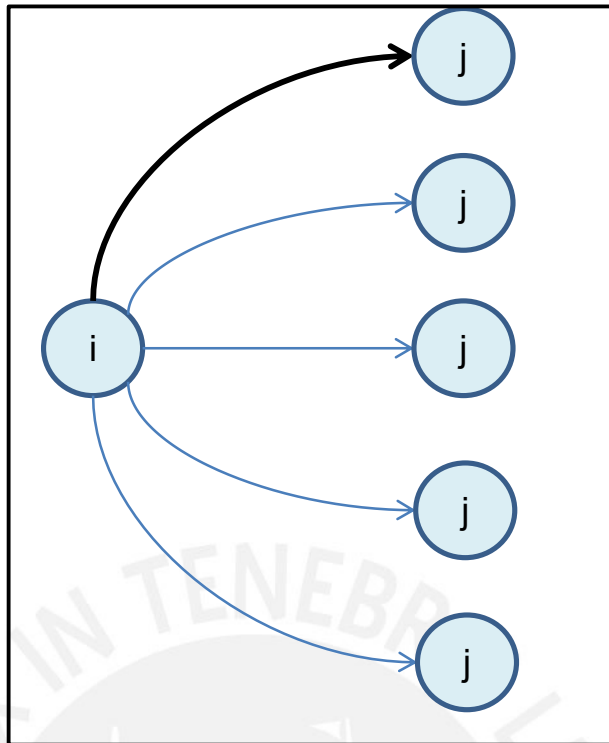


Ilustración 4.7 Cada nodo inicial solo tiene salidas

Elaboración Propia

$$\sum_{\substack{\text{Arcos } (i,j,k), \\ i=j}} X_{ijk} = 0$$

Cualquier valor de decisión de viajar entre los mismos nodos no puede existir, este podría ser un error que podría afectar el modelo, así en esta restricción se niega este valor en cualquier circunstancia para todo valor de "k".

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k, (i,j) \in A$$

Cada  $X_{ijk}$  entre nodos se define como un entero binario ya que es una variable de decisión. Esto facilita el hecho de interpretar los resultados del modelo pues el 1 significa un sí a la decisión y un 0 un no.

Al final en los resultados se obtendrán varios valores de X que nos darán a entender que partiendo de cualquier nodo i cual siguiente nodo j se debe ir, formando un camino hasta el nodo de salida del modelo y dado la función objetivo buscará unir

nodos los cuales tomen menos tiempo de traslado entre ellos, reduciendo de esta manera el tiempo de evacuación de la zona de peligro.

$$\sum_{\substack{\text{Arcos } (i,j,k), \\ i=k}} X_{ijk} * A_{ij} = 1 \quad \forall j = 33$$

Para el modelo se ha creado un nodo imaginario al cual solo se puede llegar a partir de los nodos que se encuentran en la zona fuera de peligro, la restricción permite que todas las llegadas al nodo imaginario sumen 1, es decir, que se tiene que llegar al nodo imaginario y solo a través de uno de los nodos a los cuales se encuentran conectados.

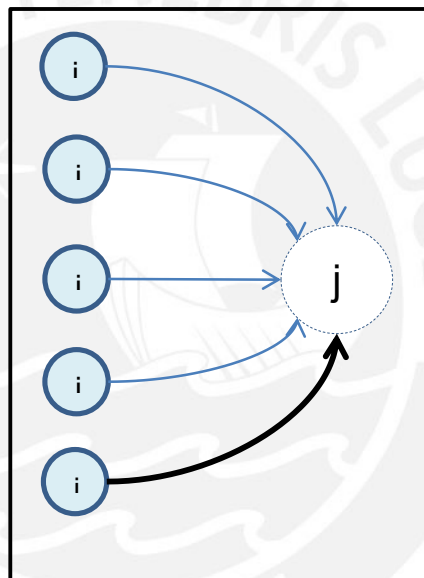


Ilustración 4.8 Solo se llega por un camino

Elaboración Propia

#### 4.4.3. Modelo en el lenguaje AMPL

Con los datos de entrada detallados en la sección 4.3 se prosigue a realizar el modelo de la ruta más corta. El software que se utilizó para poder encontrar los resultados es el AMPLIDE, utilizando como *solver* el simplex (CPLEX) 12.8.0.0. En el modelo planteado se puede encontrar alrededor de 34415 variables ya que se busca el camino para cada nodo en zona de peligro. El modelo utilizando el lenguaje de programación de AMPLIDE se detalla a continuación.



Para la toma de decisiones entre nodos se emplea el  $X_{ijk}$ , que representa el uso o no del arco;  $A_{ij}$  representa si existe o no la conexión entre los nodos. Estas variables y los parámetros planteados serán agrupados para su uso en la función objetivo y restricciones.

- Se ha definido el primer set “nodo” para albergar 33 de alcance, esto conforma el total de nodos en cuestión dentro del modelo entre los nodos a evacuar, los nodos de salida y el nodo imaginario.
- Se creó el set matriz “matriz” formado por dos sets “nodo”, sus atributos son el tiempo y la adyacencia entre los nodos de la red. Además, para el caso de los tiempos se ha definido como restricción que sea mayor a 0 pues no existen tiempos negativos; además para la adyacencia se ha definido que es una variable entera binaria.
- Se creó el set matriz “matriz2” formado por tres sets “nodo”, tiene como atributo la variable X, que es la decisión de viajar entre el nodo i y el nodo j en la ruta de evacuación del nodo k. Para el caso de la variable X, como se ha mencionado anteriormente, se ha definido como una entera binaria.

```
#set
set nodo := 1..33;

set matriz := {nodo,nodo};
set matriz2 := {nodo,nodo,nodo};

#variables
param tiempos {matriz} >= 0;
param adyacencia {matriz} binary;
var X {matriz2} binary;
```

Ilustración 4.9 Sets de uso en el AMPL

Elaboración Propia

Todos los parámetros definidos en el modelo se encuentran explicados en la sección 4.3, además todos estos están definidos en libros de Excel, los cuales se importarán por AMPL a través de la herramienta “*table in*”, además de usar los comandos “*read table*”. Para el caso de exportar los resultados se utiliza la herramienta “*table out*” y el comando “*write table*” para realizar su futuro análisis.

A continuación, se muestra la programación en AMPLIDE del modelo de la ruta más corta. La función objetivo como se muestra en la figura siguiente buscar minimizar el

tiempo en cada ruta y se le resta uno ya el valor de llegar al nodo imaginario es 1 y se quita del resultado final. Por el lado de las restricciones el número 1 hace referencia a la explicada en la sección 4.4.2. donde cada nodo debe sumar igual tanto lo que entra como lo que sale, la restricción número 2 hace referencia que el nodo del cual se empieza la red la suma de sus salidas debe ser igual a 1, en el caso de la restricción número 3 explica como el nodo imaginario, la suma de sus llegadas debe ser igual a 1, ya que es ahí donde termina la red. La restricción 4 busca que no existan viajes entre los mismos nodos ya que sería un error hacer ese camino.

```
#función objetivo
minimize tiempo_evacu {i in nodo, k in nodo}:
    sum{(i,j) in matriz: i>=k} X[i,j,k]*tiempos[i,j]-1;

#restricciones
subject to balance {i in nodo, k in nodo}: #1
    sum{j in nodo: i>k, i<33} X[i,j,k]*adyacencia[i,j] = sum{j in nodo: j>k, j<33} X[j,i,k]*adyacencia[j,i];

subject to balance2 {k in nodo}: #2
    sum{(i,j) in matriz: i=k} X[i,j,k]*adyacencia[i,j] = 1;

subject to balance3 {k in nodo}: #3
    sum{(i,j) in matriz: j=33} X[i,j,k]*adyacencia[i,j] = 1;

subject to entrenodos {(i,j,k) in matriz2: i=j}: #4
    X[i,j,k]=0;
```

Ilustración 4.10 Modelo en AMPL

Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados del modelo se puede sugerir rutas de evacuación al momento del desastre, buscando optimizar el tiempo empleado para salir de la zona de peligro y tratar de aumentar el número de ciudadanos fuera de la ciudad en un menor tiempo.

#### 4.5. Descripción del modelo de simulación

Como se mencionó en anteriores capítulos, se desea conocer los resultados del uso de las rutas óptimas obtenidas anteriormente, para esto se utiliza el método de simulación descrito en el capítulo 1. Siendo así, se procede a explicar el modelo de simulación realizado para la evacuación del distrito La Punta; donde la herramienta Process Analyzer de Arena, permite establece diversos escenarios, donde cada uno muestra una posible resolución de la evacuación en cuestión.

El sistema comienza con la creación de las entidades que representan cada uno un vehículo con la finalidad de evacuar la zona, esto sucede en el bloque *Create*, este contiene además el dato de intervalo entre salida de vehículos de cada sector o nodo (representado por una distribución de POISSON que explica el flujo vehicular como se describió en el capítulo 1) y el mismo bloque asigna a cada entidad el tiempo de inicio en el sistema. Una vez creada la entidad se le asigna un número que representa el número de vehículo que tiene destinado, esto se realiza en el bloque *Assign*, siendo el nombre del atributo ASIG\_CARR# (# es el número del nodo del cual sale la entidad), cada vez que se asigna este atributo, disminuye en una unidad su valor para poder destinar otro vehículo a la entidad siguiente.

Luego de ser asignado el número de vehículo a utilizar, la entidad entra a la estación FIC#, donde, a través del bloque *Request* llama al vehículo designado AGV y el número por el atributo ASIG\_CARR#, una vez el vehículo haya llegado a la estación, parte con la entidad rumbo a la estación Nodo #, esta acción es realizada por el bloque *Transport* (ver figura 4.11). La primera estación a la que ingresa la entidad no es la intersección que representa cada nodo en el sistema, debido a que, si se coloca el bloque *Request* después de ingresar a una zona de tránsito, cada entidad que proviene de cualquier nodo y pasa por esta intersección, también buscaría llamar nuevamente un transporte, lo cual causaría un problema en la simulación.

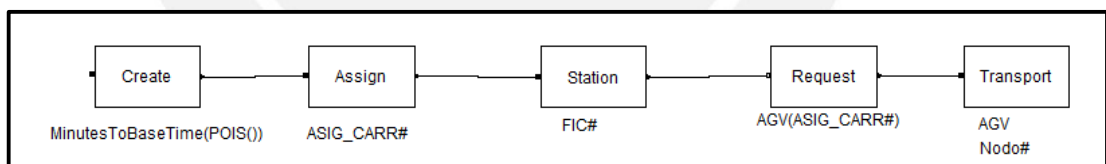


Ilustración 4.11 Entrada de entidades al sistema

Elaboración Propia

Para poder ubicar el número de vehículos necesarios en mi sistema, se han localizados en zonas entre intersecciones ficticias, existen dos ficticias por cada nodo. La distancia entre estas intersecciones es igual al número de vehículos que presenta cada nodo, para así localizar cada uno de ellos en una zona entre intersecciones. La velocidad de los vehículos para recorrer las uniones entre estaciones ficticias o unión con alguna intersección ficticia, ha sido aumentada en cien veces su velocidad inicial, de esta manera hacer despreciable el tiempo empleado al llamar a los vehículos.

Una vez la entidad y su vehículo ingresa al *network* del sistema, existen los llamados *Links* que son la unión entre intersecciones en el sistema, los vehículos tienen que decidir cuál *Link* tomar pues existe más de un camino entre intersecciones; se ha propuesto en el sistema que se elija con igual probabilidad un link para llegar a su destino, lo cual asemeja la realidad pues durante la acumulación de vehículos en una calle con dos sentidos, se acumulan por igual en cada uno. Esto se representa en SIMAN en el bloque *Transport* en el *operand Alternate Path* con la opción *VIA(LINK(LinkID))* donde *LinkID* representa el nombre del link que se usará para llegar a su destino.

En cada *Transport* para pasar al siguiente nodo se aplica la misma lógica para elegir el *link*, los cuales representan cuantos autos pueden pasar a la vez por una calle. Una vez dentro de los nodos, como ya se ha definido la ruta óptima en la sección 5.1, se conoce la secuencia a seguir. En la figura 4.12 se muestra la secuencia y como es necesario el bloque *Transport* para simular el sistema.

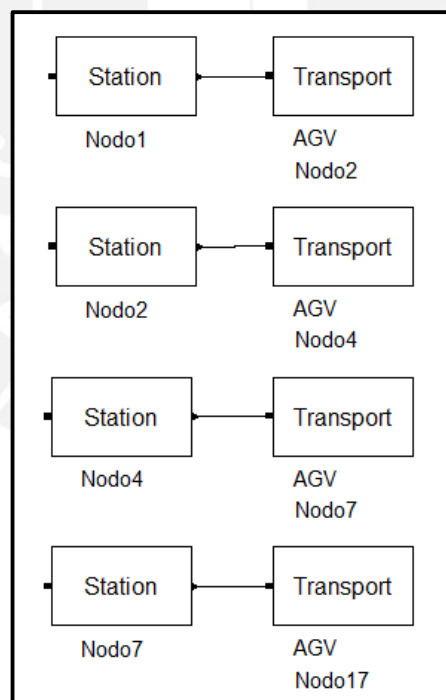


Ilustración 4.12 Ruta óptima en simulación

Elaboración Propia

Cada vehículo en la simulación tiene una velocidad de 100 zonas por segundo, esta velocidad tiene distintos factores de ajuste, ya sea por *link*, factor de giro en intersecciones o al presentarse tráfico en el tramo elegido. Cada *link* tiene un ángulo

respecto al eje este, lo cual permite saber que tanto requiere girar un vehículo para continuar su camino. Como se describe en las diapositivas “Simulación Avanzada” (Clemente, 2018), no todos los enlaces entre intersecciones serán una sucesión de líneas rectas (horizontales o verticales) sino que pueden tomar diferentes ángulos según su dirección.

Así mismo, en las diapositivas se explican las opciones de enlace según direccionalidad en el Arena: unidireccional, bidireccional y *spur*. Unidireccional es cuando un *link* solo puede ser usado en una misma dirección, del mismo inicio al mismo fin; bidireccional se refiere a cuando un camino puede usarse tanto de ida como de vuelta; *Spur* es un camino sin salida, la intersección final no es una intersección del sistema, este enlace se usa para evitar un posible bloqueo del sistema o como depósito de vehículos que ya no intervienen en la simulación. En la simulación planteada solo se usan enlaces unidireccionales, puesto que como se explicó en el capítulo 3, durante el estado de emergencia del distrito se prohíbe la entrada para utilizar las calles, solo se puede usar con dirección a la zona segura en caso de tsunami.

Durante el desarrollo del sistema, en cada intersección existe la posibilidad que haya más de un transporte proveniente de enlaces distintos queriendo entrar, debido a esto, es necesario indicar una regla con la que la intersección priorizará determinado transporte que quiere acceder a ella, teniendo como opciones: FCFS (*first come, first served*), LCFS (*last come, first served*), mayor cercanía (o lejanía) al destino y priorización según algún atributo de la entidad que controla el transporte. Para la simulación de la evacuación planteada se utiliza la regla FCFS, es decir, el primer auto en llegar será aquel que use primero la intersección.

Para el tamaño de vehículos en la simulación se ha designado que cada transporte mida una zona en el sistema, además cada uno tiene un factor de ajuste al momento de giro en intersecciones, 8% de su velocidad inicial. Cada transporte para moverse dentro de los enlaces tiene una lógica de control o liberación de zonas ocupadas conforme avanza el proyecto, se tienen tres tipos de lógicas: *START*, donde cada vehículo libera la zona más atrasada apenas se da la orden de avanzar; *END*, se libera la zona más atrasada después de alcanzar la siguiente zona y la lógica *k* donde se libera la última zona después de avanzar *k* unidades. En el proyecto para la evacuación de La Punta se ha utilizado la lógica *START* en cada enlace del sistema.

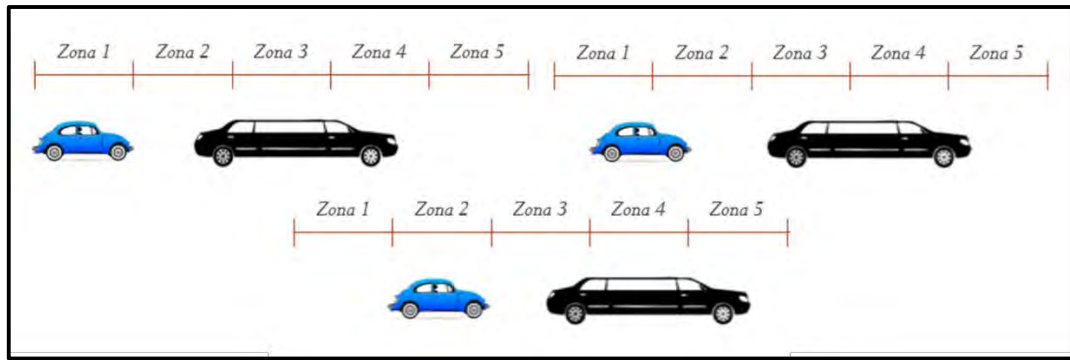


Ilustración 4.13 Lógica de avance

Fuente: Diapositivas de simulación avanzada

Por último, al llegar un vehículo a un nodo definido como zona segura, se procede a contar la entidad como una salida del sistema y a enviar el transporte a un depósito fuera del sistema de evacuación. De esta manera se puede evaluar cómo cambia el rango de salidas cuando se hacen cambios en las variables iniciales del modelo y ver cuál es la mejor opción para mejorar el rendimiento de un indicador a elección, en este caso sería el número de transportes que son contados como salida de del sistema.

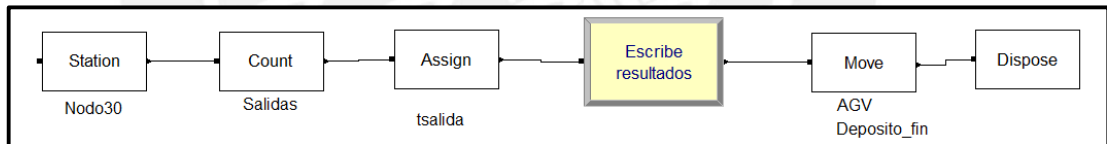


Ilustración 4.14 Salida del sistema

Elaboración propia

## Capítulo 5 RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos tras la ejecución del modelo de optimización y simulación del problema planteado. La función objetivo del modelo en general es minimizar los tiempos de salida de la zona de peligro y predecir la cantidad o porcentaje de población que podría evacuar, esto se traduce en un nivel mayor de seguridad en la población al momento de evacuar.

### 5.1. Rutas de evacuación

A continuación, se muestra las rutas calculadas para la evacuación en el distrito La Punta a partir de cada nodo, además se muestra el tiempo que toma toda la ruta, este tiempo es calculado con la distancia existente entre nodos y el tráfico promedio existente al momento de la evacuación. En los dos escenarios estudiados se muestra los resultados de las rutas a tomar, existen varias coincidencias puesto que ya existían arcos los cuales tenían su máximo nivel de velocidad, que es el único cambio del escenario con bajo movimiento peatonal o nocturno respecto al escenario con movimiento peatonal.

La tabla 5.1 muestra la ruta como la cadena de los nodos que se deberían seguir partiendo del nodo base que es del cual parte el vehículo, la cadena continúa hasta llegar a un nodo que se ha definido zona segura como ya se había mencionado antes en la sección 2.2.3 según la Municipalidad de La Punta. Además, en la tabla podemos encontrar el tiempo de evacuación para cada ruta de evacuación que, según el modelo de optimización, muestra el menor tiempo promedio partiendo de ese nodo, el tiempo se ha obtenido sumando cada tiempo de todos los arcos de la cadena.

La situación actual muestra varios cruces en las rutas de evacuación para distintos nodos, por eso se debe evaluar cómo afecta al momento de la evacuación la salida de vehículos de los distintos nodos al tomar un cruce entre sus rutas de salida.

En la tabla también se puede divisar que cualquier vehículo que comience su recorrido en el minuto 0 podría llegar a una zona segura, puesto que el mayor tiempo de evacuación sucede en el nodo 1 pero es menor que el tiempo estimado por INDECI (2010) para la llegada de la primera ola, que como se mencionó capítulos anteriores es 15 minutos.

Tabla 5.1 Rutas de evacuación por nodo

Nodo	Escenario con movimiento peatonal		Escenario bajo movimiento	
	Ruta de Evacuación	Tiempo de Evacuación (min)	Ruta de Evacuación	Tiempo de Evacuación (min)
1	1-3-5-6-11-12-13-22-27	8.49	1-3-5-10-14-23-28	4.25
2	2-4-7-17-24-25-30	8.35	2-4-3-5-10-14-23-28	4.37
3	3-5-6-11-12-13-22-27	5.92	3-5-10-14-23-28	3.22
4	4-7-17-24-25-30	5.07	4-3-5-10-14-23-28	3.34
5	5-6-11-12-13-22	2.44	5-10-14-23-28	2.09
6	6-11-12-13-22	3.13	6-5-10-14-23-28	2.23
7	7-17-24-25-30	2.95	7-17-24-25-30	2.95
8	8-16-17-24-25-30	3.91	8-16-29	2.09
9	9-15-16-17-24-25-30	4.13	9-15-16-29	2.29
10	10-11-12-13-22-27	2.46	10-14-23-28	1.71
11	11-12-13-22-27	2.26	11-10-14-23-28	1.91
12	12-13-22-27	1.86	12-13-22-27	1.86
13	13-22-27	1.41	13-22-27	1.41
14	14-23-28	2.62	14-23-28	1.16
15	15-16-17-24-25-30	3.21	15-16-29	1.74
16	16-17-24-25-30	3.04	16-29	1.57
17	17-24-25-30	1.98	17-24-25-30	1.98
18	18-24-25	1.54	18-19-31	1.49
19	19-30	2.21	19-31	1.09
20	20-31	3.99	20-31	1.28
21	21-26	0.93	21-26	0.93
22	22-27	0.92	22-27	0.92
23	23-28	1.24	23-28	0.75
24	24-25-30	1.20	24-25-30	1.20
25	25-30	0.60	25-30	0.60

Elaboración Propia



En los siguientes gráficos se muestra un ejemplo de las rutas calculadas para la evacuación en los dos escenarios. Las líneas trazadas indican de los nodos a seguir para poder llegar a zona segura.



Ilustración 5.1 Rutas de evacuación, movimiento peatonal regular

Elaboración Propia



Ilustración 5.2 Rutas de evacuación, bajo movimiento peatonal

Elaboración Propia

## 5.2. Simulación de la evacuación del distrito La Punta

Uno de los problemas más grandes a lo que se pueden enfrentar las personas al momento de evacuar en un vehículo es el momento al salir a las calles, esto debido a que se tiene la incertidumbre de cómo estará el movimiento vehicular y si podrán llegar a tiempo a una zona segura. Este momento puede depender de la preparación mental de las personas, así como, de si están preparados en cualquier momento para poder salir de su casa con todo lo que necesitan.

Cada ruta obtenida en la sección anterior permite la salida de los vehículos a una zona segura determinada por la municipalidad de La Punta. Cada vehículo que entra en cada ruta puede tener distintos tiempos de salida debido a la cantidad de vehículos que se van acumulando. Se considera que cada vehículo respeta al siguiente y posterior, por lo que, no existen choques durante este proceso de evacuación.

Se conoce que hay dos diferentes situaciones en las cuales se puede lanzar la alerta de tsunami en el distrito, por lo que se hace una comparación entre ambas para conocer la diferencia de estas.

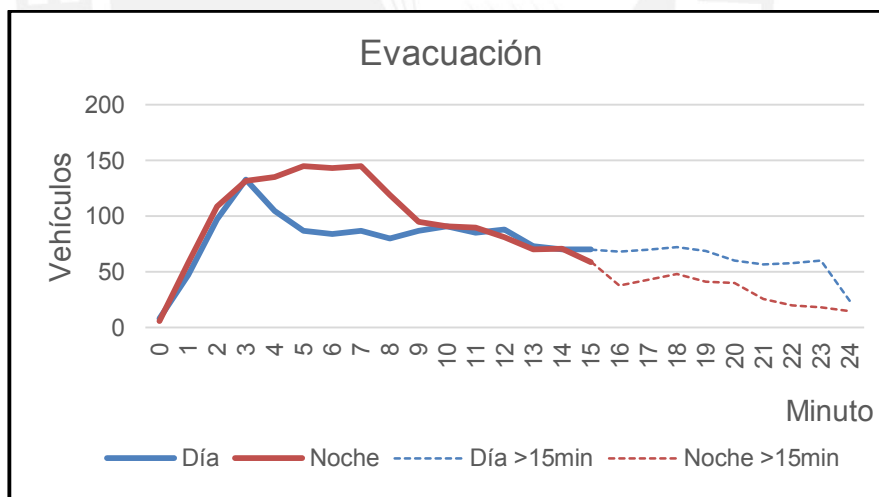


Ilustración 5.3 Evacuación día vs noche

Elaboración propia

Como se puede observar en la ilustración 5.3, en el escenario de la noche se puede evacuar de manera más rápida la demanda existente. En un inicio parecen evacuar al mismo ritmo los instantes día y noche, pero esto debido a los nodos que se encuentran más cercanos a las zonas seguras, aquellas rutas que son directas a la

salida, es decir, que solo tienen dos nodos en su camino, evacuan la misma cantidad de vehículos en los dos instantes del día. Posteriormente la congestión inicial no permite seguir el mismo ritmo al escenario de día que al de noche. Este gráfico se hizo en base al tiempo de salida de las entidades del sistema. Tomando en cuenta solo los nodos correspondientes al distrito La Punta, la cantidad de vehículos evacuados en menos de 15 minutos aumenta de 181 a 284 autos mostrando la diferencia en la ilustración 5.3 (al comparar el día contra la noche), asumiendo 2.5 personas por vehículo, pasaríamos de evacuar el 11% al 17% de la población.

Se realizó una segunda simulación en la cual se redujo el tiempo de ingreso de las entidades al sistema o en la situación real se le llamaría el tiempo de reacción de las personas.

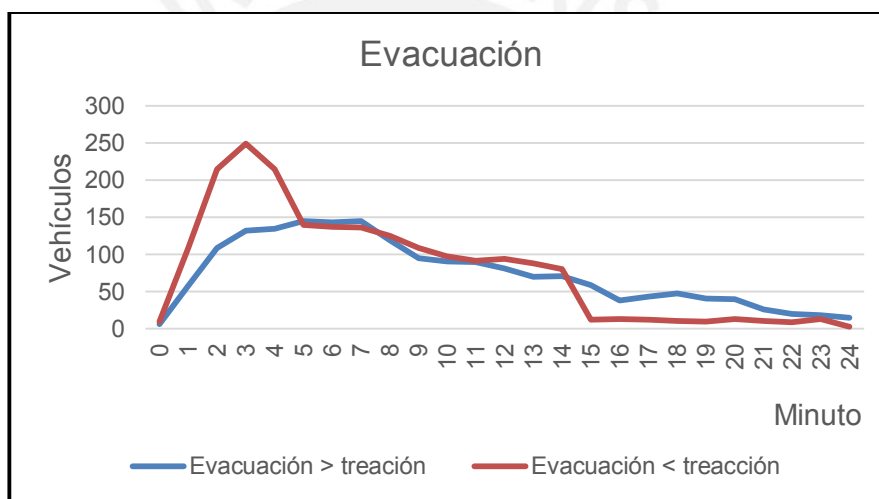


Ilustración 5.4 Evacuación con dos tiempos de reacción en la noche

Elaboración Propia

En el segundo escenario se redujo el tiempo de reacción de 7 minutos en promedio a 4.2 minutos. Como se puede ver en la imagen 5.4 a menor tiempo se maximiza el número de evacuados antes de los primeros 15 minutos, 360 vehículos adicionales en una zona segura (treacción mayor 1549 vehículos, treacción menor 1909 vehículos). Tomando en cuenta solo los nodos correspondientes al distrito La Punta, la cantidad de vehículos evacuados en menos de 15 minutos aumenta de 284 a 416 autos durante la noche, asumiendo 2.5 personas por vehículo, pasaríamos de evacuar el 17% al 25% de la población.

Otra vista que se puede obtener de la simulación es como varía el tiempo en el sistema, el tiempo que le toma a un vehículo desde que entro a la red para salir de esta a una zona segura, durante el transcurso de los minutos.

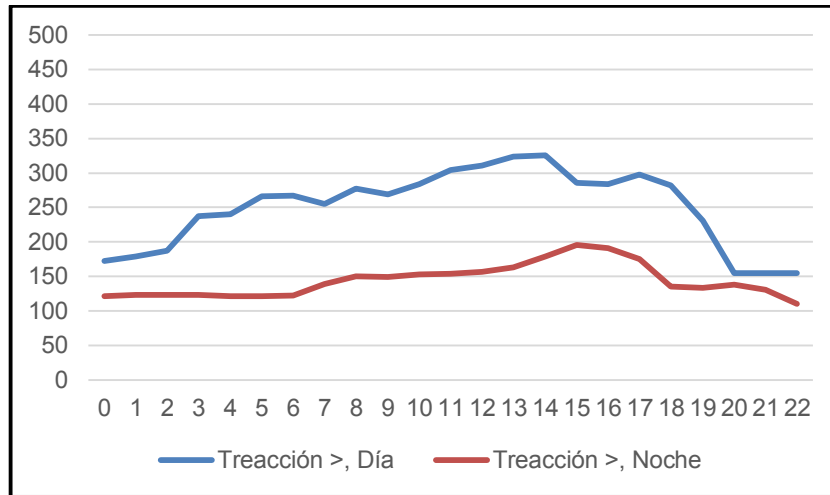


Ilustración 5.5 Tiempo en el sistema con tiempo reacción mayor  
Elaboración Propia

Como se puede observar en la ilustración 5.5 el tiempo en el sistema aumenta después de unos minutos, como consecuencia de la acumulación de vehículos en las calles, aumentando el tráfico en la red, este hecho indica que el flujo de salida es menor que la entrada de los vehículos a la red. Después de varios minutos el tiempo de sistema cae debido a que la cantidad de vehículos va disminuyendo y se tiene más carros en una zona segura. Además, el hecho que la simulación se realice durante el día o la noche también afecta este indicador ya que, durante el día ya existe una congestión de vehículos que hace más lento la salida.

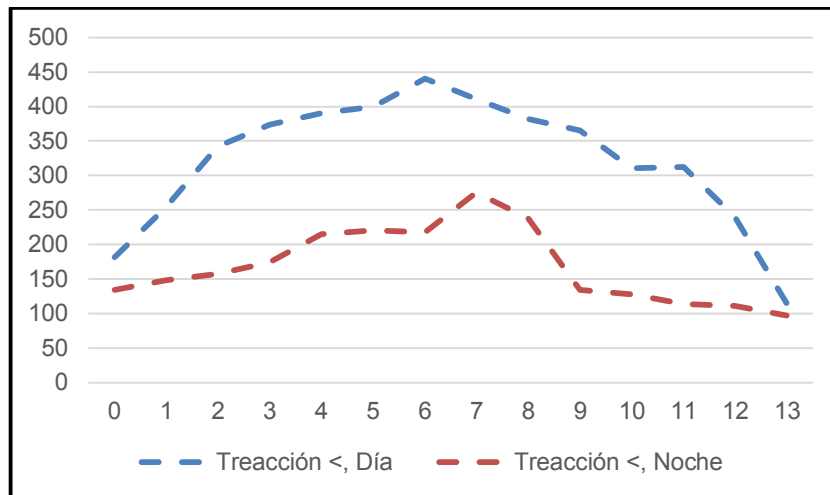


Ilustración 5.6 Tiempo en el sistema con tiempo reacción menor

Elaboración Propia

Cuando el tiempo de reacción de las personas se ajusta a un valor menor que con el que se hizo la ilustración 5.5, este tiempo de reacción se mencionó anteriormente, el tiempo en el sistema aumenta de manera considerable en menos tiempo y a un nivel superior. Lo cual indica una mayor acumulación de vehículos. Sin embargo, dada la ilustración 5.4 este no llega a ser tal que haga menor la salida de los vehículos, por el contrario, se comprueba que, si bien pasan más tiempo en la red en promedio, la cantidad de evacuación llega a ser mayor.

Por otro lado, también se tiene el detalle de salidas por nodo, con esto se puede conocer el máximo instante de salida en la cual un nodo pudo llegar a una segura, esto en otras palabras sería el tiempo límite en el cual una persona podría entrar a las calles para poder evacuar y llegar antes de los primeros 15 minutos a una zona segura. En caso una persona ya haya pasado del tiempo límite para poder evacuar, de acuerdo a lo explicado en el capítulo 2.3 se tiene como otra alternativa albergarse en un edificio alto, habiendo 19 edificios en La Punta que cumplen las características de albergue.

Tabla 5.2 Instante máximo de salida por nodo para evacuar el distrito

Día		Noche	
Nodo	Instante límite de salida (min)	Nodo	Instante límite de salida (min)
1	5.8	1	9.8
2	6.0	2	9.7
3	8.7	3	11.1
4	9.0	4	11.0
5	12.1	5	12.7
6	10.6	6	12.5
7	11.5	7	11.7
8	10.9	8	12.6
9	10.2	9	12.3
10	11.8	10	13.0
11	12.2	11	12.8
12	13.0	12	12.9
13	13.1	13	13.4
14	12.1	14	13.7
15	11.5	15	13.1
16	11.9	16	13.2
17	12.9	17	13.0
18	13.2	18	13.4
19	12.4	19	13.9
20	10.6	20	13.7
21	14.1	21	13.9
22	14.1	22	14.0
23	13.6	23	14.2
24	13.7	24	13.7
25	14.4	25	14.4

Elaboración Propia

En la tabla 5.2 se muestra que durante el tiempo día, las personas presentan menor tiempo de reacción límite para poder evacuar, esto debido principalmente al tráfico esperado en el momento inicial durante este período de simulación. Durante el tiempo noche se puede evacuar la zona peligrosa de manera más rápida y el tiempo va aumentando dependiendo de qué tan alejado se encuentra el nodo de la zona de evacuación. Existen nodos con el mismo instante límite durante los dos períodos, esto se debe a la poca cantidad de demanda y a que su ruta de evacuación no se encuentra tan gobernada por el tráfico.

## Capítulo 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el último capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones para el problema planteado en el distrito La Punta.

### 6.1. Conclusiones

Dado lo visto en el capítulo 5 y durante el desarrollo de la investigación, se puede inferir lo siguiente:

- El Perú se encuentra ubicado en el llamado cinturón de fuego del pacifico, zona que concentra áreas de subducción más importantes del mundo, estas ocasionan una intensa actividad sísmica y volcánica, por lo cual existe una latente amenaza de tsunamis en el país. Estos eventos ya han tenido lugar en 1586, 1604, 1687, 1746, 1806; siendo las consecuencias del más devastador la muerte del 96% de habitantes. Según la Dirección de Hidrografía y Navegación de La Marina de Guerra del Perú (DHN), más del 70% de los tsunamis en el mundo ocurren en el océano Pacífico. Todos estos acontecimientos y datos pueden generar un problema en la confianza y seguridad de los habitantes de las zonas más propensas a sufrir uno de estos tipos de desastres.
- El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), a través de un modelo digital de elevación con grillas, ha logrado estimar escenarios sísmicos y sus repercusiones en tsunamis hipotéticos. Se conoce que, para el Callao, distrito La Punta, las alturas de las olas de un tsunami de 8.5Mw podrían llegar a tener una altura de 10 metros y un tiempo de llegada a la costa de aproximadamente 15 minutos. Como consecuencia de este acontecimiento se podría tener varias bajas tanto en lo económico y vidas humanas de no tener un plan de acción y una salida adecuada de la zona para alejarse del peligro. Por todo esto, se tienen distintos proyectos de refugios en construcción para la zona y además se debe tener un plan de evacuación para toda la zona en general.
- Al realizar un diagnóstico completo de la situación actual en el distrito La Punta ante un eventual desastre por tsunami, se obtuvo que, para optimizar una salida rápida se debe tomar las rutas adecuadas dependiendo del

momento del día y lugar en que se encuentre el afectado, como se puede observar en la sección 5.1. Siendo así, se utiliza un modelo de simulación de eventos discretos para determinar tiempos de salida en base a lugar y minuto de partida; de esta manera cubrir inseguridades en los ciudadanos y tomar una decisión adecuada en evacuar o buscar un refugio en algún edificio alto del distrito.

- Como se puede observar en el capítulo 5, la evacuación de la zona de peligro se puede realizar de manera más rápida durante la noche, debido principalmente a que en ese momento no hay tráfico acumulado en las calles para la salida del lugar, haciendo que la velocidad promedio por tramo entre nodos sea mayor, terminando en un menor tiempo para pasar de nodo en nodo. Además, al estar distribuido de otra manera la demanda en cada punto afecta el tráfico de manera distinta, comparando ambos escenarios se llega a concluir que se pasa de evacuar el 11% durante el día al 17% durante la noche de la población de La Punta.
- Durante el pasar de los minutos al momento de evacuar, los vehículos no paran su salida, esto afecta las variables que intervienen en el tiempo de evacuación final, esto termina afectando el tiempo de manera negativa, es decir, aumentándolo. A causa de esto, al avanzar en el tiempo en la simulación se observa una disminución en la cantidad de vehículos que salen del sistema a una zona segura, disminuyendo la posibilidad de evacuar y el porcentaje de evacuados del distrito La Punta.
- Una inversión en el aprendizaje y educación ante una emergencia de la población del distrito La Punta, mejorando el orden y manteniendo la calma en la actitud de las personas para poder elegir como evacuar la zona. A causa de esto, disminuir el tiempo de reacción para llegar a los vehículos de la población para quienes opten por este medio y de esta manera se pueda aumentar en gran medida la cantidad de evacuados de la zona durante el período que las olas del tsunami aún no llegan a las costas. Prueba de esto en la sección 5.2, en la simulación con un cambio en el tiempo de reacción se pasó de evacuar el 17% al 25% de la población de La Punta.
- Finalmente se conoce que en la zona más alejadas del área destinada como segura en caso de emergencia por tsunami, el máximo instante en el que su



tiempo de evacuación supera más de 15 minutos en salir es de 5.8 minutos durante el día y 11.7 minutos durante la noche; mientras que hay otras zonas donde la ruta de escape es directa, sin tráfico y sin la necesidad de pasar por otras áreas con alta densidad vehicular, dando como resultado un instante máximo de salida hasta en el minuto 14 y llegar a una zona segura.

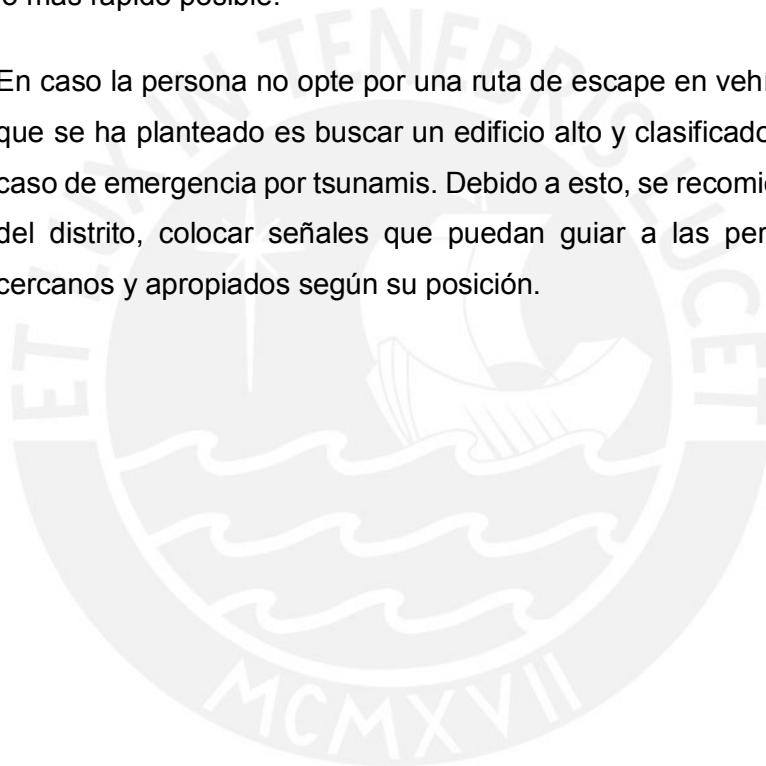
## 6.2. Recomendaciones

El modelo de simulación actual se basa en recrear la salida de los vehículos del distrito de La Punta en caso de emergencia por tsunami; sin embargo, se puede llegar a mejores resultados tomando en cuenta algunos aspectos.

- Realizar un estudio preciso del tráfico en el distrito, de esta manera conocer las razones y causas del mismo en las distintas zonas de La Punta, estos datos pueden ayudar a llegar a una solución para poder resolver esta problemática que acosa a distintas partes de Lima, mejorando los resultados mostrados y explicados en el capítulo 5.
- Analizar el tipo de vehículo que circula en el distrito La Punta; así como, sus cantidades relativas respecto al total circulante, revisando velocidades y tamaños que estos tienen. De esta manera, realizar simulaciones con entrada de vehículos distintos adecuándolo más a la realidad donde existen camiones, camionetas, autos, etc. Evitando una simulación con un tipo de vehículo promedio en la evacuación.
- El modelo de simulación puede aplicarse a otros distritos con bastantes zonas de peligro y poder evaluar una evacuación de la zona. De esta manera, todo ciudadano podrá encontrar una ruta óptima para evacuar en auto y llegar a estar fuera de alguna zona de peligro. Incluso si estas rutas de escape estuvieran interconectadas o intervinieran entre ellas el modelo tomaría esto en cuenta y daría resultados próximos a la realidad.
- Realizar distintas simulaciones para escenarios con entrada de vehículos a distintos sistemas, con otros tiempos de entrada de vehículos o distintas velocidades iniciales por el tráfico, podría llevar al programa a conocer una velocidad inicial que optimice la cantidad de vehículos evacuados. Así mismo,

se puede variar el tiempo de entrada de los vehículos al sistema hasta llegar a uno ideal dado que, entre más autos estén acumulados en las calles, mayor es el tiempo en el sistema. Por lo tanto, existe una velocidad inicial en las calles y un tiempo de reacción ideal para maximizar la cantidad de vehículos en el distrito.

- Con la propuesta actual se conoce hasta que momento es seguro para un ciudadano poder evacuar el distrito, entrar más rápido al sistema permite evacuar antes; por lo que, se debe realizar una campaña de enseñanza para poder tener una mochila en caso de emergencias y como evacuar en calma, lo más rápido posible.
- En caso la persona no opte por una ruta de escape en vehículos, la solución que se ha planteado es buscar un edificio alto y clasificado como seguro en caso de emergencia por tsunamis. Debido a esto, se recomienda en las calles del distrito, colocar señales que puedan guiar a las personas a refugios cercanos y apropiados según su posición.



## BIBLIOGRAFÍA

- Abdul y Adriano, Bruno (2015). *Recent Advances in Agent – Based Tsunami Evacuation Simulations: Case Studies in Indonesia, Thailand, Japan and Peru*
- Anderson, M. Woodrow, P. (1989). *Rising from the Ashes: Development Strategies in Times of Disaster*. Boulder y San Francisco: Westview Press
- Aneas de Castro, S.D. (2000). Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. 15/11/2017, <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>
- Asociación peruana de Empresas de Investigación de Mercados (APEIM) (2016). Niveles Socioeconómicos 2016. <http://www.apeim.com.pe/wp-content/themes/apeim/docs/nse/APEIM-NSE-2016.pdf>
- Azarang, Nohammad, Garcia, Eduardo. (1996). *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. México: McGraw Hill
- Banco de Crédito del Perú (BCP). Capas de información a través de la herramienta ArcGis del banco
- Callao: terremoto de 8,5 grados causaría olas de 10 metros en La Punta (2017, 21 de agosto). *El Comercio*. Obtenido el 24/09/2017 de <http://elcomercio.pe/lima/callao/callao-terremoto-8-5-grados-causaria-olas-10-metros-punta-noticia-451849>
- Cardona, O.D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad el riesgo, Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo. 15/11/2017. <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>
- Centro Nacional de Alerta de Tsunami. ¿Qué es un Tsunami? Historia del Perú Obtenida el 24/09/2017 de <https://www.dhn.mil.pe/cnat/index.php?cat=tsunamis>
- Clemente, Luis Alfredo. “Simulación Avanzada” [diapositivas] (2018). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería
- D. Rossetti, Manuel y Ni, Qingbiao (2010). *Simulating Large-Scale Evacuation Scenarios in Commercial Shopping Districts – Methodologies Case Study* Mas, Erick; Koshimura, Shunichi; Imamura, Fumihiko; Suppasri, Anawat; Muhari,
- Enrique Gonzales Guerrero. (2002) *Concurrencia en sistemas multiagente: implementación de un simulador de tráfico urbano*.
- Eppen, G. D., & González, R. A. C. T. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa: Construcción de modelos para la toma de decisiones con hojas de cálculo electrónicas*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Fábregas, Aldo, Wadnipar, Rodrigo, Paternina, Carlos, Mancilla, Alfonso (2003). *Simulación de sistemas productivos con Arena*. Bogotá: Editorial Uninorte.

- Frederick S. Hillier y Gerald J. Lieberman. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. California: McGraw Hill
- Guo Li, Ying Zhou, y Mengqi Liu. (2014). *Comprehensive Optimization of Emergency Evacuation Route and Departure Time under Traffic Control*.
- Hamdy A. Taha. (2012). *Investigación de Operaciones*. Fayetteville: PEARSON
- Hays, W. Mohammadioun, B. Mohammadioun, J. (1998). *Seismic Zonation: A Framework for Linking Earthquake Risk Assessment and Earthquake Risk Management*
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2010). Estudio de Peligro de Maremoto en Lima y Callao y Cartografía de las Zonas Inundables. 24/09/2017, de BVPAD <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2152/doc2152.htm>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2011). Capas de información para la herramienta ArcGis compradas por el Banco de Crédito del Perú (Proyección 2018)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2012-2013). Consolidado de Información Datos Principales Distrito La Punta
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014). CD Compendio Estadístico Provincia Constitucional del Callao
- Kelton W. D., Sadowski R. P., & Sadowski, D. A. (1998). *Simulation with Arena*. Boston, Mass: WCB/McGraw-Hill.
- Leebov, Wendy, Ersoz, Clara (1993). *Manual de los Administradores de Salud para el Mejoramiento Continuo*. Guadalupe, Santa fe de Bogotá
- Medina, Javier; Ortiz, Felipe; Franco, Carlos; Aranzaú, Carolina (2010). *Matriz de Priorización para la Toma de Decisiones*. Santiago de Cali
- Municipalidad Distrital de La Punta (2006). Plan de Desarrollo Concertado de La Punta 2004-2015. 23/09/2010, [http://www.munilapunta.gob.pe/contenidos-nfs/files/plan\\_de\\_desarrollo\\_2004-2015.pdf](http://www.munilapunta.gob.pe/contenidos-nfs/files/plan_de_desarrollo_2004-2015.pdf)
- Municipalidad Distrital de La Punta (2010). Plan Tsunami La Punta. 23/09/2010, [http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/pdf/meeting/110921/Tsunam\\_Plan-La\\_Punta.pdf](http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/pdf/meeting/110921/Tsunam_Plan-La_Punta.pdf)
- Ministerio de Salud (MINSa) (2014). "Matriz de priorización". 15/11/2017, <http://www.minsa.gob.pe/dgsp/observatorio/documentos/herramientas/MatrizdePriorizacion.pdf>
- Rodríguez, A.H. (2011). Análisis y Evaluación de riesgo Sísmico en Líneas Vitales. Caso de Estudio Bogotá D.C. 15/11/2017 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4879/11/795032.2011.parte11.pdf>

Sistema Nacional de Defensa Civil (2009). Gestión del Riesgo de Desastres. 24/09/2017, de CENEPRED Sitio web <http://www.cenepred.gob.pe/web/download/PLANAGERD%202014-2021.pdf>

Toshikatsu Yoshii (1979). *A detailed cross-section of the deep seismic zone beneath northeastern Honshu, Japan*. Tokyo, Elsevier B.V

Williams Stallings. (2011). *Comunicaciones y Redes de Computadoras*. Madrid: PEARSON

