

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**LOCALIZACIÓN DE ALMACENES DE AYUDA HUMANITARIA EN  
CASO DE TERREMOTOS EN CERCADO DE LIMA UTILIZANDO  
PROGRAMACIÓN ENTERA**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial**

**AUTOR:**

**GUSTAVO ANDRES URIBE PATIÑO**

**ASESOR:**

**CHRISTIAN SANTOS CORNEJO SÁNCHEZ**

Lima, agosto, 2022

## Informe de similitud


Yo, Christian Santos Cornejo Sánchez, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada

Localización de almacenes de ayuda humanitaria en caso de terremotos en  
Cercado de Lima utilizando programación entera

del autor Gustavo Andrés Uribe Patiño, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 13%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 30/03/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lima, 29/09/2023

Apellidos y nombres del asesor: Cornejo Sánchez, Christian Santos	
DNI: 09868135	Firma 
ORCID: 0000-0003-1297-5510	

## Resumen

Esta tesis empieza con una revisión de la literatura acerca de la ocurrencia de terremotos, sus causas y el impacto que pueden generar. Asimismo, se realiza un análisis de vulnerabilidad en Lima que muestra características que permiten determinar el nivel de vulnerabilidad física, como el tipo de suelo y la calidad de la infraestructura. Además, se explora el nivel de ingresos y la densidad poblacional de la metrópoli que son características que determinan el nivel de vulnerabilidad socioeconómica.

El análisis de la vulnerabilidad revela que, frente a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud en Lima, el distrito del Cercado de Lima es vulnerable debido a la calidad de su infraestructura en el Centro Histórico de Lima y al nivel de ingresos per cápita por hogares. Se formula y resuelve un modelo de programación lineal entera que tiene como finalidad determinar los mejores lugares para localizar almacenes de bienes de ayuda humanitaria en el Cercado de Lima minimizando los costos de localización y transporte. Para esto, se consideran 10 nodos demandantes y 13 nodos ofertantes (almacenes). Además, se consideran parámetros de cobertura de demanda, costos y presupuestos de transporte y localización y cantidad de viajes por vehículo. El análisis parte con valores iniciales para estos parámetros que se irán aumentando en 10 corridas distintas para observar el comportamiento del modelo y determinar los valores en los que los costos se minimizan. Al realizar todas las corridas, se aprecia que el valor de la cobertura es el que influye más en los resultados del modelo debido a que cuando su valor incrementa, el costo total se ve más reducido en comparación a cuando los otros parámetros aumentan su valor y la cobertura se mantiene constante. Finalmente, los resultados indican que con un presupuesto de transporte de S/ 20 por vehículo, una cobertura de 1 500 kits por cada almacén – nodo demandante y un viaje por vehículo se puede atender completamente la demanda total utilizando 7 almacenes provisionales y 63 vehículos, cuyo costo total sería de S/ 44 106.48, el cual es el menor costo obtenido en todas las corridas del modelo.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	iii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	iv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1. Análisis y diagnóstico de la problemática.....	3
1.1. Terremotos .....	3
1.1.1. Registro de terremotos en el Perú .....	4
1.1.2. Impactos de los terremotos más importantes en Perú .....	5
1.2. El panorama de Lima con respecto a la ocurrencia de terremotos.....	6
1.2.1. Laguna sísmica.....	6
1.3. Análisis de vulnerabilidad en Lima Metropolitana.....	7
1.3.1. Vulnerabilidad física .....	7
1.3.2. Vulnerabilidad socioeconómica .....	11
1.3.3. Síntesis de la vulnerabilidad de Lima .....	14
1.4. Vulnerabilidad del Cercado de Lima y el Centro Histórico de Lima.....	14
Capítulo 2. Modelo matemático.....	20
2.1. Justificación de modelo.....	20
2.2. Consideraciones y supuestos.....	20
2.2.1. Puntos de oferta y demanda .....	21
2.2.2. Estimación de personas afectadas .....	24
2.2.3. Costos de transporte, localización y presupuesto asignado.....	25
2.2.4. Suministros y vehículos utilizados.....	27
2.3. Formulación del modelo .....	27
2.4. Codificación del modelo .....	29
Capítulo 3. Análisis de resultados.....	33
3.2. Almacenes ubicados y costo total de localización .....	35
3.3. Cantidad de vehículos utilizados.....	37
3.4. Función objetivo .....	38
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones.....	41
4.1. Conclusiones .....	41
4.2. Recomendaciones .....	42
Referencias.....	44
Anexos .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Variables para calcular el nivel de vulnerabilidad física .....	8
Tabla 1.1 Ingreso per cápita por hogar en los años 2016 y 2020 en el Cercado de Lima.....	18
Tabla 2.1 Ubicación de los lugares catalogados como albergues (nodos de demanda).....	21
Tabla 2.2 Nombre de los posibles puntos para la localización de almacenes (nodos de oferta).....	24
Tabla 2.3 Familias afectadas agrupadas según nodo de demanda más cercano .....	25
Tabla 2.4 Matriz de costo de transporte en soles (S/) .....	26
Tabla 2.5 Descripción detallada del contenido de un <i>kit</i> para una familia de cuatro personas.....	27
Tabla 3.1 Número de conexiones obtenidas según el número de corrida .....	34
Tabla 3.2 Resultados de CTTT para todas las corridas .....	35
Tabla 3.3 Cantidad de almacenes obtenidos para cada corrida.....	36
Tabla 3.4 Costo total de localización según el número de corrida.....	37
Tabla 3.5 Cantidad de vehículos utilizados en cada corrida .....	38
Tabla 3.6 Resultados de FO para todas las corridas .....	39
Tabla 3.7 Nodos de oferta seleccionados según resultados del modelo .....	40



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. Cantidad de terremotos registrados desde el año 1900 hasta el año 2020 .....	3
Ilustración 1.2. Cantidad de terremotos registrados en Perú desde el año 1900 hasta el año 2020 .....	4
Ilustración 1.3. Sismos más representativos medidos en magnitud momento en Perú desde el año 1900 hasta el año 2020.....	4
Ilustración 1.4. Cantidad de fallecidos registrados en los sismos de mayor impacto registrados en el Perú .....	5
Ilustración 1.5. Cantidad de heridos registrados en los sismos de mayor impacto en el Perú .....	5
Ilustración 1.6. Cantidad total de afectados en términos de heridos y fallecidos .....	6
Ilustración 1.7. Zonas de rupturas y lagunas sísmicas durante los siglos XIX, XX y XXI en el borde occidental de Perú y Chile .....	7
Ilustración 1.8 Mapa de suelos en los distritos de Lima .....	9
Ilustración 1.9. Porcentaje de viviendas según el material predominante en sus pisos .....	10
Ilustración 1.10. Porcentaje de viviendas según su material predominante en sus paredes.....	10
Ilustración 1.11. Porcentaje de viviendas según su material predominante en sus techos.....	10
Ilustración 1.12 Población y variación, provincia de Lima .....	11
Ilustración 1.13. Variación en la densidad poblacional de la Provincia de Lima .....	12
Ilustración 1.14. Número de personas según nivel socioeconómico desde el 2014 hasta el 2020 .....	13
Ilustración 1.15. Ingresos según nivel socioeconómico desde el 2014 hasta el 2020 .....	13
Ilustración 1.16. Mapa de vulnerabilidad sísmica de Lima Metropolitana y Callao .....	15
Ilustración 1.17. Mapa de suelos para el Centro Histórico de Lima .....	16
Ilustración 1.18. Manzanas que presentan viviendas en estado de precariedad en el Cercado de Lima .....	17
Ilustración 1.19. Mapa que presenta a la vulnerabilidad estructural en el Centro Histórico de Lima ..	17
Ilustración 1.20. Mapa de pobreza por manzana en el Cercado de Lima .....	19
Ilustración 2.1. Localización de los albergues en el Cercado de Lima Fuente: Elaborado con información de la MML (2016). .....	22
Ilustración 2.2. Localización de puntos ofertantes en el Cercado de Lima.....	23
Ilustración 2.3. Mapa del Cercado de Lima dividido por Zonas.....	24
Ilustración 2.4 Container de 40 pies .....	26
Ilustración 2.5. Importación de la librería pulp, creación de modelo e índices en Python 3 .....	30
Ilustración 2.6. Codificación de la demanda de kits sen cada punto en Python 3.....	30
Ilustración 2.7. Codificación de los presupuestos, costos, cobertura, peso, capacidad de carga y número de viajes en Python 3 .....	30
Ilustración 2.8. Codificación de los costos de transporte en Python 3.....	31
Ilustración 2.9. Codificación de las variables, función objetivo y restricciones en Python 3.....	32
Ilustración 3.1 Número de conexiones obtenidas para todas las corridas .....	34
Ilustración 3.2 Resultados de CTTT para todas las corridas.....	35
Ilustración 3.3 Cantidad de almacenes obtenidos para cada corrida.....	36
Ilustración 3.4 Costo total de localización obtenido para cada corrida.....	37
Ilustración 3.5 Cantidad de vehículos totales empleados según el número de corrida .....	38
Ilustración 3.6 Valores de la función objetivo para todas las corridas.....	39
Ilustración 3.7 Ubicación de los almacenes seleccionados por el modelo.....	40

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Rutas obtenidas en las distintas corridas .....	47
Anexo 2. Almacenes obtenidos en las distintas corridas .....	51
Anexo 3. Cantidad de vehículos según el almacén por corrida .....	51



# INTRODUCCIÓN

El Perú es un país que se encuentra ubicado geográficamente en el Cinturón de Fuego del Pacífico, lugar en donde ocurre cerca del 90% de la actividad sísmica del planeta (Tavera, 1993). Además, según Tavera (2017, p. 7), el litoral central del Perú presenta una laguna sísmica que viene acumulando energía desde 1746. Esta acumulación de energía es un aspecto preocupante porque a pesar de que algunos terremotos han ocurrido en la zona costera del país en los últimos años, estos solo representan una liberación del 30% de la energía acumulada hasta la fecha, lo cual según estudios realizados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2017) sugieren que el próximo sismo de gran magnitud puede llegar a alcanzar niveles similares a los 8.8 Mw. Este sismo puede afectar a las ciudades cercanas a esta laguna sísmica, entre las cuales se encuentra Lima Metropolitana, cuyo distrito Cercado de Lima en donde se ubica el Centro Histórico de Lima, tiene una infraestructura que puede verse seriamente afectada debido a su antigüedad y precariedad de sus materiales. En ese contexto, surge la necesidad de estudiar cuán vulnerable es Lima Metropolitana, y en particular, el Cercado de Lima.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, esta tesis recopila investigaciones relacionadas al análisis y determinación de la vulnerabilidad del Cercado de Lima, las cuales en síntesis abarcan aspectos físicos y socioeconómicos. Posteriormente, se formula un modelo de programación lineal cuyos resultados sirven de base para elaborar propuestas de localización de almacenes y distribuciones de bienes de ayuda humanitaria para ese distrito luego de ocurrido un terremoto en Lima.

Esta tesis se organiza en los siguientes capítulos:

En el capítulo 1 se presenta el diagnóstico sobre la situación actual de la población limeña, para ese propósito, se describe algunos de los terremotos de mayor impacto ocurridos en Perú y Lima en términos de su magnitud y de la cantidad de damnificados y fallecidos, para posteriormente analizar la vulnerabilidad física y socioeconómica de Lima Metropolitana, del Cercado de Lima y en particular del Centro Histórico de Lima. El análisis realizado consta de una parte cualitativa donde se analizan las características del suelo de Lima y se evalúan los materiales empleados en la infraestructura de las edificaciones y otra cuantitativa en el que se analizan datos demográficos y el nivel de ingreso promedio para Lima Metropolitana y el Cercado de Lima.

En el capítulo 2 se formula un modelo de programación lineal entera que tiene como finalidad atender a la mayor cantidad de damnificados por un sismo de gran magnitud. Para ello, se definen los parámetros relevantes en la elaboración de un modelo de logística humanitaria como la estimación sobre la cantidad de personas damnificadas, cantidad de suministros disponibles, ubicación de los posibles nodos de oferta y demanda, entre otros.

El capítulo 3 muestra los resultados obtenidos con el modelo matemático. El modelo se resolvió ocho veces cambiando algunos parámetros para analizar el comportamiento de la solución del modelo y para



determinar qué valores deben tomar ciertos parámetros para obtener los mejores resultados en cuanto a minimización de costos totales.

Finalmente, en el capítulo 4 se muestran las conclusiones y recomendaciones.



# Capítulo 1. Análisis y diagnóstico de la problemática

## 1.1. Terremotos

Diversas fuentes de información brindan una definición de un terremoto (e.g., Instituto Geofísico del Perú, s.f.; Tavera 1993). En este sentido, un sismo se define como un proceso de liberación de energía que se genera debido a un desequilibrio isostático en el interior de la tierra, la cual causa una ruptura que, posteriormente, genera una vibración con movimiento ondulatorio en la tierra, denominadas ondas sísmicas, que al llegar a la superficie son percibidas por la población y su infraestructura. Aquellos sismos que son percibidos como movimientos leves son denominados temblores; por otro lado, si un sismo presenta movimientos fuertes es denominado terremoto. Asimismo, las definiciones de intensidad y magnitud nos ayudan a medir qué tan fuerte puede llegar a ser un terremoto. La intensidad hace referencia a la percepción que se tiene sobre la fuerza con la que se siente un terremoto en un punto de la superficie, es decir, es una medida cualitativa; mientras que la magnitud hace alusión a la energía disipada por terremoto que se transforma en ondas elásticas; por ello, se refiere a una medida cuantitativa.

Con respecto a la ocurrencia de los sismos, la ilustración 1.1 muestra la frecuencia de esos eventos a nivel global cuya magnitud momento ( $M_w$ ) es mayor a 7. Si bien, los terremotos no son los fenómenos naturales con mayor ocurrencia, es uno de los de mayor impacto por evento (Centre for research on the Epidemiology of Disasters, s.f.); ese aspecto se discute en la siguiente sección para el caso particular del Perú.

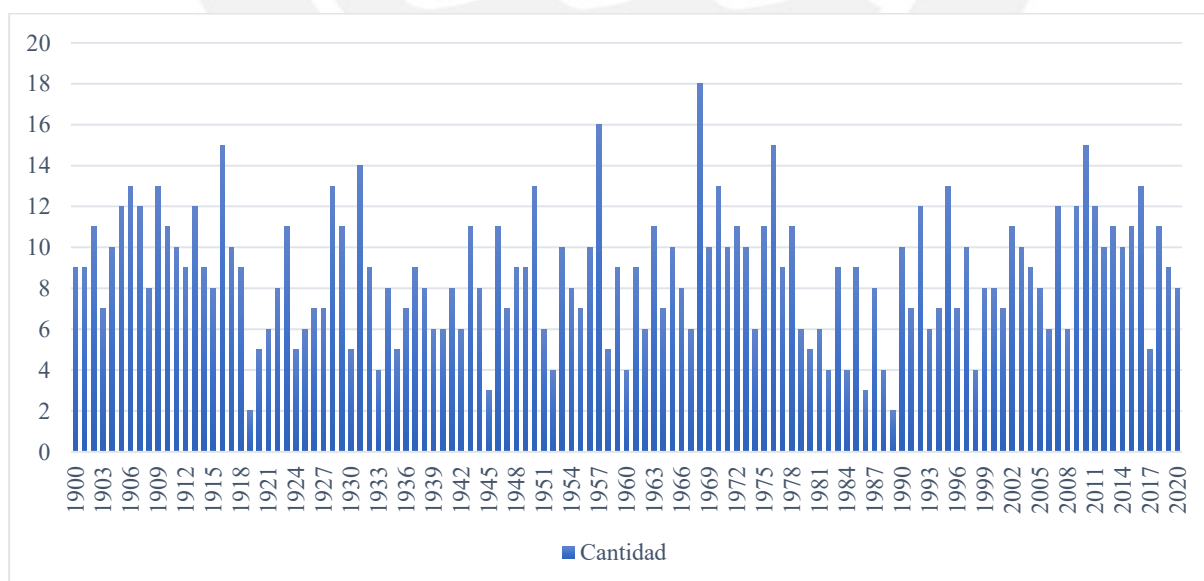


Ilustración 1.1. Cantidad de terremotos registrados desde el año 1900 hasta el año 2020

Fuente: National Centers for Environmental Information ([NCEI], s.f.a).

### 1.1.1. Registro de terremotos en el Perú

El Perú es un país altamente sísmico debido a que se ubica en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, pues se trata de una región de la Tierra que se caracteriza por ser altamente activa en la liberación de energía acumulada debido al movimiento de las placas tectónicas que la conforman, lo cual termina causando pequeños sismos, terremotos o erupciones volcánicas. Asimismo, el 90% de la actividad sísmica registrada en el Perú se trata de sismos profundos (cuyo epicentro se ubica en la lejanía de la costa) mientras que el 10% restante se genera en el interior del país (Tavera, 1993). En este sentido, la ilustración 1.2 muestra la cantidad de terremotos ocurridos en el Perú desde el año 1990 hasta el año 2020. Asimismo, la ilustración 1.3 muestra los sismos que superan los 7 Mw ocurridos en el Perú en el mismo intervalo de tiempo.

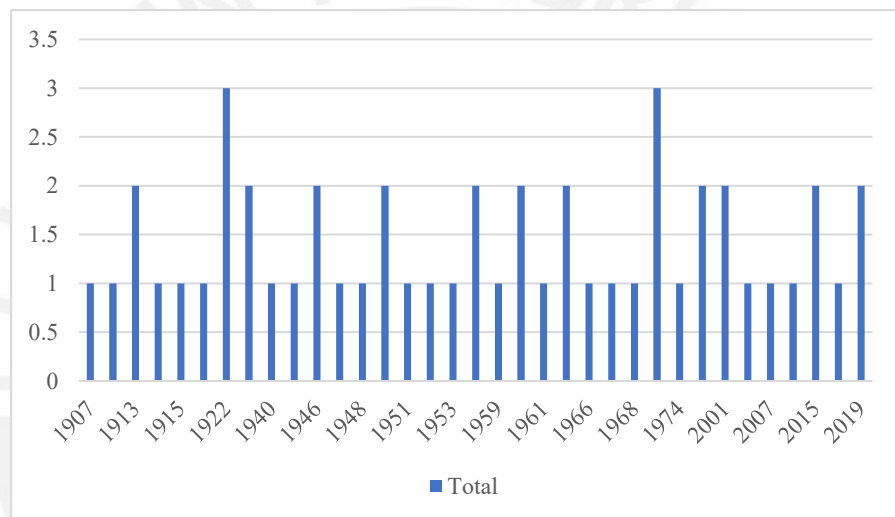


Ilustración 1.2. Cantidad de terremotos registrados en Perú desde el año 1900 hasta el año 2020  
Fuente: NCEI (s.f.b).

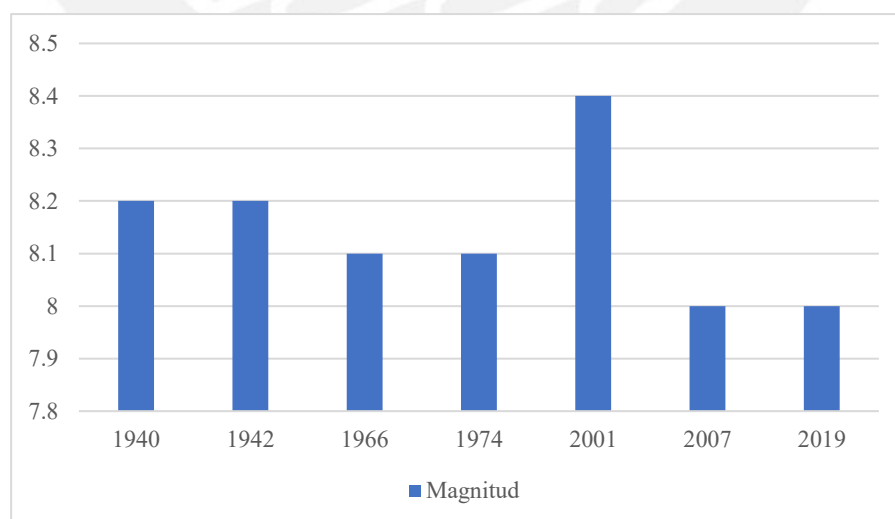


Ilustración 1.3. Sismos más representativos medidos en magnitud momento en Perú desde el año 1900 hasta el año 2020  
Fuente: NCEI (s.f.b).

### 1.1.2. Impactos de los terremotos más importantes en Perú

Luego de obtener los datos referentes a los terremotos ocurridos en el Perú desde el año 1900 hasta el 2020, se puede observar que los terremotos con mayores impactos en términos de fallecidos, heridos y afectados han ocurrido en los años 1940, 1942, 1966, 1974, 2001, 2007 y 2019; esos impactos se muestran en las ilustraciones 1.4 y 1.5.

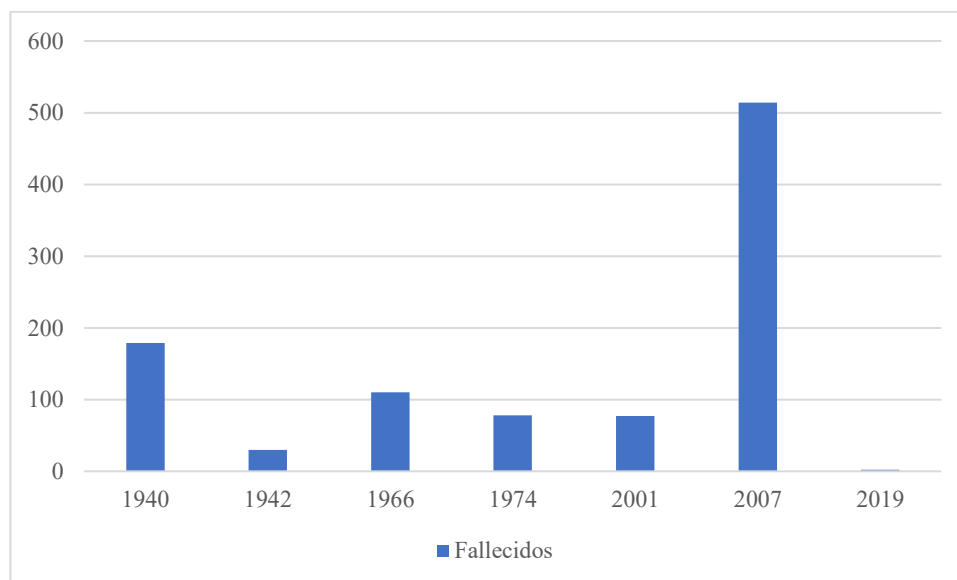


Ilustración 1.4. Cantidad de fallecidos registrados en los sismos de mayor impacto registrados en el Perú  
Fuente: NCEI (s.f.b).

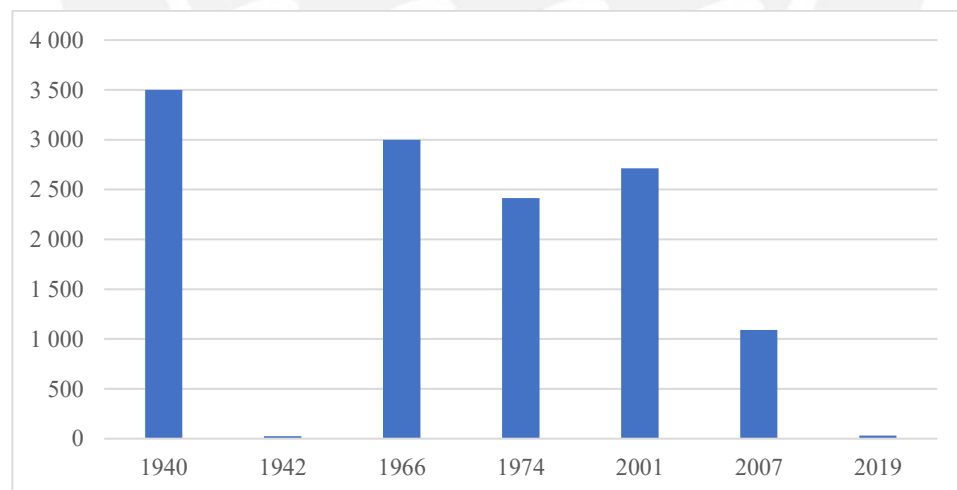


Ilustración 1.5. Cantidad de heridos registrados en los sismos de mayor impacto en el Perú  
Fuente: NCEI (s.f.b).

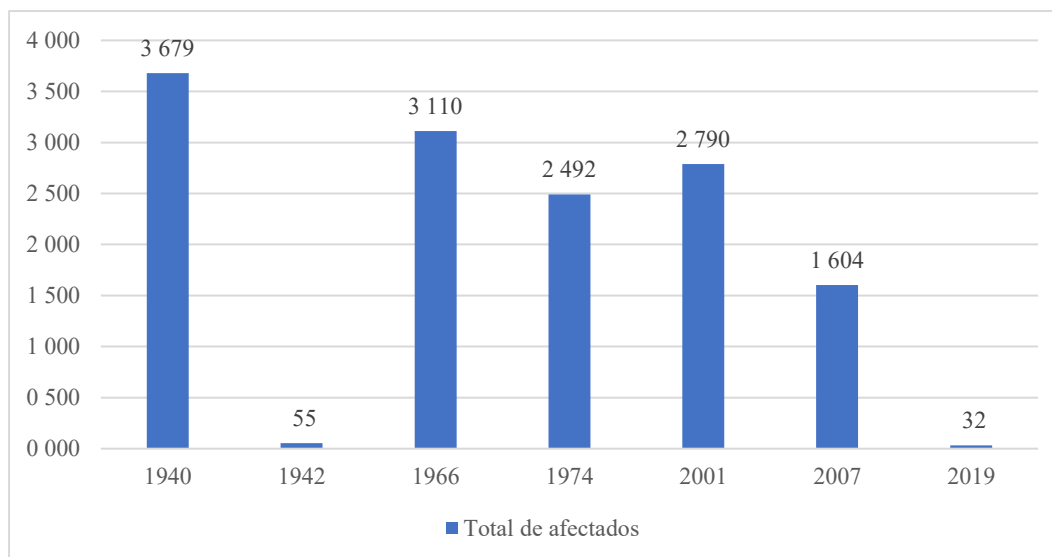


Ilustración 1.6. Cantidad total de afectados en términos de heridos y fallecidos  
Fuente: NCEI (s.f.b).

En la ilustración 1.6 se observa que a pesar de que el sismo en el año 2001 es el de mayor magnitud registrado, el sismo del año 1940 en Lima presenta una mayor cantidad de fallecidos y heridos. Esta evidencia sugiere que la magnitud no es el único factor que determina la cantidad de personas afectadas, sino que existen condiciones de vulnerabilidad que junto con la magnitud del evento natural explicarían los niveles de impacto del desastre.

## 1.2. El panorama de Lima con respecto a la ocurrencia de terremotos

### 1.2.1. Laguna sísmica

Una laguna sísmica es un área en la que es posible la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, pues tiene como característica principal estar rodeada por zonas que ya han presentados sismos importantes; por ello, se puede afirmar que la energía liberada por estas zonas adyacentes es acumulada por las zonas de lagunas sísmicas (Tavera & Bernal, 2005). En el caso de Perú, específicamente en la región central del Perú, se evidencia la existencia de una laguna que viene acumulando energía desde 1746 y que, contrario a las creencias populares, con los sismos ocurridos en los años 1940, 1966, 1974 y 2007 solo se ha podido liberar cerca del 30% de energía acumulada (Tavera, 2017). La ilustración 1.7 muestra la localización de las lagunas sísmicas a lo largo del borde occidental del Perú.

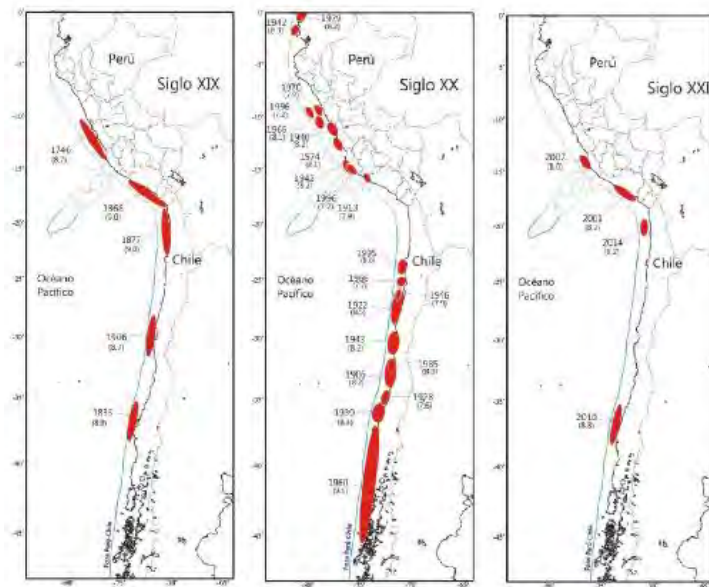


Ilustración 1.7. Zonas de rupturas y lagunas sísmicas durante los siglos XIX, XX y XXI en el borde occidental de Perú y Chile  
Fuente: Tavera (2017).

### 1.3. Análisis de vulnerabilidad en Lima Metropolitana

Diversos autores han estudiado la relación directa entre un desastre natural y las consecuencias que este trae consigo (e.g. Maskrey, 1993; Katzman, 2000; Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNDRR], 2020). Estos estudios afirman que las consecuencias no son determinadas solo por la magnitud e intensidad de un fenómeno natural o antrópico, sino también por las condiciones de vulnerabilidad de la población afectada. En este sentido, se entiende que la vulnerabilidad es un factor clave que ayuda a determinar qué tanto será afectada una población en caso ocurra algún desastre, sea natural o causado por el hombre. Sin embargo, la vulnerabilidad no se determina de manera sencilla, pues se trata de una característica multidimensional asociada a una población que toma en consideración aspectos como las características físicas, al igual que las condiciones socioeconómicas actuales, las cuales no se refieren solo al nivel de ingreso de una persona u hogar, sino al conjunto de condiciones que le permitan desarrollarse plenamente y que aseguren su bienestar a lo largo del tiempo. A continuación, se explica esas dimensiones determinantes de la vulnerabilidad.

#### 1.3.1. Vulnerabilidad física

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, respecto a las características físicas de la Provincia de Lima, INDECI (2006) indica que la vulnerabilidad física puede ser medida en cuestiones de calidad de suelos, material predominante en la construcción, localización de viviendas y leyes existentes. Al respecto, la tabla 1.1 muestra el nivel de vulnerabilidad física asociado a cada atributo previamente mencionado.

**Tabla 1.1 Variables para calcular el nivel de vulnerabilidad física**

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	<25%	26 a 50%	51 a 75%	76 a 100%
Material de construcción utilizada en viviendas	Estructura sismorresistente con adecuada técnica constructiva (de concreto o acero)	Estructura de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia en estado precario
Localización de viviendas	Mua alejada > 5 km	Medianamente cerca 1 - 5 km	Cercana 0.2 - 1 km	Muy cercana 0.2 - 0 km
Características geológicas, calidad y tipo de suelo	Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	Zona muy fracturada, falla suelos colapsables (relleno, mapa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)
Leyes existentes	Con leyes estrictamente cumplidas	Con leyes medianamente cumplidas	Con leyes sin cumplimiento	Sin ley

Nota: VB= vulnerabilidad baja, VM= vulnerabilidad media, VA= vulnerabilidad alta, VMA= vulnerabilidad muy alta

Fuente: INDECI (2006).

Por otro lado, diversas fuentes (e.g. Sistema de Información Regional Para la Toma de Decisiones [SIRTOD], s.f; Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA], s.f.) brindan información acerca de las condiciones de las viviendas y edificaciones presentes en la Provincia de Lima, así como de los tipos y calidad de suelos en esta ciudad. En particular, Lima se caracteriza por tener distintos tipos de suelos que pueden ser clasificados en cinco zonas. La zona I es la más adecuada para la construcción de edificaciones, en contraste, la zona V es la menos inadecuada. En la ilustración 1.8 se muestra el mapa de la ciudad dividida por distritos, en la que se indica el tipo de suelo predominante en cada uno de estos.

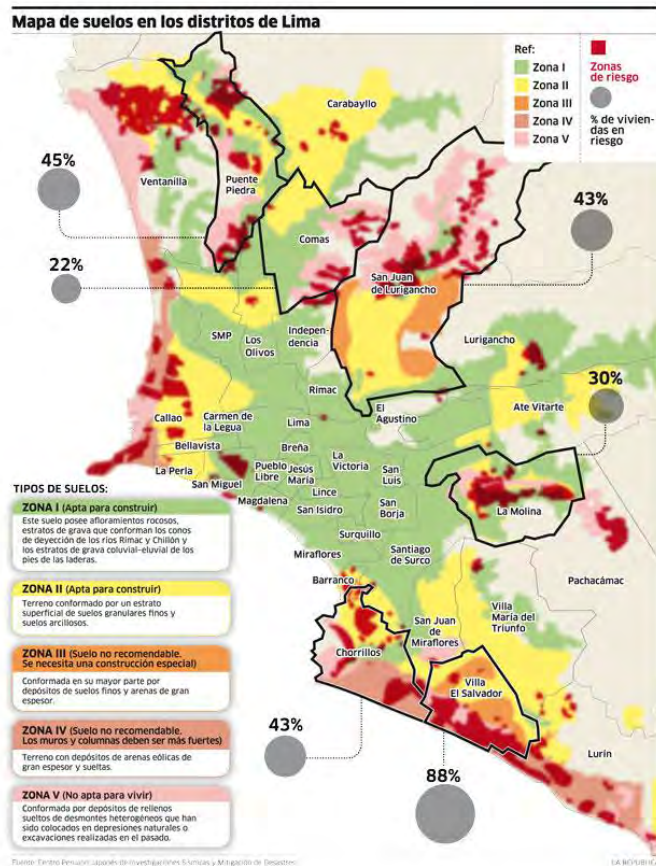


Ilustración 1.8. Mapa de suelos en los distritos de Lima  
Fuente: SINIA (s.f.).

En la ilustración 1.8 se observa que los distritos que presentan un suelo apto para la construcción se encuentran situados en la zona central de Lima los cuales son Jesús María, Pueblo Libre, Breña, Lima, Lince, La Victoria, entre otros. En contraste, distritos como Villa El Salvador y Chorrillos presentan un tipo de suelo que puede ser clasificado en la zona IV o V, lo cual indica que las construcciones en estos distritos deben presentar muros y columnas más fuertes, de lo contrario serían severamente afectadas por un sismo de gran magnitud. Por otro lado, respecto a las viviendas Lima, de la información disponible del SIRTOD (s.f.) se obtuvo que existen alrededor de 2 175 200 viviendas particulares con ocupantes. Asimismo, el material empleado en las viviendas puede ser de distintos tipos. Las ilustraciones 1.9, 1.10 y 1.11 muestran respectivamente el material predominante de los pisos, paredes y techos de las viviendas censadas en el 2017. Los porcentajes que se muestran sugieren que gran parte de estas presentan una vulnerabilidad física baja porque que el material predominante en sus paredes, suelos y techos es material como el cemento, ladrillos o bloques de cemento. Sin embargo, un estudio realizado por la Cámara Peruana de Construcción ([CAPECO], 2018) resalta que entre el 2007 y el 2014 el porcentaje de viviendas construidas de manera informal fue del 68.5%, lo cual significa que estas construcciones en comparación con las viviendas que se construyeron de manera formal son físicamente más vulnerables debido a que se realizan sin supervisión profesional.



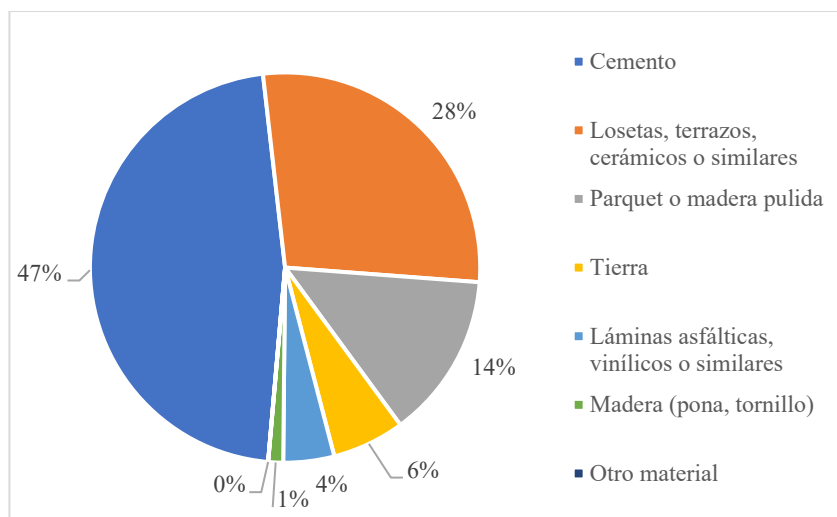


Ilustración 1.9. Porcentaje de viviendas según el material predominante en sus pisos  
Fuente: Elaborado con datos de SIRTOD (s.f.).

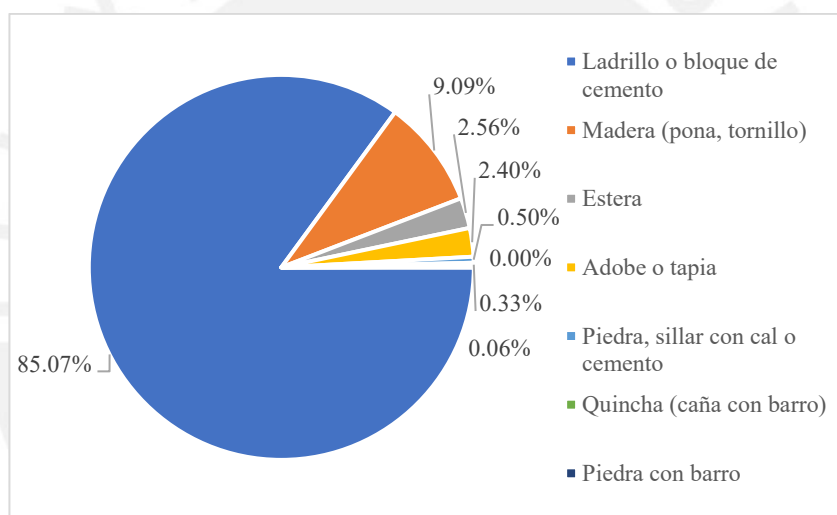


Ilustración 1.10. Porcentaje de viviendas según su material predominante en sus paredes  
Fuente: Elaborado con datos de SIRTOD (s.f.).

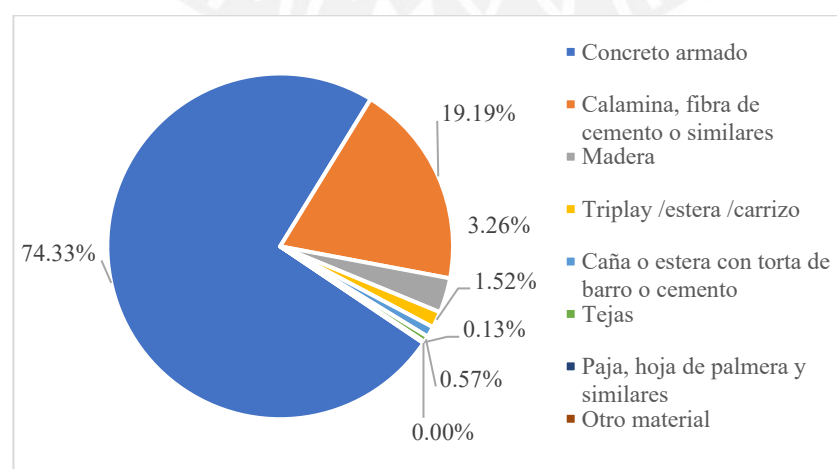


Ilustración 1.11. Porcentaje de viviendas según su material predominante en sus techos  
Fuente: Elaborado con datos de SIRTOD (s.f.).

Asimismo, en el caso de los terremotos, la distancia entre el epicentro del movimiento sísmico y la localidad resulta relevante para determinar la vulnerabilidad física de una población, pues mientras más cerca se encuentren ambos la intensidad del sismo se percibirá con mayor fuerza y si las condiciones de las viviendas no son las apropiadas, entonces se puede esperar que estas colapsen. Para el caso de la Provincia de Lima, como se explicó en el apartado anterior, la existencia de una laguna sísmica en la zona central del país indica que esta ciudad puede verse muy afectada si un terremoto llegase a ocurrir, pues la localización de esta se encuentra próxima a dicha laguna sísmica.

Finalmente, de los datos presentados, se puede determinar qué zonas de Lima son las más vulnerables en el ámbito físico. Para esto, aquellas zonas que presenten un suelo inadecuado o cuya infraestructura no sea la adecuada será catalogada como físicamente vulnerable. Tomando esto en cuenta, se puede inferir que algunos de los distritos más afectados en Lima serían aquellos que presentan un suelo inadecuado para construir o que presentan una calidad baja en su infraestructura. Estos distritos podrían ser Villa El Salvador, San Juan de Lurigancho y Cercado de Lima.

**1.3.2. Vulnerabilidad socioeconómica**

Según Katzman (2000), la vulnerabilidad socioeconómica puede ser medida en variables que le permitan a una población poder desarrollarse plenamente dentro de su propio contexto. Influyen en esa vulnerabilidad aspectos demográficos y socioeconómicos.

Sobre los aspectos demográficos, las ilustraciones 1.12 y 1.13 presentan la cantidad de personas censadas en la Provincia de Lima y la densidad poblacional desde el año 1940 hasta el 2017, respectivamente.

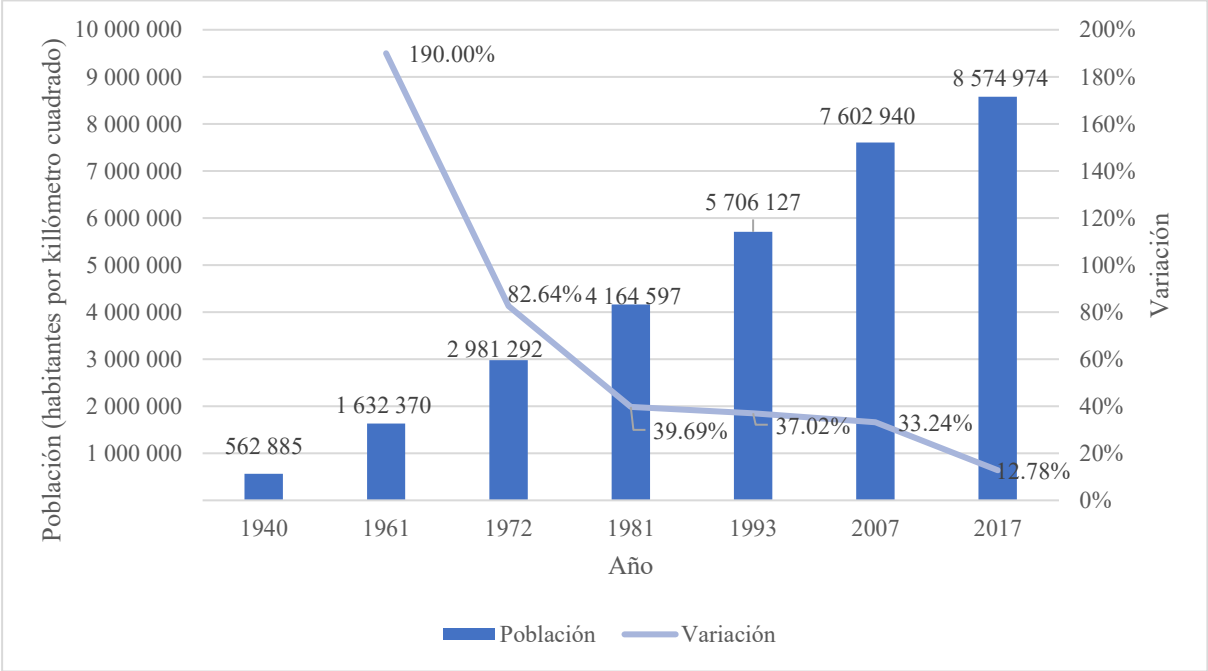


Ilustración 1.12 Población y variación, provincia de Lima

Fuente: Elaborado con datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018b).

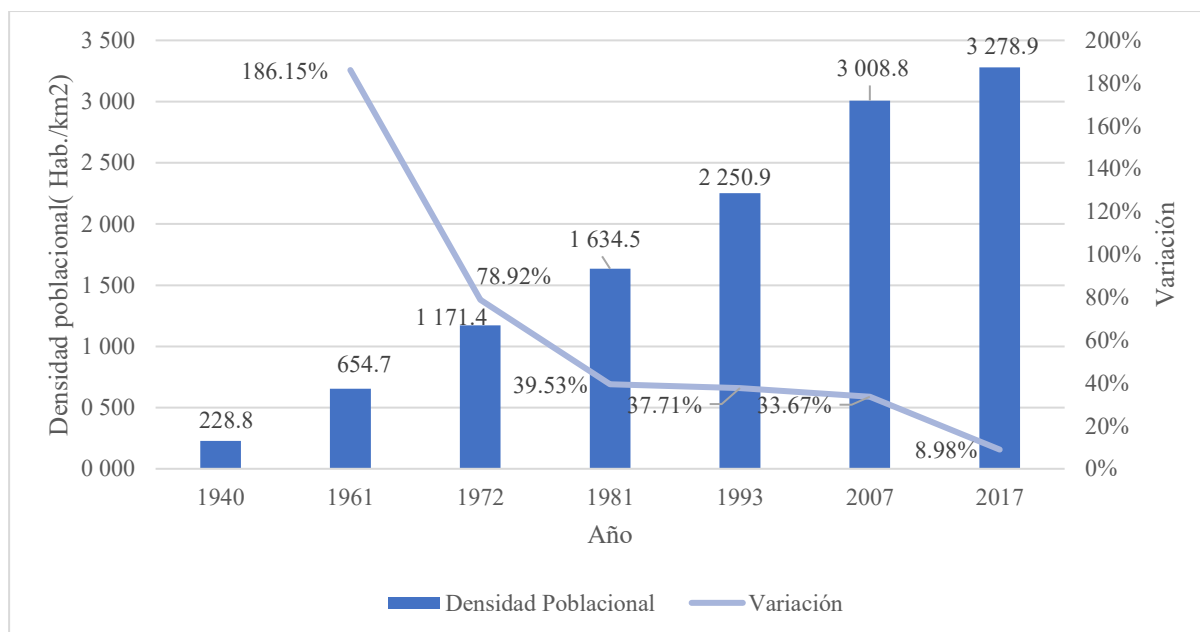


Ilustración 1.13. Variación en la densidad poblacional de la Provincia de Lima  
Fuente: Elaborado con datos de INEI (2018b).

Los gráficos previos revelan que la provincia de Lima experimentó un gran aumento en su población desde el año 1940 hasta el 2017 y que también se refleja en el incremento notable de la densidad poblacional en el mismo intervalo de tiempo. Sin embargo, se observa que las tasas de crecimiento de la población y densidad poblacional en el transcurso del tiempo se han ralentizado, lo cual parece sugerir que la cantidad de personas en Lima se estabilice en los próximos años, en la medida que mejore los niveles de desarrollo en el interior del país, entre otros factores relevantes, lo que reduciría los incentivos de los habitantes para migrar hacia Lima. Por otro lado, el aumento en la población implica también una mayor demanda de puestos de trabajo, al respecto el INEI (2018a) informa que la tasa de crecimiento de la población económicamente activa de Lima entre los años 2007 y 2018 fue de 1.9%. Asimismo, la Asociación Peruana de Inteligencia de Mercados ([APEIM], 2014 a 2020) nos brinda información acerca del nivel socioeconómico de la población de Lima Metropolitana que abarca varios factores tales como el nivel de ingresos estimados de un hogar, el material predominante en su estructura, electrodomésticos con los que la vivienda cuenta, el nivel educativo alcanzado por el jefe de familia y demás, las cuales son variables que pueden determinar el nivel de bienestar de una familia. En la ilustración 1.14, los datos recolectados desde el 2014 hasta el 2020 muestran que la cantidad de hogares que se encuentran en un nivel socioeconómico E ha disminuido notablemente. Asimismo, la cantidad de hogares pertenecientes a los niveles socioeconómicos C y B muestra un aumento desde el año 2014; en cambio los niveles D y A no han presentado mayores variaciones en este intervalo de tiempo.

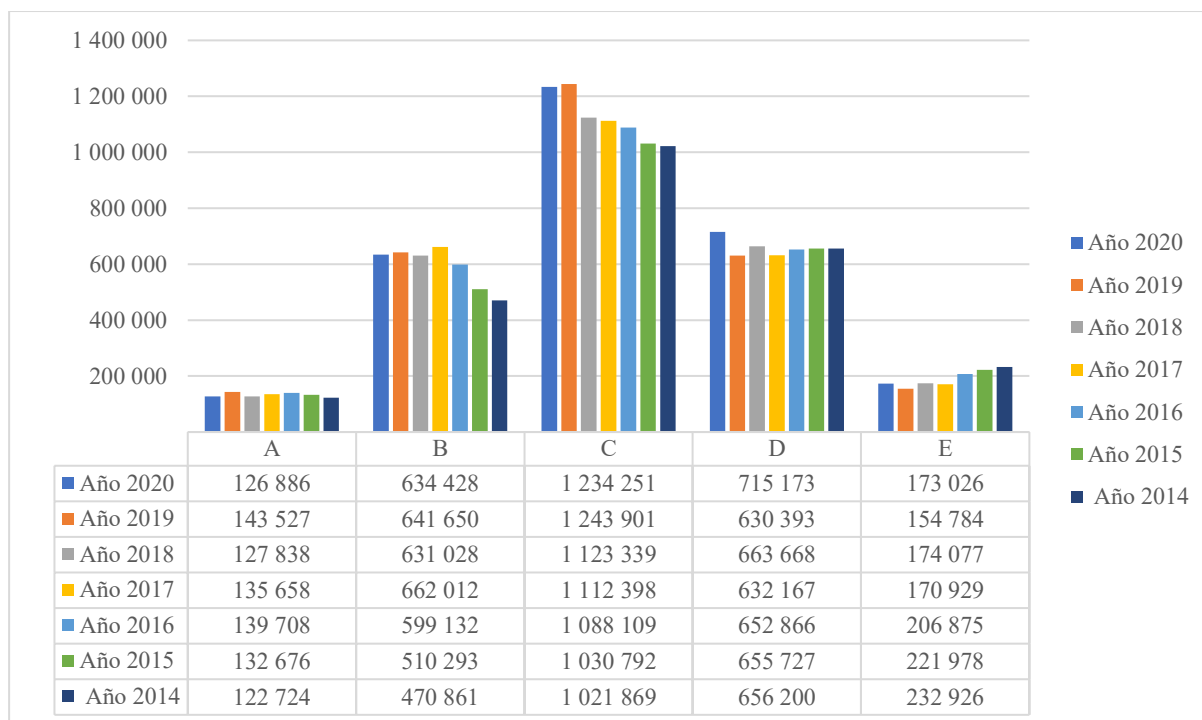


Ilustración 1.14. Número de personas según nivel socioeconómico desde el 2014 hasta el 2020  
Fuente: APEIM (2014 a 2020).

La evidencia de los datos mostrada también sugiere que la población en Lima Metropolitana ha mejorado su situación socioeconómica a lo largo de los años; por ello, se puede entender que el nivel de ingresos por hogar se ha comportado de la misma manera. En la ilustración 1.15, se muestra la variación en el nivel de ingresos según el grupo socioeconómico.

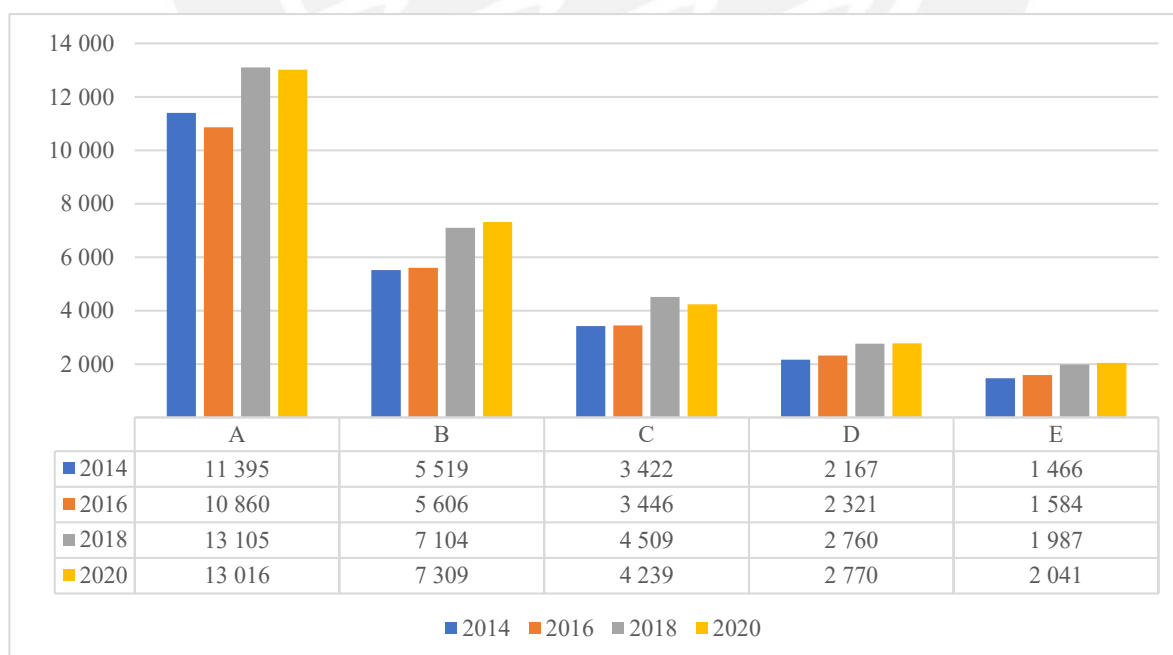


Ilustración 1.15. Ingresos según nivel socioeconómico desde el 2014 hasta el 2020  
Fuente: APEIM (2014 a 2020).

Finalmente, con la información mostrada se concluye en el horizonte mostrado que en cada año existe una mejora en las condiciones de vida en Lima; sin embargo, afirmar que esta mejora es suficiente para indicar que la vulnerabilidad socioeconómica es necesariamente baja sería un error, pues aún existe una porción de la población limeña que no percibe los mismos beneficios socioeconómicos que el resto, ya que, según INEI (2020) existen distritos como San Juan de Lurigancho en el que alrededor 226 179 personas tienen un ingreso per cápita menor a 863 soles, mientras que toda la población en distritos como Jesús María o Miraflores poseen un ingreso per cápita mayor a 2 412 soles.

### **1.3.3. Síntesis de la vulnerabilidad de Lima**

Con el análisis de la vulnerabilidad física y la socioeconómica ya realizado, se puede entender que ambas deben ser evaluadas en conjunto para determinar cuán vulnerable es Lima Metropolitana. De lo expuesto anteriormente, se concluye que analizar a la ciudad como una única entidad sería un error, pues cada distrito que la conforma se encuentra en una situación diferente al de los demás. En este sentido, se puede tomar de ejemplo al distrito de La Molina, que se caracteriza por tener a gran parte de su población dentro de los niveles socioeconómicos A y B, pero el tipo de suelo en el que se encuentra ubicado puede resultar ser inadecuado pues existen zonas dentro del distrito que entran en la clasificación de zona V, lo cual lo hace un distrito vulnerable ante la presencia de un sismo de gran magnitud. Otro ejemplo puede ser el caso de Cercado de Lima, pues a pesar de que la calidad de sus suelos sea la adecuada para la construcción, el hecho de contar con viviendas antiguas cuya infraestructura se encuentra ya desgastada hace al distrito vulnerable frente a un sismo de gran magnitud. Este análisis se refuerza con un estudio realizado por el INDECI (2017) para poder determinar cuán vulnerable es la ciudad de Lima. En ese informe, se analizó la vulnerabilidad física (evaluada tomando en cuenta el tipo de pared y techo de las construcciones); la vulnerabilidad económica (evaluada en tipo de piso y tipo de servicios higiénicos) y la vulnerabilidad social (en la que se toman en cuenta la densidad poblacional a nivel manzana). Después de realizar una síntesis de estas tres vulnerabilidades, el INDECI determinó que los distritos más vulnerables de Lima Metropolitana y Callao son Carabayllo, Los Olivos, Cercado de Lima, Ate, San Juan de Miraflores, entre otros. La grafica de los distritos más vulnerables se presentan en la ilustración 1.16 en la cual se puede observar que, de acuerdo con sus niveles de vulnerabilidad, todos los distritos se ven afectados ya que los niveles de vulnerabilidad oscilan entre una vulnerabilidad media o alta.

## **1.4. Vulnerabilidad del Cercado de Lima y el Centro Histórico de Lima**

El Cercado de Lima es un distrito ubicado en la zona central de Lima Metropolitana; entre otras características cuenta con una población de 273 142 personas y en su superficie se ubica el Centro Histórico de Lima en su territorio (SIRTOD, s.f.). Respecto a su calidad de suelo, como se vio previamente, según el SINIA (s.f.) el suelo predominante en este distrito está calificado dentro de la

Zona I, lo cual indica que este es apto para la construcción de edificaciones. Además, según la Cooperazione Internazionale ([COOPI], 2010), para el caso específico del Centro Histórico de Lima puesto que gran parte de este se ubica en el Cercado de Lima, su suelo presenta características similares; sin embargo, existen pequeñas zonas que no presentan las mismas características y resultan ser más vulnerables ante un sismo, debido al material gravoso o de relleno del suelo. La identificación de estas zonas se encuentra presentada en la ilustración 1.17.

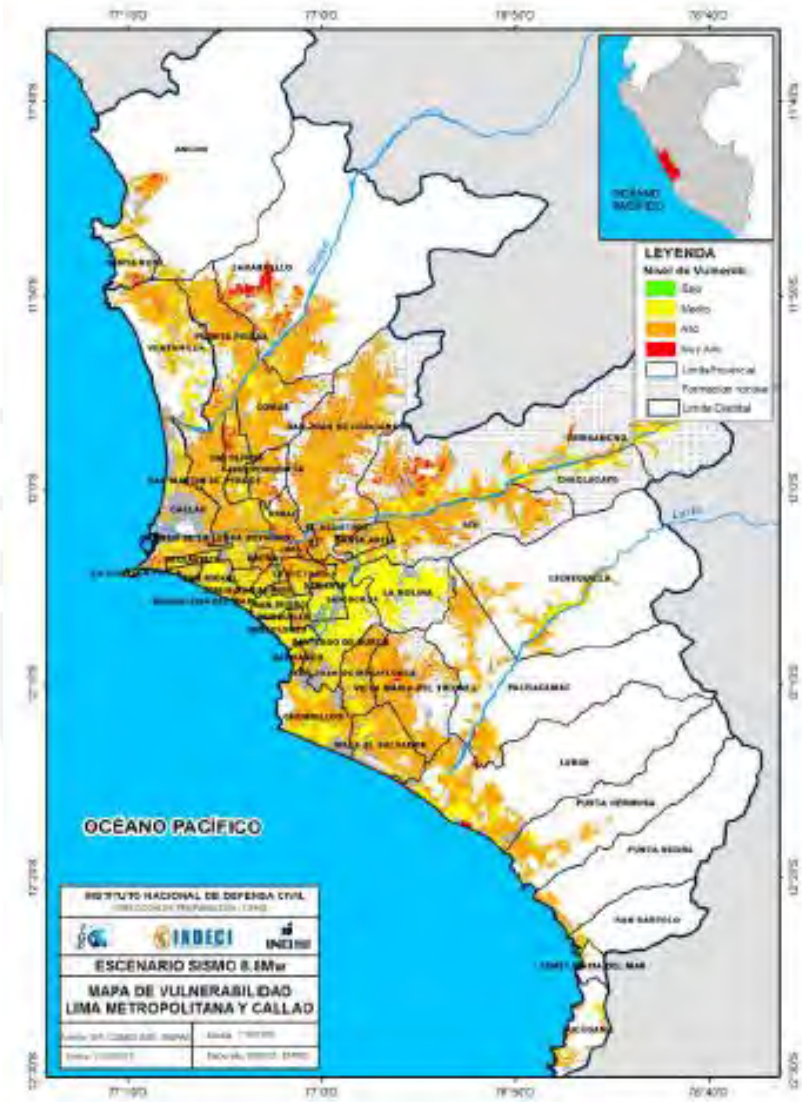


Ilustración 1.16. Mapa de vulnerabilidad sísmica de Lima Metropolitana y Callao  
Fuente: INDECI (2017).



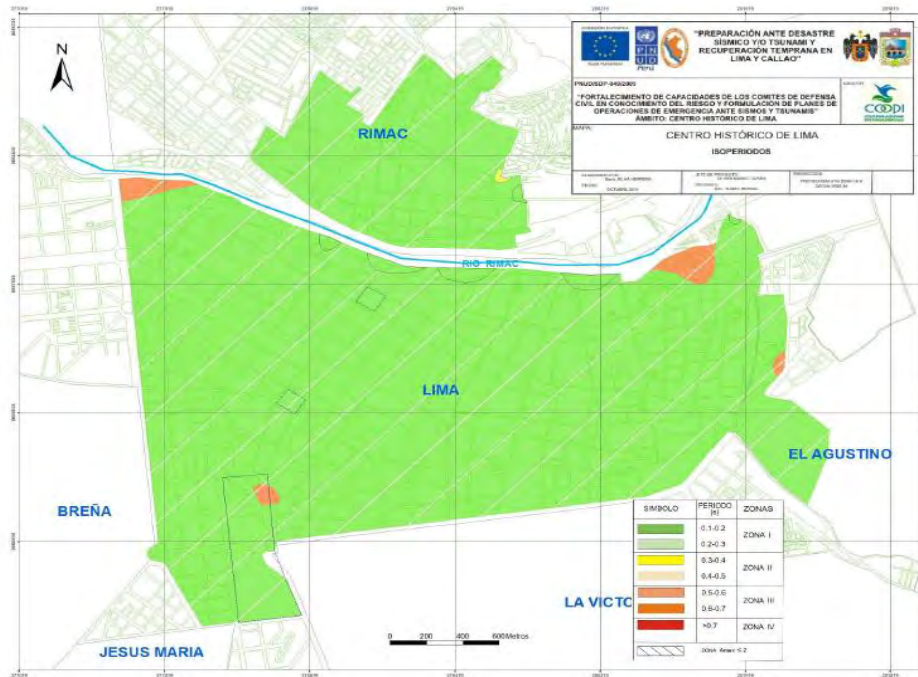


Ilustración 1.17. Mapa de suelos para el Centro Histórico de Lima  
Fuente: INDECI (2011).

Adicionalmente, en un estudio realizado por el INDECI (2010), el Cercado de Lima es clasificado como un distrito vulnerable debido a que la calidad de sus infraestructuras se encuentra en una situación precaria. En ese estudio del INDECI, se realizó una encuesta a hogares en los que se estudiaron factores como el material predominante de la edificación, la antigüedad de la edificación, el tipo de suelo en el que se encuentran ubicados y si la construcción del hogar contó con la participación de un ingeniero civil. La cantidad de hogares analizados por factor fue distinta para cada uno de ellos; sin embargo, la información recolectada indica lo siguiente:

- De 9 452 hogares encuestados, 7 506 hogares tienen como material predominante al adobe, quincha, madera y otros materiales precarios, lo cual representa el 79.41% del total encuestado.
- De 14 179 hogares encuestados, 7 336 hogares no contaron con la participación de un ingeniero civil para la construcción, lo cual representa el 51.73% del total encuestado.
- De 9 311 hogares encuestados, 7 250 hogares cuentan con más de 50 años de antigüedad, lo cual representa el 77.86% del total encuestado.
- De 9 294 hogares encuestados, 4 829 hogares se encuentran ubicados sobre un suelo rocoso, lo cual representa al 51.95% del total encuestado.

La información mostrada revela varias facetas que configuran la vulnerabilidad física del Cercado de Lima. Por el lado de la construcción, en gran parte de los hogares predomina el adobe, quincha o madera; asimismo, más de la mitad de hogares no tuvieron la asesoría de un ingeniero civil para el diseño de las

estructuras. Con respecto al tiempo, la antigüedad de las viviendas, contribuyen a aumentar la vulnerabilidad física de la zona; en particular una gran cantidad de viviendas muy antiguas están localizadas en el Centro Histórico de Lima, en donde la COOPI (2011) realizó un estudio específico que concluyó que cerca del 51% de los inmuebles presentan situaciones precarias que indican una alta vulnerabilidad estructural en la zona.

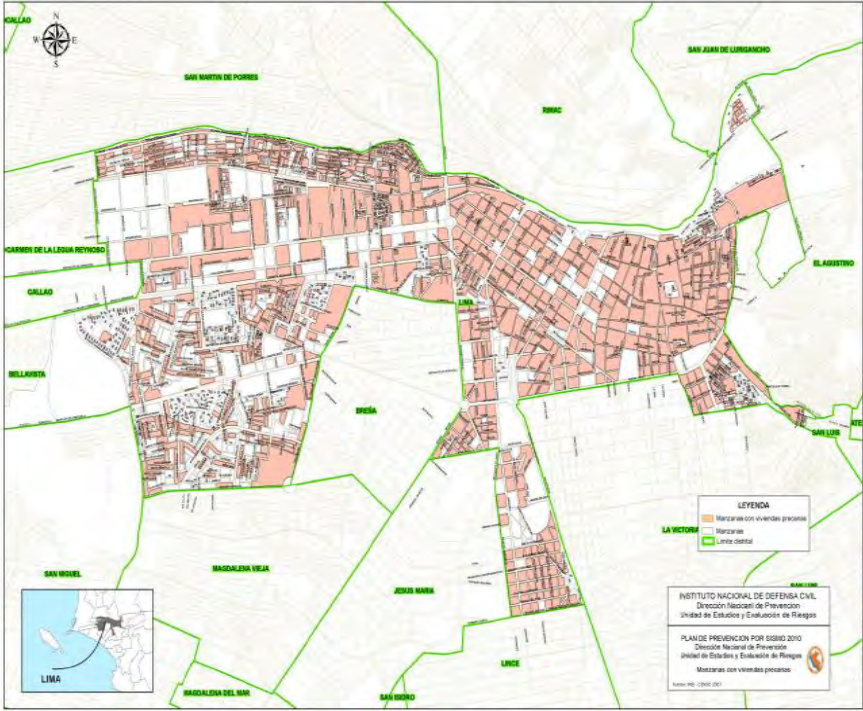


Ilustración 1.18. Manzanas que presentan viviendas en estado de precariedad en el Cercado de Lima Fuente: INDECI (2011).

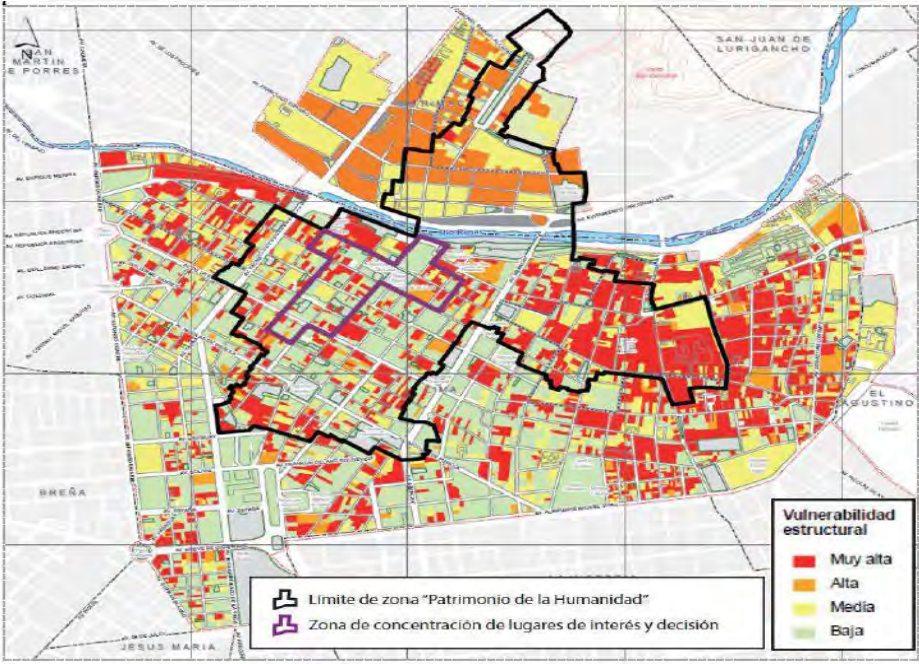


Ilustración 1.19. Mapa que presenta a la vulnerabilidad estructural en el Centro Histórico de Lima Fuente: COOPI (2010).



Por otro lado, Katzman (2000) indica que la vulnerabilidad socioeconómica puede ser medida en variables que afecten al desarrollo de una población. En esta tesis, para el análisis socioeconómico del Cercado de Lima y con base en Katzman, se considera los siguientes factores como determinantes de la vulnerabilidad socioeconómica: el ingreso per cápita de un hogar, el nivel de pobreza de un hogar, la cantidad de viviendas que cuentan con abastecimiento de agua y la cantidad de viviendas que cuentan con servicio de alumbrado eléctrico. A continuación, se explora dichas variables para extraer evidencia sobre el nivel de vulnerabilidad socioeconómica de la zona objeto de estudio de esta tesis.

Con respecto al ingreso per cápita, la tabla 1.2 muestra el registro en los hogares del Cercado de Lima en los años 2016 y 2020.

**Tabla 1.1 Ingreso per cápita por hogar en los años 2016 y 2020 en el Cercado de Lima**

Estrato	2016			2020		
	Ingreso per cápita por hogares (soles)	Hogares	Hogares (%)	Ingreso per cápita por hogares (soles)	Hogares	Hogares (%)
Alto	2 192.20 a más	203	0.3%	2 412.45 a más	972	1.2%
Medio Alto	1 330.10 - 1 192.19	21 462	30.3%	1 449.72 - 2 412.44	25 893	33.2%
Medio	899.00 - 1 330.09	26 760	37.8%	1 073.01 - 1 449.71	38 842	49.7%
Medio bajo	575.70 - 898.99	22 272	31.5%	863.72 - 1 073.00	11 701	15.0%
Bajo	Menor de 575.69	50	0.1%	863.71 a menos	677	0.9%
Total		70 747	100%	Total	78 085	100%

Fuente: INEI (2016, 2020).

Sobre el nivel de pobreza, en la ilustración 1.20 se observa un mapa del Cercado de Lima dividido por manzanas en el cual se indica su porcentaje de pobreza. El gráfico revela que gran parte de las manzanas pobres del Cercado de Lima se ubican en el Centro Histórico.

Con respecto al abastecimiento de agua, el censo realizado el año 2007, la cantidad de viviendas que no contaban con un abastecimiento de agua en ese año fue de 1 554; en contraste, en el 2017 esta cantidad solo fue de 33. Por otro lado, para el caso de alumbrado público, en el año 2007 se registró un total de 817 viviendas que no contaban con alumbrado público, mientras que en el 2017 esta cantidad se redujo y solo se registraron 334 viviendas cumplían con estas condiciones (SIRTOD, s.f.).

En síntesis, el Cercado de Lima ha ido reduciendo su vulnerabilidad socioeconómica a lo largo de los años, ya que los datos hacen evidente una clara mejora en el ingreso per cápita por hogares lo cual se observa en los que los porcentajes de habitantes en los estratos alto, medio alto y medio han aumentado mientras que el estrato medio bajo se ha reducido considerablemente en comparación al 2016. Si bien es cierto que el estrato bajo es mayor en el 2020 que en el 2016, esta diferencia es solo del 0.8% por lo que no es muy significativa. Asimismo, respecto al abastecimiento de agua y alumbrado público, se observa que para el 2017 la cantidad de viviendas que carecían de estos servicios se ha reducido.

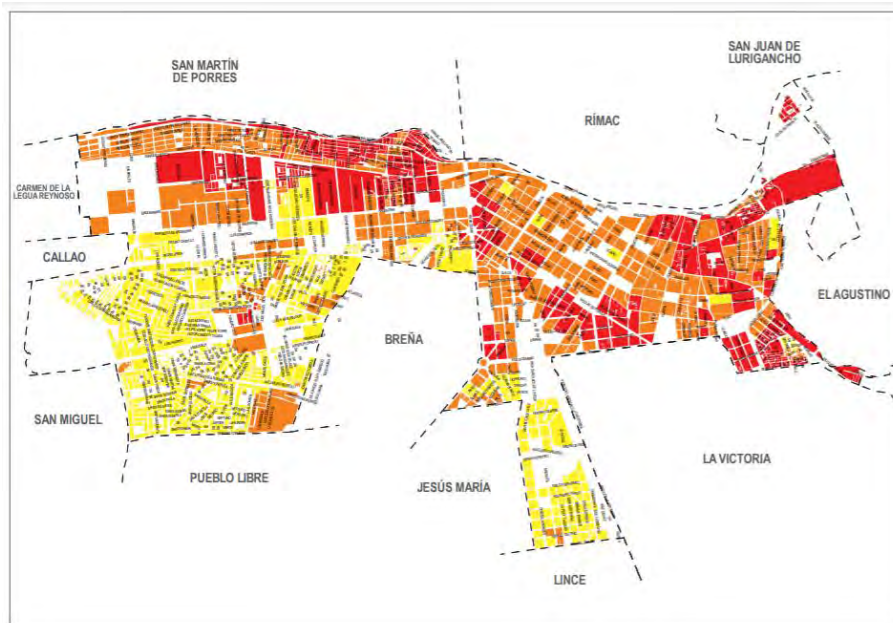


Ilustración 1.20. Mapa de pobreza por manzana en el Cercado de Lima  
Fuente: INEI (2016)

En conclusión, los datos recolectados hacen evidente que el Cercado de Lima es un distrito cuya vulnerabilidad resalta más por el ámbito físico que por el socioeconómico, pues la infraestructura de este distrito se caracteriza por ser antigua y de material precario como el adobe o la quincha, sobre todo en el Centro Histórico de Lima, donde el 51% de las viviendas se pueden ver comprometidas ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud (COOPI, 2011). Ante esta problemática y a las constantes advertencias de organismos como el INDECI sobre la posible ocurrencia de un terremoto de gran magnitud localizado frente a la región central del Perú, es necesario diseñar un plan que permita repartir bienes de ayuda humanitaria a la mayor cantidad de personas afectadas luego del desastre, por lo que la localización de almacenes temporales es una tarea urgente y en esta tesis se realiza con un modelo de programación lineal entera.

## Capítulo 2. Modelo matemático

En este capítulo se justifica y formula un modelo de programación entera que toma como referencia la revisión de la literatura sobre modelos de programación aplicados en ámbito de la logística humanitaria, presentado en Uribe (2021). El objetivo del modelo matemático tiene como finalidad determinar los mejores lugares para la localización de almacenes provisionales de bienes de ayuda humanitaria que permitan ayudar a la mayor cantidad de personas posible.

### 2.1. Justificación de modelo

En el primer capítulo de esta tesis, se determinó que el Cercado de Lima muestra condiciones de vulnerabilidad física y socioeconómica, que, sumado a la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud, sustenta que el impacto de ese fenómeno natural en ese distrito podría ser elevado en términos de infraestructura destruida la que a su vez incrementaría la cantidad de damnificados y pérdida de vidas. En este contexto, para contribuir a que la población damnificada de este distrito sea atendida de manera oportuna luego de un terremoto, se propone la formulación de un modelo matemático que toma como base el problema de la máxima cobertura propuesto por Church y Reville (1974). Asimismo, a esa propuesta se le agrega algunas consideraciones que fueron tomadas en cuenta por otros autores para la formulación de un modelo matemático, tales como Balcik y Beamon (2008) quienes resaltan la importancia de la consideración de aspectos económicos como los costos y presupuestos asignados para la elaboración de restricciones, ya que esos importes son también aspectos importantes en el contexto de la logística humanitaria; asimismo, al modelo se le agrega las contribuciones propias del autor de esta tesis.

Tomando en cuenta las consideraciones previas, el modelo tendrá como fin minimizar el costo total de distribución de bienes y localización de almacenes que permita satisfacer todos los puntos demandantes.

### 2.2. Consideraciones y supuestos

Para el modelo se consideran los nodos a utilizar, cantidad de personas afectadas, costos de transporte, localización de almacenes temporales, suministros, cantidad de vehículos a utilizar y presupuestos asignados.

Algunos supuestos que deben ser tomados en cuenta para la elaboración del modelo matemático son los siguientes:

- Se asume que todos los nodos de oferta cuentan con el espacio suficiente para localizar un almacén provisional, además de que estos cuentan con capacidad infinita para el almacenamiento de suministros.

- Los bienes de ayuda humanitaria pueden ser agrupados en *kits* para facilitar su transporte y tener un mayor control sobre los bienes repartidos. Cada *kit* contiene los suministros necesarios para una familia de cuatro personas sin contar elementos de abrigo.
- Se asume que la cantidad de personas puede ser agrupada según su cercanía a unos albergues propuestos. Además, esta cantidad de personas puede ser dividida en familias de cuatro personas para una mayor facilidad al momento de repartir los *kits* de bienes de ayuda humanitaria.
- Respecto a los vehículos a emplear, se asume que estos ya son de propiedad del Estado, por tanto no hay costos de adquisición ni de alquiler de esos activos.

### 2.2.1. Puntos de oferta y demanda

Los nodos se separan entre nodos ofertantes y nodos demandantes, donde los nodos ofertantes serán todos los puntos donde será posible localizar un centro de distribución, mientras que los nodos demandantes serán aquellos que requieren ser atendidos con bienes de ayuda humanitaria. La potencial localización para los nodos demandantes serán aquellos lugares que son catalogados como lugares para albergues en el Cercado de Lima según la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML, 2016). La localización de estos lugares se detalla en la Tabla 2.1 y en la ilustración 2.1.

**Tabla 2.1 Ubicación de los lugares catalogados como albergues (nodos de demanda)**

Nodo	Albergue	Dirección
1	C.E. Hipólito Unánue	Av. Elvira García y García
2	Anexo 04 de la Universidad Nacional Federico Villareal	Av. Colonial
3	Ciudad Universitaria	Av. Venezuela
4	Coliseo Amauta	Av. Naciones Unidas
5	Coliseo Cerrado del Puente del Ejército	Av. Alfonso Ugarte
6	Estadio Nacional	Av. José Díaz
7	Estadio Lolo Fernández	Av. Zorritos
8	C.E. N° 1057 "Julio C. Tello"	Jr. Joaquín Capello
9	Parque de la Reserva	Paseo de la República
10	Parque de la Exposición	Paseo de la República

Fuente: MML (2016).

Para la localización de nodos ofertantes, por simplicidad, se utilizarán los parques del distrito, ya que estos cuentan con espacios disponibles para poder localizar almacenes temporales. En la ilustración 2.2 se muestra la localización de estos puntos en el mapa y en la tabla 2.2 el nombre de los parques propuestos.

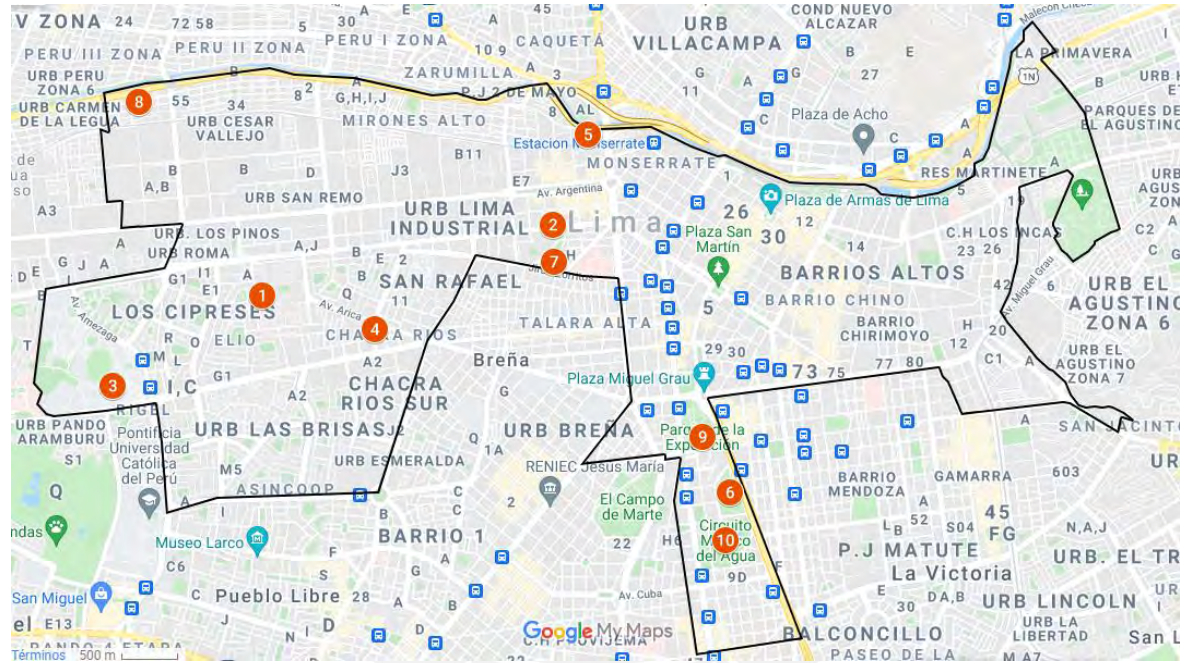


Ilustración 2.1. Localización de los albergues en el Cercado de Lima  
Fuente: Elaborado con información de la MML (2016).



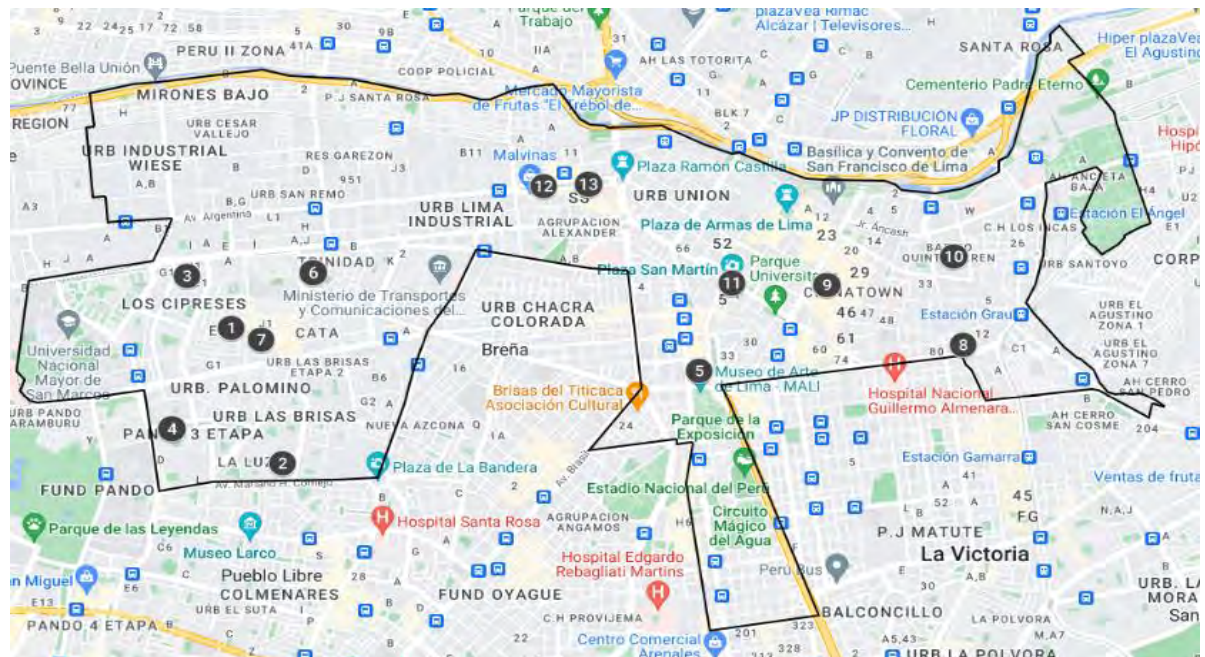


Ilustración 2.2. Localización de puntos ofertantes en el Cercado de Lima  
 Fuente: Elaborado con información de la MML (2016).

**Tabla 2.2 Nombre de los posibles puntos para la localización de almacenes (nodos de oferta)**

Nodo	Parque
1	Augusto Gonzáles Olaechea
2	María Auxiliadora
3	García y Lastres
4	Carlos Lisson
5	Juana Alarco de Dammert
6	Scipion Llona
7	San Francisco de Asis
8	Historia de la Medicina Peruana
9	Plaza Castañeta
10	en la Quinta Heeren
11	Plaza San Martín
12	Campo Deportivo Público de césped sintético
13	Alameda Las Malvinas

### 2.2.2. Estimación de personas afectadas

Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2020), ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, se estima que la cantidad de personas afectadas en el Cercado de Lima será de 182 438, lo cual representa alrededor del 70% de la población del distrito. En la ilustración 2.3 se muestra el mapa del Cercado de Lima dividido en 20 zonas según MML (2016).

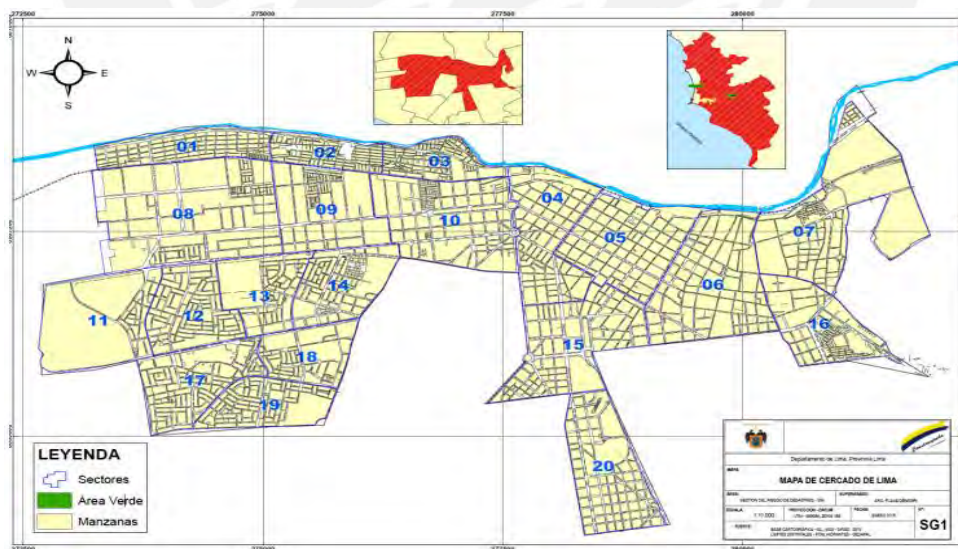


Ilustración 2.3. Mapa del Cercado de Lima dividido por Zonas  
Fuente: MML (2016).

Para determinar la cantidad de personas afectadas en cada nodo de demanda, se utiliza las siguientes variables: la división por zonas realizada por la MML (2016); la densidad poblacional calculada por INEI (2017) y el porcentaje de población afectada indicado anteriormente para calcular la cantidad de personas afectadas por zonas y luego se agruparán en los nodos de demanda más cercanos según su ubicación. Finalmente, se dividirán las cantidades obtenidas entre cuatro para obtener la cantidad de familias de cuatro personas afectadas, lo cual se hace asumiendo que la población se puede agrupar de esta manera. La tabla 2.3 se indica la cantidad de personas afectadas en cada zona y su relación con un nodo de demanda.

**Tabla 2.3 Familias afectadas agrupadas según nodo de demanda más cercano**

Nodo de demanda	Zonas	Personas afectadas	Familias de cuatro personas afectadas
1	12	18 967	4 742
	13		
2	9	30 584	7 646
	10		
3	11	26 885	6 722
	17		
4	14	25 593	6 399
	18		
	19		
5	2	11 304	2 826
	3		
6	6	36 265	9 067
	15		
7	4	29 133	7 284
	5		
8	1	33 618	8 405
	8		
9	7	35 721	8 931
	16		
10	20	14 869	3 718

Fuente: Elaborado con datos de la MML (2016) e INEI (2017)

Nota: los nodos de demanda de esta tabla se describen en la tabla 2.1

### 2.2.3. Costos de transporte, localización y presupuesto asignado

Para el transporte de los suministros, se opta por utilizar vehículos terrestres ya que según INDECI (2019) el abastecimiento de bienes de ayuda humanitaria debe ser realizado por vías terrestres o fluviales; sin embargo, las características geográficas del Cercado de Lima solo permiten el uso de vehículos terrestres. Para el costo de transporte, según GlobalPetrolPrices (s.f.), el costo de Diesel por litro es de 3.706 soles y el rendimiento de un camión en promedio es de 40 litros de diésel cada 100 km (Webfleet solutions, 2019), lo cual resulta en un costo de 9.26 soles por km. De esta manera,



multiplicando el costo de transporte por la distancia en kilómetros entre puntos se obtiene la matriz de costos de transporte que se muestra en la tabla 2.4. Asimismo, los almacenes a colocar serán almacenes tipo *container* de 40 pies cuyo costo de alquiler es de 1550 USD o S/ 6 169 con el cambio de divisas a S/ 3.98 por dólar (Mercado Libre, s.f.) y serán de carácter temporal. Una imagen referencial del almacén se muestra en la ilustración 2.4. Los presupuestos asignados para el transporte y localización serán asumidos en el modelo e irán variando para evaluar su efecto sobre el resultado final.

**Tabla 2.4 Matriz de costo de transporte en soles**

Nodo Demanda / Nodo Oferta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3.78	26.48	10.74	10.83	31.95	40.84	26.11	20.28	37.69	41.86
2	14.63	29.08	15.74	13.70	36.21	35.00	27.22	32.13	33.06	35.10
3	5.42	28.71	10.46	14.63	33.24	45.56	28.43	15.00	42.04	46.76
4	13.33	34.08	7.08	17.69	41.58	43.61	32.78	27.22	41.30	43.80
5	34.26	16.30	45.47	25.74	21.11	9.54	14.17	48.71	4.66	13.06
6	4.55	19.17	18.33	6.04	24.26	36.85	18.80	19.91	33.06	38.43
7	4.23	24.72	12.59	8.66	30.56	38.43	23.71	22.04	35.28	39.45
8	53.71	32.22	65.47	44.73	32.78	19.82	31.30	66.39	19.82	22.41
9	43.24	20.93	55.65	34.54	21.58	17.13	20.37	55.19	14.26	20.74
10	52.87	30.00	65.47	44.26	28.89	24.26	29.72	63.89	22.78	27.41
11	36.11	14.08	48.52	27.41	16.11	16.11	13.24	48.24	11.76	19.91
12	23.34	3.06	37.13	17.04	58.52	28.52	5.90	32.41	23.71	31.67
13	26.58	3.72	40.28	19.82	4.15	27.13	6.33	35.56	22.22	30.37

Fuente: Elaborado con datos de GlobalPetrolPrices (s.f.) y Webfleet solutions (2019)



Ilustración 2.4 Container de 40 pies

Fuente: Icontainers (s.f.)

## 2.2.4. Suministros y vehículos utilizados

Por simplicidad, se asumirá que los bienes de ayuda humanitaria serán repartidos en *kits* de ayuda humanitaria que contendrán alimentos, menajes y enseres suficientes para una familia de cuatro personas que se encuentran disponibles dentro del stock de suministros del INDECI (2021). Además, estos *kits* no incluyen elementos de techo y abrigo ya que se asume que los albergues ya cuentan con la cantidad suficiente de estos elementos. El detalle de la cantidad y el peso de los *kits* se muestra en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Descripción detallada del contenido de un *kit* para una familia de cuatro personas**

Tipo de suministro	Descripción	Cantidad por familia de cuatro personas afectada	Peso en kg
Alimentos	Atún en filete en aceite vegetal, 170g	12	2.04
	Hojuela de avena bolsa de 200g	2	0.4
	Azúcar rubia domestica bolsa, 1 kg	2	2
Menaje y enseres	Vaso de plástico de 250 ml aproximadamente	4	0.04
	Cuchara de acero inoxidable	4	0.06
Peso total de un kit en kg			4.54

Fuente: INDECI (2021)

Asimismo, para el transporte de los *kits* se plantea utilizar un camión de 20 m<sup>3</sup> debido a que son vehículos comunes y por su tamaño es capaz de transitar por las calles sin mayores dificultades (Benavente, 2016). La capacidad de carga de estos vehículos es 5 500 kg (Mitsui, s.f.). Además, la cantidad de vehículos disponibles por cada almacén es la misma para todos y no se toma en cuenta el costo de alquilar los vehículos ya que se asume que estos ya han sido adquiridos previamente.

## 2.3 Formulación del modelo

Los índices, conjuntos y parámetros del modelo poseen las siguientes características:

### Índices y conjuntos

*i* : nodo ofertante

*j* : nodo demandante

$I$  : conjunto de centros de distribución  $i \in I$  (los nodos de oferta)  
 $J$  : conjunto de puntos demandantes de suministros  $j \in J$  (los nodos de demanda)

Parámetros

$Dem_j$  : demanda de suministros en un nodo  $j$   
 $W$  : peso de los suministros en kg  
 $PT$  : presupuesto asignado por vehículo para el transporte de *kits* a los nodos de demanda (en S/ )  
 $PL$  : presupuesto asignado para la localización de almacenes (en S/ )  
 $CT_{ij}$  : costo para el transporte de *kits* desde el nodo  $i$  hasta el nodo  $j$   
 $CL$  : costo para la localización de almacenes  
 $COB$  : cantidad de *kits* que un nodo de oferta  $i$  puede brindar a cada nodo de demanda  $j$   
 $CAPw$  : capacidad de carga del vehículo utilizado  
 $N$  : cantidad de viajes por vehículo por almacén  
 $M$  : un número positivo lo suficientemente grande

Variables de decisión

$X_i$  : 1 si se decide localizar un almacén en el nodo  $i$ ; 0 en caso contrario  
 $Y_{ij}$  : 1 si se decide que el centro de distribución en  $i$  satisfaga el punto  $j$ , en caso contrario es 0  
 $VEH_i$  : cantidad de vehículos utilizados por almacén  
 $CTT_i$  : costo total para el transporte de *kits* desde  $i$  hasta  $j$  para el almacén  $i$   
 $CTTT$  : costo total para el transporte de *kits* a todos los puntos de demanda  $j$   
 $CTL$  : costo total para la localización de almacenes

Función objetivo

$$\text{Min } CTTT + CTL + \dots \dots \dots (1)$$

Restricciones

$$\sum_j Y_{ij} \leq M * X_i \text{ para } \forall i \in I, \forall j \in J \dots \dots \dots (2)$$

$$\sum_j Y_{ij} * COB * W \leq CAPw * N * VEH_i \text{ para } \forall i \in I, \forall j \in J \dots \dots \dots (3)$$

$$\sum_j Y_{ij} * CT_{ij} * N \leq PT * VEH_i \text{ para } \forall i \in I, \forall j \in J \dots \dots \dots (4)$$

$$\sum_i X_i * CL \leq PL \text{ para } \forall i \in I \dots \dots \dots (5)$$

$$\sum_j Y_{ij} * COB \geq Dem_j \text{ para } \forall i \in I, \forall j \in J \dots \dots \dots (6)$$

$$\sum_j Y_{ij} * CT_{ij} * N = CTT_i \text{ para } \forall i \in I, \forall j \in J \dots \dots \dots (7)$$

$$\sum_i CTT_i = CTTT \text{ para } \forall i \in I, \forall j \in J \dots \dots \dots (8)$$

$$\sum_i X_i * CL = CTL \text{ para } \forall i \in I \dots \dots \dots (9)$$

$$X_i \in \{0,1\} \text{ para } \forall i \in I \dots \dots \dots (10)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \text{ para } \forall j \in J \dots \dots \dots (11)$$

La función objetivo del modelo (1) propuesto pretende minimizar la suma total del costo de transportar los kits de ayuda humanitaria desde el nodo  $i$  hasta el nodo  $j$  y el costo de localizar almacenes en los puntos  $i$ . La primera restricción (2) tiene como función determinar la localización de los almacenes de ayuda humanitaria en los nodos  $i$ ; en este caso, para que se decida localizar un almacén en  $i$ ,  $Y_{ij}$  debe tomar 1 como valor. La segunda restricción (3) tiene como finalidad determinar la cantidad de vehículos por almacén necesarios para distribuir los kits desde los puntos ofertantes  $i$  hasta los puntos demandantes  $j$ , para lo cual se toma en cuenta el peso, la capacidad de carga del vehículo, ambas en medidas en kilogramos, y la cantidad de viajes por vehículo. La tercera restricción (4) tiene como finalidad evitar que la suma del costo total de transportar kits de ayuda humanitaria desde los puntos  $i$  hasta los puntos  $j$  no exceda el presupuesto designado para esta labor. De la misma manera, la cuarta restricción (5) evita que se supere el presupuesto asignado para la localización de almacenes de ayuda humanitaria en los puntos  $i$ . La quinta restricción (6) sirve para asegurar que todos los puntos de demanda sean satisfechos completamente; por ello, se entiende que esta restricción sirve como incentivo para hacer que  $Y_{ij}$  tome 1 como valor y se utilice esta ruta para satisfacer un punto de demanda; además, evita que el modelo entregue como resultado que la cantidad de almacenes a localizar debe ser de 0. La sexta restricción (7) sirve para determinar el costo de transporte por almacén. La séptima y octava restricciones (8 y 9) sirven para determinar el costo total de transporte y el costo total de localización de almacenes respectivamente, lo cual ocurre cuando  $Y_{ij}$  y  $X_i$  toman 1 como valor en sus respectivas restricciones. Finalmente, la novena y décima restricciones (10 y 11) son las condiciones binarias para las variables  $X_i$  e  $Y_{ij}$ .

## 2.4 Codificación del modelo

En esta sección se codificará el modelo utilizando Python 3 en Google Colab. La elección de este software se debe a que es muy versátil, es de libre uso y permite resolver problemas de programación lineal entera utilizando la librería pulp. Asimismo, en esta programación no es necesario agregar restricciones para las condiciones de existencia de las variables  $Y_{ij}$  y  $X_i$  ya que en la programación se indica que se tratan de variables binarias. La presentación del modelo codificado en Python se observa en las ilustraciones 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9.

```
[ ] pip install pulp

[ ] from pulp import *
    modelo = LpProblem('Minimizar costos totales', LpMinimize)

[ ] Oferta=['Almacen 1','Almacen 2','Almacen 3','Almacen 4','Almacen 5','Almacen 6',
            'Almacen 7','Almacen 8','Almacen 9','Almacen 10','Almacen 11','Almacen 12',
            'Almacen 13']
    Demanda=['Demanda 1','Demanda 2','Demanda 3','Demanda 4','Demanda 5','Demanda 6',
            'Demanda 7','Demanda 8','Demanda 9','Demanda 10']
    Rutas=[(i,j) for i in Oferta for j in Demanda]
```

Ilustración 2.5. Importación de la librería pulp, creación de modelo e índices en Python 3

```
[ ] Dem={'Demanda 1':4742,'Demanda 2':7646,'Demanda 3':6722,'Demanda 4':6399,
        'Demanda 5':2826,'Demanda 6':9067,'Demanda 7':7284,'Demanda 8':8405,
        'Demanda 9':8931,'Demanda 10':3718}
```

Ilustración 2.6. Codificación de la demanda de kits sen cada punto en Python 3

```
PT = 40
PL = 80000
CL = 6169
CAPw = 5500
COB = 900
W = 4.54
M = 10000000
N = 1
```

Ilustración 2.7. Codificación de los presupuestos, costos, cobertura, peso, capacidad de carga y número de viajes en Python 3

```

KT=[ 'Almacen 1': {'Demanda 1':3.78, 'Demanda 2':26.48, 'Demanda 3':18.74,
                  'Demanda 4':18.83, 'Demanda 5':31.95, 'Demanda 6':48.84,
                  'Demanda 7':26.11, 'Demanda 8':28.28, 'Demanda 9':37.69,
                  'Demanda 10':41.86},
      'Almacen 2': {'Demanda 1':14.63, 'Demanda 2':29.88, 'Demanda 3':15.74,
                  'Demanda 4':13.78, 'Demanda 5':36.21, 'Demanda 6':35.88,
                  'Demanda 7':27.22, 'Demanda 8':32.13, 'Demanda 9':33.86,
                  'Demanda 10':35.18},
      'Almacen 3': {'Demanda 1':5.42, 'Demanda 2':28.71, 'Demanda 3':18.46,
                  'Demanda 4':14.63, 'Demanda 5':33.24, 'Demanda 6':45.56,
                  'Demanda 7':28.43, 'Demanda 8':15.88, 'Demanda 9':42.84,
                  'Demanda 10':46.76},
      'Almacen 4': {'Demanda 1':13.33, 'Demanda 2':34.88, 'Demanda 3':7.88,
                  'Demanda 4':17.69, 'Demanda 5':41.58, 'Demanda 6':43.61,
                  'Demanda 7':32.78, 'Demanda 8':27.22, 'Demanda 9':41.38,
                  'Demanda 10':43.88},
      'Almacen 5': {'Demanda 1':34.26, 'Demanda 2':16.38, 'Demanda 3':45.47,
                  'Demanda 4':25.74, 'Demanda 5':21.11, 'Demanda 6':19.54,
                  'Demanda 7':14.17, 'Demanda 8':48.71, 'Demanda 9':4.66,
                  'Demanda 10':13.86},
      'Almacen 6': {'Demanda 1':4.55, 'Demanda 2':19.17, 'Demanda 3':18.33,
                  'Demanda 4':6.84, 'Demanda 5':24.26, 'Demanda 6':36.85,
                  'Demanda 7':18.88, 'Demanda 8':19.91, 'Demanda 9':33.86,
                  'Demanda 10':38.43},
      'Almacen 7': {'Demanda 1':4.23, 'Demanda 2':24.72, 'Demanda 3':12.59,
                  'Demanda 4':8.66, 'Demanda 5':38.56, 'Demanda 6':38.43,
                  'Demanda 7':23.71, 'Demanda 8':22.84, 'Demanda 9':35.28,
                  'Demanda 10':39.45},
      'Almacen 8': {'Demanda 1':53.71, 'Demanda 2':32.22, 'Demanda 3':65.47,
                  'Demanda 4':44.73, 'Demanda 5':32.78, 'Demanda 6':19.82,
                  'Demanda 7':31.38, 'Demanda 8':66.39, 'Demanda 9':19.82,
                  'Demanda 10':22.41} ,
      'Almacen 9': {'Demanda 1':43.24, 'Demanda 2':28.93, 'Demanda 3':55.65,
                  'Demanda 4':34.54, 'Demanda 5':21.58, 'Demanda 6':17.13,
                  'Demanda 7':28.37, 'Demanda 8':55.19, 'Demanda 9':14.26,
                  'Demanda 10':28.74} ,
      'Almacen 10': {'Demanda 1':52.87, 'Demanda 2':38.88, 'Demanda 3':65.47,
                  'Demanda 4':44.26, 'Demanda 5':28.89, 'Demanda 6':24.26,
                  'Demanda 7':29.72, 'Demanda 8':63.89, 'Demanda 9':22.78,
                  'Demanda 10':27.41},
      'Almacen 11': {'Demanda 1':36.11, 'Demanda 2':14.88, 'Demanda 3':37.13,
                  'Demanda 4':27.41, 'Demanda 5':16.11, 'Demanda 6':16.11,
                  'Demanda 7':13.24, 'Demanda 8':48.24, 'Demanda 9':11.76,
                  'Demanda 10':19.91},
      'Almacen 12': {'Demanda 1':23.34, 'Demanda 2':3.86, 'Demanda 3':17.84,
                  'Demanda 4':17.84, 'Demanda 5':58.52, 'Demanda 6':28.52,
                  'Demanda 7':5.98, 'Demanda 8':32.41, 'Demanda 9':23.71,
                  'Demanda 10':31.67},
      'Almacen 13': {'Demanda 1':26.58, 'Demanda 2':3.72, 'Demanda 3':48.28,
                  'Demanda 4':19.82, 'Demanda 5':4.15, 'Demanda 6':27.13,
                  'Demanda 7':6.33, 'Demanda 8':35.56, 'Demanda 9':22.22,
                  'Demanda 10':38.37}]

```

Ilustración 2.8. Codificación de los costos de transporte en Python 3

```

VARIABLES

[ ] X=LpVariable.dicts('X',Oferta,lowBound=0,cat='Binary')
    Y=LpVariable.dicts('Y',(Oferta,Demanda),lowBound=0,cat='Binary')
    CTL=LpVariable('CTL',lowBound=0,upBound=None,cat='Continuous')
    CTT=LpVariable.dicts('CTT',Oferta,lowBound=0,upBound=None,cat='Continuous')
    CTTT=LpVariable('CTTT',lowBound=0,upBound=None,cat='Continuous')
    VEH=LpVariable.dicts('VEH',Oferta,lowBound=0,upBound=None,cat='Integer')

FUNCION OBJETIVO

[ ] modelo += CTTT + CTL

RESTRICCIONES

[ ] for i in Oferta:
    modelo += lpSum(Y[i][j]*CT[i][j] for j in Demanda)*N <= PT*VEH[i]
for i in Oferta:
    modelo += lpSum(Y[i][j]*CT[i][j] for j in Demanda)*N == CTT[i]
modelo += lpSum(CTT[i] for i in Oferta) == CTTT
modelo += lpSum(X[i] for i in Oferta)*CL <= PL
modelo += lpSum(X[i] for i in Oferta)*CL == CTL
for j in Demanda:
    modelo += lpSum(Y[i][j] for i in Oferta)*COB >= Dem[j]
for i in Oferta:
    modelo += lpSum(Y[i][j] for j in Demanda) <= M*X[i]
for i in Oferta:
    modelo += lpSum(Y[i][j] for j in Demanda)*COB*W <= CAPw*N*VEH[i]

```

Ilustración 2.9. Codificación de las variables, función objetivo y restricciones en Python 3

El modelo se resuelve y en el capítulo 3 se presenta el análisis de los resultados frente a cambios de algunos parámetros.

## Capítulo 3. Análisis de resultados

Para la obtención y el análisis de los resultados, la estrategia de solución del modelo de programación entera consiste en modificar los valores de los siguientes parámetros: El presupuesto asignado de transporte por vehículo ( $PT$ ), la cantidad de *kits* que cada almacén puede proveer a cada punto de demanda, ( $COB$ ) y la cantidad de viajes por vehículo por almacén ( $N$ ). El propósito de los cambios de esos parámetros es determinar el impacto que estos tienen sobre los costos hallados, las rutas a utilizar, la cantidad de almacenes a ubicar, la cantidad de vehículos empleados y la función objetivo. La primera corrida usa los siguientes valores iniciales para el  $PT$ ,  $COB$  y  $N$ : S/ 20; 900 *kits* y un viaje, respectivamente. Estos valores se tomaron así porque, para el caso del  $PT$ , según la tabla 2.4 los costos de transporte tienen valor mínimo y máximo de S/ 3.06 y S/ 66.39, respectivamente, por lo que con un presupuesto de S/ 20 por vehículo utilizado se puede tomar la decisión de atender o no un punto de demanda  $j$  desde un almacén  $i$ . Respecto a los *kits*, debido a que el modelo no toma en cuenta un stock de *kits*, se asume que se cuenta con una cantidad ilimitada de estos para el reparto, por lo que para este caso se considera que cada almacén  $i$  puede repartir hasta 900 *kits* a cada punto de demanda  $j$ . Para el caso de los viajes se considera como primer valor uno, ya que es ideal que los vehículos solo tomen un viaje para el reparto de *kits* y así se evitaría aumentar el costo de transporte total. Estos valores se mantienen constantes o se incrementan según lo requiera el análisis.

### 3.1. Conexiones utilizadas y costo total de transporte

Los resultados obtenidos para las rutas utilizadas y el costo total de transporte muestran una fuerte dependencia a la cobertura de los almacenes para cada punto de demanda. Esto se corrobora al observar la ilustración 3.1 y la tabla 3.1: se observa que la cantidad de conexiones utilizadas (cuando la variable de decisión  $Y_{ij}$  es igual a 1) va disminuyendo en todas las corridas, lo cual se explica porque los valores de los parámetros  $COB$  y  $PT$  aumentan a lo largo de las corridas llegando a obtener hasta 49 conexiones como solución óptima. Asimismo, se aprecia que  $COB$  tiene un mayor impacto que  $PT$  porque sus valores en las últimas cuatro corridas fueron de 1 500 *kits* y la cantidad de conexiones utilizadas fue la misma para estos casos. El valor de  $N$  no parece influir sobre los resultados totales. El detalle de las conexiones se aprecia en el anexo 1.

De manera similar, en la ilustración 3.2 y en la tabla 3.2 se observan los costos totales de transporte ( $CTTT$ ) obtenidos para las distintas corridas del modelo. En este caso, se observa que los valores de  $CTTT$  son mayores cuando el valor de  $N$  es igual a 2. Asimismo, los valores de  $CTTT$  son menores cuando  $COB$  incrementa sus valores, lo cual sugiere que al igual que el caso anterior, el valor de  $COB$  tiene una fuerte influencia sobre los resultados de  $CTTT$ .



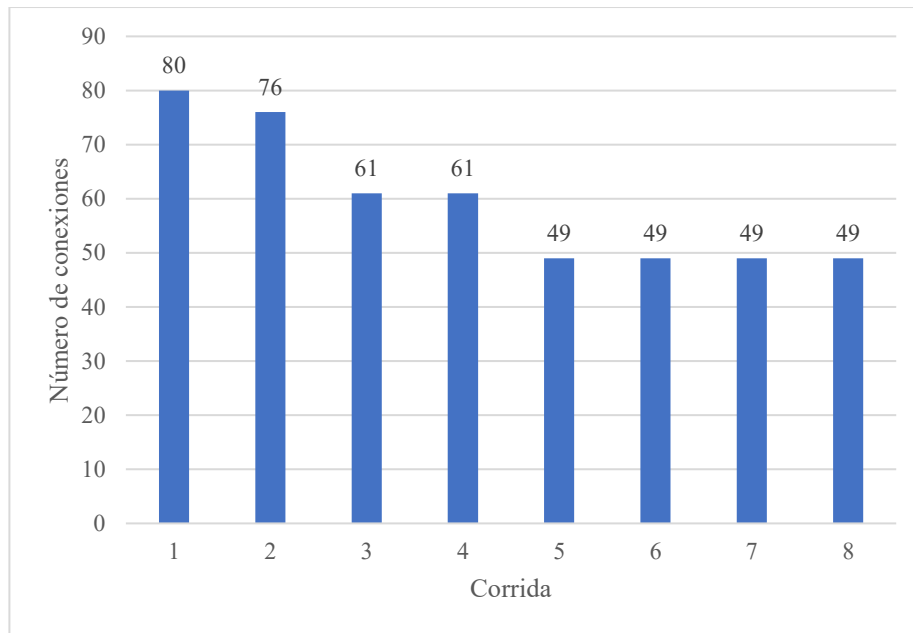


Ilustración 3.1 Número de conexiones obtenidas para todas las corridas

**Tabla 3.1 Número de conexiones obtenidas según el número de corrida**

Corrida	<i>PT</i>	<i>COB</i>	<i>N</i>	Número de conexiones
1	20	900	1	80
2	20	1 200	1	76
3	70	1 200	1	61
4	70	1 200	2	61
5	20	1 500	1	49
6	20	1 500	2	49
7	70	1 500	1	49
8	70	1 500	2	49

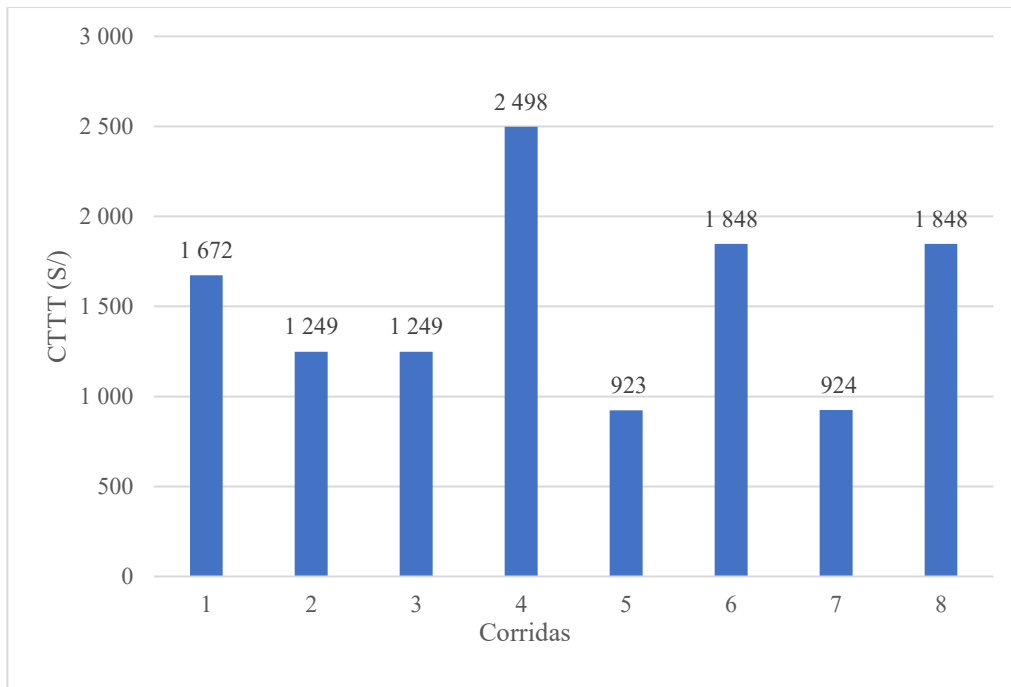


Ilustración 3.2 Resultados de CTTT para todas las corridas

**Tabla 3.2 Resultados de CTTT para todas las corridas**

Corrida	<i>PT</i>	<i>COB</i>	<i>N</i>	<i>CTTT</i> (en \$/)
1	20	900	1	1 672.40
2	20	1 200	1	1 249.01
3	70	1 200	1	1 249.01
4	70	1 200	2	2 498.02
5	20	1 500	1	923.48
6	20	1 500	2	1 847.52
7	70	1 500	1	923.76
8	70	1 500	2	1 847.52

### 3.2. Almacenes ubicados y costo total de localización

Para el caso de los almacenes ubicados, en la tabla 3.3 y en la ilustración 3.3 se observa la cantidad obtenida para cada corrida del modelo. Los resultados indican que, al igual que en los casos anteriores, los mejores resultados en términos de menos almacenes localizados se encuentran cuando el valor de *COB* aumenta, independientemente de si los valores de *N* y *PT* aumentan también. Los costos de localización están directamente relacionados con la cantidad de almacenes ubicados, por lo que los resultados son los mismos. En la tabla 3.4 y la ilustración 3.4 se muestra el detalle de los costos de localización obtenidos. Asimismo, el anexo 2 muestra que los almacenes localizados en los nodos de oferta 1, 5, 6, 7, 11, 12 y 13 resultan ser indispensables en el modelo, ya que este arroja como resultado que estos almacenes siempre deben ser ubicados en todas las corridas realizadas, además que desde la corrida 5 a la 8 los resultados indican que solo se requieren de estos almacenes. Esto se puede deber principalmente a la cercanía que tienen con los puntos de demanda y que, en caso se encuentren lejos

de un punto demandante (nodo de demanda), el costo del transporte a ese punto, considerando la cantidad de viajes y el número de vehículos disponibles, es menor al costo de localizar un almacén más cercano a ese punto. Por otro lado, ocurre lo contrario con el almacén en el nodo 10, ya que los resultados indican que este almacén no es utilizado en ninguna corrida, debido principalmente a la lejanía que tiene con todos los puntos demandantes.

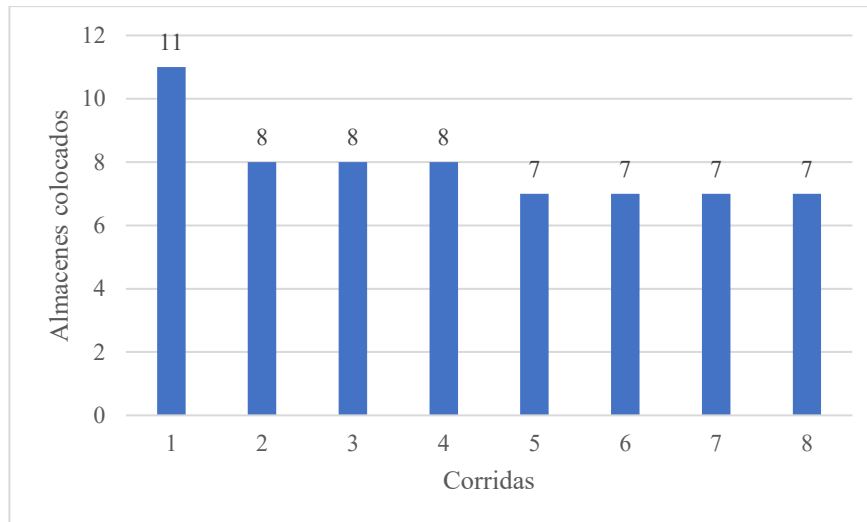


Ilustración 3.3 Cantidad de almacenes obtenidos para cada corrida

**Tabla 3.3 Cantidad de almacenes obtenidos para cada corrida**

Corrida	<i>PT</i>	<i>COB</i>	<i>N</i>	Almacenes colocados
1	20	900	1	11
2	20	1 200	1	8
3	70	1 200	1	8
4	70	1 200	2	8
5	20	1 500	1	7
6	20	1 500	2	7
7	70	1 500	1	7
8	70	1 500	2	7

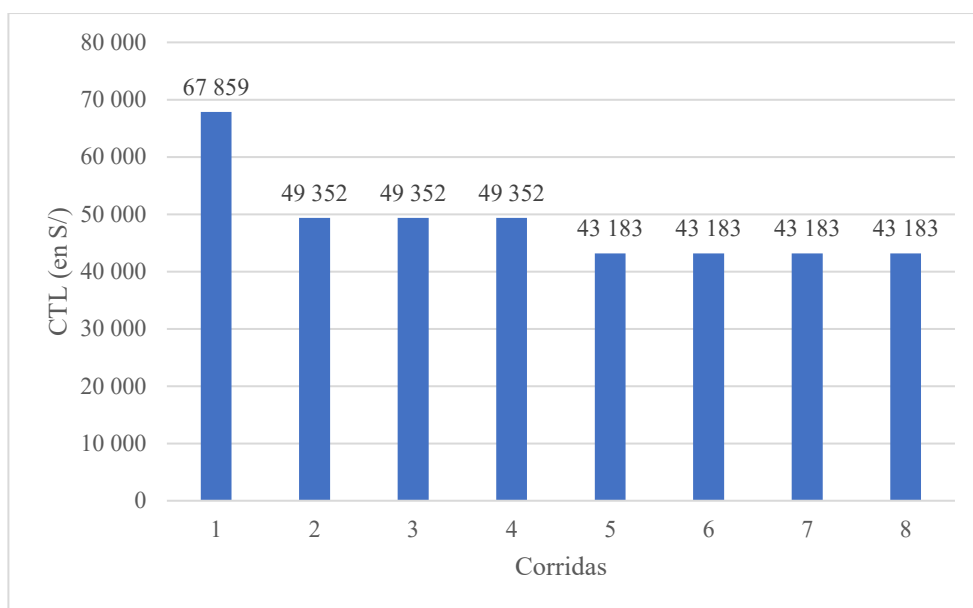


Ilustración 3.4 Costo total de localización obtenido para cada corrida

**Tabla 3.4 Costo total de localización según el número de corrida**

Corrida	<i>PT</i>	<i>COB</i>	<i>N</i>	<i>CLT</i> (en S/)
1	20	900	1	67 859
2	20	1 200	1	49 352
3	70	1 200	1	49 352
4	70	1 200	2	49 352
5	20	1 500	1	43 183
6	20	1 500	2	43 183
7	70	1 500	1	43 183
8	70	1 500	2	43 183

### 3.3. Cantidad de vehículos utilizados

Los resultados para la cantidad de vehículos utilizados se muestran en la ilustración 3.5 y tabla 3.5. Asimismo, el anexo 3 muestra que la cantidad de vehículos empleados por almacén ( $VEH_i$ ) es distinta para cada almacén y estos valores cambian según el número de corrida. En estos resultados se aprecia que se requiere de una gran cantidad de vehículos para poder satisfacer completamente la demanda de todos los puntos, siendo 95 la mayor cantidad de vehículos empleados en la corrida 6 y 40 la menor cantidad en la corrida 4. Al igual que en los casos anteriores, los mejores resultados en términos de menos vehículos ocurren principalmente cuando *COB* aumenta su valor. Si bien es cierto que el aumento en los valores de *N* y *PT* también ayudan a reducir el número de vehículos empleados, se aprecia que *COB* tiene mayor impacto sobre los resultados ya que en las corridas 5, 7 y 8 su valor es 1 500 y la cantidad de vehículos totales empleados no cambió, a pesar de que *N* y *PT* sí aumentaron sus valores. Sin embargo, como los vehículos cuentan con una capacidad de carga asignada, si el valor de *COB* llega

a ser muy alto entonces el aumento en los valores de  $N$  y  $PT$  serán necesarios para evitar tener una cantidad de vehículos exagerada.

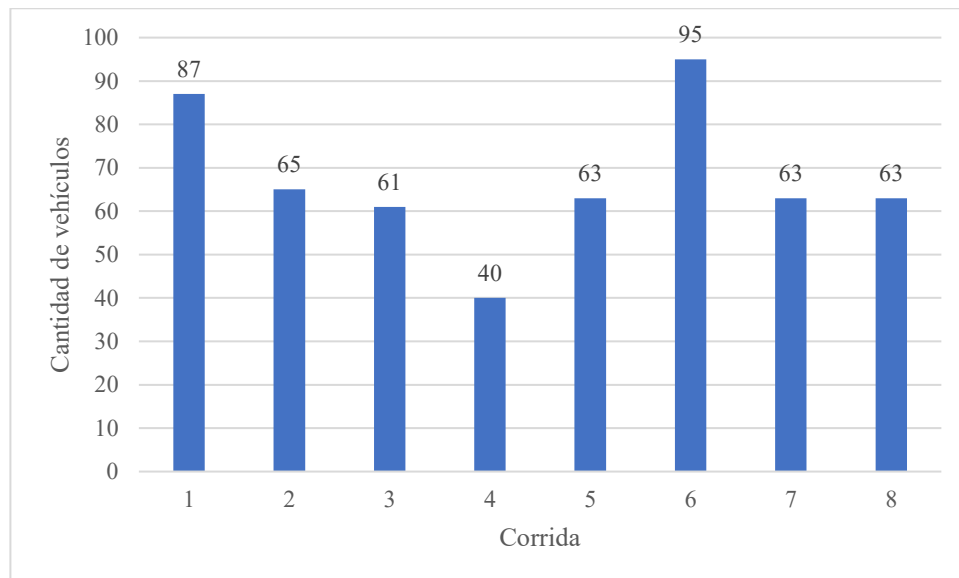


Ilustración 3.5 Cantidad de vehículos totales empleados según el número de corrida

**Tabla 3.5 Cantidad de vehículos utilizados en cada corrida**

Corrida	$PT$	$COB$	$N$	Cantidad de vehículos empleados
1	20	900	1	87
2	20	1 200	1	65
3	70	1 200	1	61
4	70	1 200	2	40
5	20	1 500	1	63
6	20	1 500	2	95
7	70	1 500	1	63
8	70	1 500	2	63

### 3.4. Función objetivo

Respecto a la función objetivo, se observa que los costos de localización son los más representativos debido a su alto costo unitario y que al depender de  $CTTT$  y  $CTL$ , tiene el mismo comportamiento que las conexiones a utilizar y los almacenes localizados. Como ocurre en los casos anteriores, los resultados indican que  $COB$  es el parámetro que tiene mayor impacto sobre el resultado final. Respecto a los valores de  $CTTT$  y  $CTL$ , el valor mínimo para este último es S/ 43 183 y el  $CTL$  es S/ 923 cuyo total es S/ 44 106 que se consiguió con S/ 20 para  $PT$  y uno para  $N$ : 63 vehículos utilizados y 1 500 para el valor de  $COB$  en la corrida 5. Por ello, el modelo indica que para poder minimizar los costos totales de

localización y transporte es necesario que se cuente con una cantidad lo suficientemente grande de *kits* como para poder satisfacer los puntos de demanda y una cantidad de vehículos suficiente que cuenten con una capacidad adecuada para el transporte de los *kits*, lo que puede hacer que el modelo sea considerado ambicioso ya que para este caso se asume que la utilización de los vehículos no tiene costo alguno; en caso contrario, los resultados serían distintos a los obtenidos. En la tabla 3.6 y la ilustración 3.6 se aprecian los resultados obtenidos para todas las corridas.

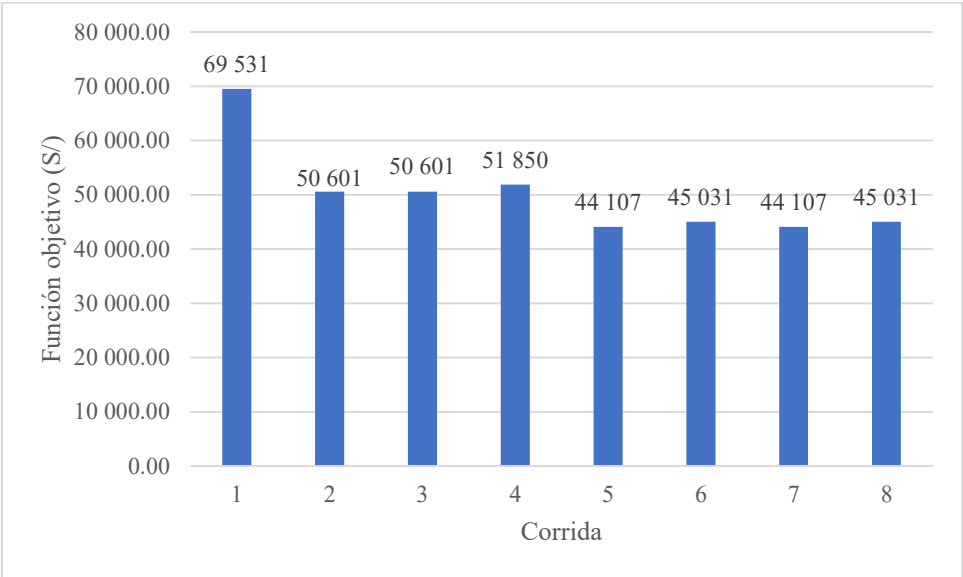


Ilustración 3.6 Valores de la función objetivo para todas las corridas

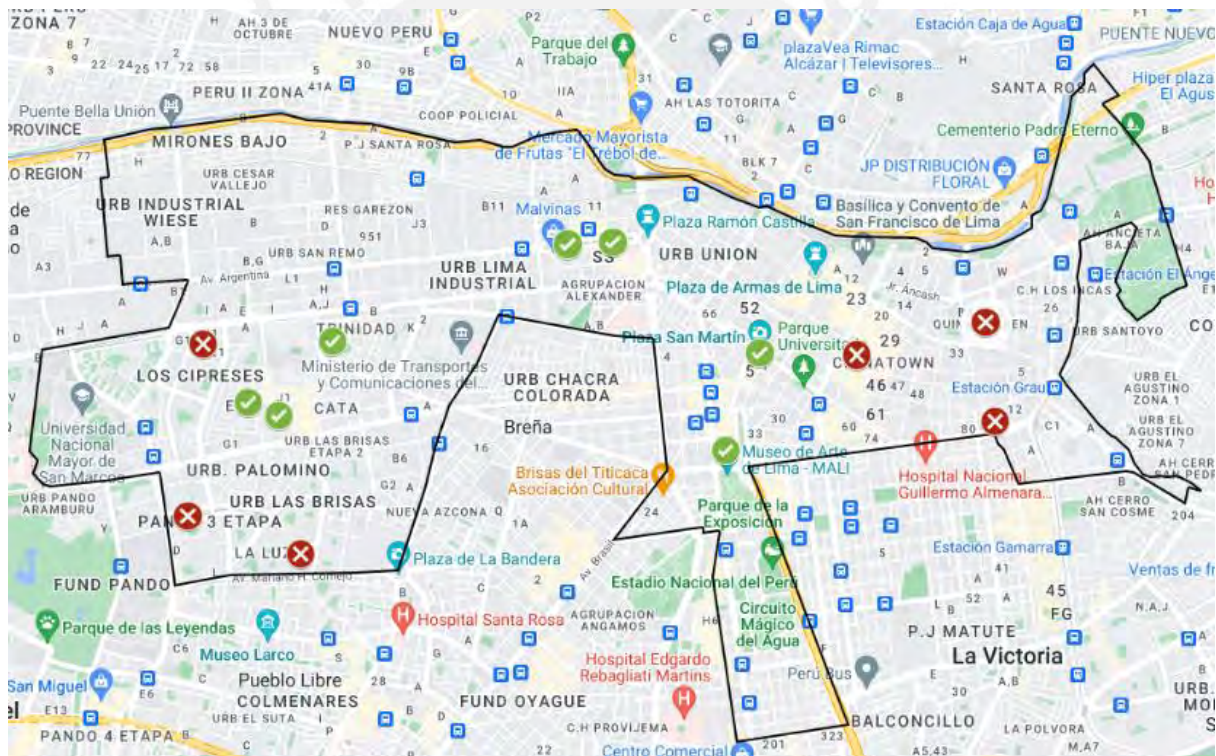
**Tabla 3.6 Resultados de FO para todas las corridas**

Corrida	PT	COB	N	FO
1	20	9 00	1	69 531.40
2	20	1 200	1	50 601.01
3	70	1 200	1	50 601.01
4	70	1 200	2	51 850.02
5	20	1 500	1	44 106.48
6	20	1 500	2	45 030.52
7	70	1 500	1	44 106.76
8	70	1 500	2	45 030.52

Finalmente, se concluye que para poder atender a la mayor cantidad de personas damnificadas se requiere de una cantidad de *kits* adecuada, ya que esta es la que determina cuantas personas pueden atenderse. Asimismo, la mejor solución en términos de minimización de costos fue la corrida 5, la cual indica que en total solo se deben colocar 7 almacenes de los 13 que fueron considerados como posibles locales. Los almacenes seleccionados y su ubicación se muestran en la tabla 3.7 y la ilustración 3.7, respectivamente. Con estos almacenes localizados, se espera que todas las familias damnificadas estimadas en la tabla 2.3 sean atendidas completamente.

**Tabla 3.7 Nodos de oferta seleccionados según resultados del modelo**

Nodo	Parque
1	Augusto Gonzáles Olaechea
5	Juana Alarco de Dammert
6	Scipion Llona
7	San Francisco de Asis
11	Plaza San Martín
12	Campo Deportivo Público de césped sintético
13	Alameda Las Malvinas



**Ilustración 3.7 Ubicación de los almacenes seleccionados por el modelo**

## Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

De este estudio se puede concluir lo siguiente:

- La ocurrencia de un sismo de gran magnitud puede traer consigo consecuencias medidas en términos de fallecidos, heridos, afectados e infraestructura destruida. Algunos sismos que ocasionaron desastres naturales en el Perú son los de los años 2001 y 2007 en los que las personas afectadas en términos de heridos y fallecidos fueron superiores a 2 000 y 1 600, respectivamente. Sin embargo, un terremoto no necesariamente afecta de manera severa a una población, ya que para que esto ocurra se requiere que la población cumpla con ciertas condiciones físicas y socioeconómicas que determinan su vulnerabilidad.
- Para determinar cuán vulnerable es Lima, se debe analizar tanto la vulnerabilidad física como la socioeconómica, ya que el conjunto de estas indica el nivel de vulnerabilidad de una población ante la ocurrencia de un desastre. En el caso particular de Lima, no basta con afirmar que es vulnerable porque se ubica en el Cinturón del Fuego del Pacífico y muy próxima a una zona catalogada como laguna sísmica. El análisis físico y socioeconómico reveló que sus distritos presentan características diferentes en esos ámbitos, lo que determina que su vulnerabilidad es diferente en cada uno de los distritos.
- El Cercado de Lima puede ser considerado como un distrito vulnerable debido a varias razones: por un lado, una cantidad considerable de sus viviendas cuentan con más de 50 años de antigüedad y tienen como material predominante al adobe, madera, quincha y otros materiales precarios; esa antigüedad es mayor en el Centro Histórico. Por otro lado, un gran porcentaje no recibió la asesoría de ingenieros civiles para la construcción de los hogares. Asimismo, en el ámbito socioeconómico, solo el 34.4% de los hogares en este distrito presenta un nivel de ingreso per cápita de nivel medio alto o alto (INEI, 2020), lo cual parece sugerir que solo esta porción de la población tiene una mayor probabilidad de recuperación luego de la ocurrencia de un desastre.
- La programación lineal entera resulta ser una herramienta útil que puede indicar los mejores lugares para localizar almacenes. Sin embargo, si el problema llega a ser uno muy complejo, entonces se pueden presentar limitaciones como el alto tiempo que cada corrida tarda para realizarse, lo cual indica que se requiere de un mayor consumo de recursos tecnológicos.
- Para esta investigación, Python 3 resultó ser un lenguaje de programación muy útil pues permite resolver problemas de programación lineal entera gracias a su librería pulp. Una gran ventaja de esta es que puede ser utilizado en Google Colaboratory, una plataforma de libre acceso que consume recursos en la nube y no de la computadora del usuario, por lo cual en caso de que no se cuenten con los recursos necesarios esta opción permite reducir los tiempos de corrida significativamente.



- De los resultados obtenidos se aprecia que la cobertura de los almacenes es un factor determinante, ya que si bien es cierto que aumentar los valores de  $N$  y  $PT$  ayuda a reducir el costo total, el incremento del valor de  $COB$  impacta de mayor manera en los resultados porque hace que los costos de transportes sean menores y que se necesiten de menos almacenes para satisfacer la demanda; por ello, se entiende que el nivel de cobertura tiene mucho impacto sobre en el modelo.
- El análisis de las distintas corridas indica que si se aumenta el valor de  $COB$  se obtiene una menor cantidad de vehículos necesarios. Sin embargo, si  $COB$  excede a la capacidad de carga del vehículo entonces el modelo arroja que se necesitarán más vehículos para el transporte de los *kits*. Por esa razón, a pesar de que desde las corridas 5 en adelante,  $COB$  era mayor o igual a 1 500 y se obtuvieron 63 y 95 vehículos necesarios; en la corrida 4 donde el valor de  $COB$  fue de 1 200 se obtuvo que solo eran necesarios 40 vehículos para el transporte de *kits*. Además, si el modelo hubiese considerado los costos de utilización de vehículos, es probable que los resultados sean distintos y que los valores de  $N$  y  $PT$  tengan mayor presencia en el modelo porque para minimizar la cantidad de vehículos necesarios es importante que sus valores aumenten. De esta manera, la cantidad de vehículos puede reducirse, lo cual es importante debido a que una mayor cantidad de vehículos requiere un mayor nivel de coordinación, lo cual puede hacer más complicada la distribución de bienes luego de la ocurrencia de un desastre.
- El aumento de la cobertura solo es posible debido a que no se está considerado la capacidad de almacenamiento de cada almacén, pues si este es el caso, se tendría que haber propuesto otra restricción que tenga como valor limitante a la capacidad. Además, se hubiera necesitado de un parámetro o variable adicional para la cantidad de almacenes localizados en el mismo punto. De esta manera, se pudo haber realizado otras corridas tomando en cuenta este nuevo parámetro o variable y los resultados del modelo serían más reales.
- Para atender a todos los damnificados al menor costo posible, el modelo indica que es necesario colocar 7 de los 13 almacenes potenciales. Además, se debe contar con 63 vehículos con un viaje por vehículo para el transporte de los *kits*. El coste total para todo esto sería de S/ 44 106.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios enfocados a la logística humanitaria aplicada al Perú, ya que este es un país que se encuentra ubicado en el Cinturón del Fuego del Pacífico y cuyas condiciones de vulnerabilidad son las suficientes para que sea afectado por un sismo de gran magnitud u otro desastre que pueda afectar a la población, como por ejemplo un huaico o tsunami.
- El uso de Python como lenguaje de programación es altamente recomendado ya que es muy versátil y en caso no se cuenten con los recursos tecnológicos adecuados, el uso de plataformas como Google Colaboraty permite correr modelos en poco tiempo debido a que no se consumen los recursos de la computadora del usuario, sino los recursos en la nube brindados por la plataforma.

- Para la elaboración de modelos matemáticos se recomienda hacer una revisión de la literatura previa que permita entender mejor el contexto bajo el que la logística humanitaria opera y las complicaciones que se puedan presentar durante su aplicación porque en estos estudios se analizan cuáles son los parámetros que se ajustan más a las necesidades de las poblaciones afectadas luego de un desastre.
- Asimismo, si se desea tener resultados más precisos, entonces se deben tomar en cuenta otros aspectos como el costo de uso por vehículo y la capacidad de almacenamiento de los almacenes, ya que de esta manera se puede cuantificar de mejor manera el costo total en el que se incurriría para atender toda la demanda del Cercado de Lima, la cantidad de almacenes y la cantidad de vehículos necesarios.
- En el modelo propuesto es probable que la cantidad de *kits* enviados a los puntos de demandantes sea superior a lo necesitado, por lo que la elaboración de un algoritmo que permita enviar un vehículo luego de haber satisfecho a un punto demandante a otro en caso de que sobren *kits* puede resultar útil y traería resultados interesantes que pueden ser mejores a lo obtenido en este estudio.
- Como política pública, es recomendable que se establezcan alianzas con el sector privado que permitan adquirir rápidamente bienes perecibles y no perecibles en caso ocurra un sismo de gran magnitud, ya que el modelo sugiere que la cobertura de los almacenes es indispensable para minimizar los costos de transporte.
- Se sugiere que se planteen otros estudios que permitan evaluar la eficiencia de los planes de contingencia actuales en el Perú y de cómo estos pueden ser mejorados para ayudar a la mayor cantidad de personas posibles.
- También es recomendable que se realicen estudios que permitan estimar con mayor precisión la cantidad de personas damnificadas luego de ocurrencia de un desastre; incluso a nivel de manzanas o zonas dentro de un distrito. De esta manera, los datos ingresados al modelo serían más fiables y también los resultados de los modelos.

## Referencias

- Asociación Peruana de Empresas de Inteligencia de Mercados (2014). *Niveles socioeconómicos 2014*. <http://apeim.com.pe/wp-content/uploads/2019/11/APEIM-NSE-2014.pdf>
- Asociación Peruana de Empresas de Inteligencia de Mercados (2015). *Niveles socioeconómicos 2015*. <http://apeim.com.pe/wp-content/uploads/2019/11/APEIM-NSE-2015.pdf>
- Asociación Peruana de Empresas de Inteligencia de Mercados (2016). *Niveles socioeconómicos 2016*. <http://apeim.com.pe/wp-content/uploads/2019/11/APEIM-NSE-2016.pdf>
- Asociación Peruana de Empresas de Inteligencia de Mercados (2017). *Niveles socioeconómicos 2017*. <http://apeim.com.pe/wp-content/uploads/2019/11/APEIM-NSE-2017-1.pdf>
- Asociación Peruana de Empresas de Inteligencia de Mercados (2018). *Niveles socioeconómicos 2018*. <http://apeim.com.pe/wp-content/uploads/2019/11/APEIM-NSE-2018.pdf>
- Asociación Peruana de Empresas de Inteligencia de Mercados (2019). *Niveles socioeconómicos 2019*. <http://apeim.com.pe/wp-content/uploads/2019/12/NSE-2019-Web-Apeim-2.pdf>
- Asociación Peruana de Empresas de Inteligencia de Mercados (2020). *Niveles socioeconómicos 2020*. <http://apeim.com.pe/wp-content/uploads/2020/10/APEIM-NSE-2020.pdf>
- Balcik, B., & Beamon, B.M. (2008a). Facility location un humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11(2), 101-121. <https://doi.org/10.1080/13675560701561789>
- Benavente, R. (2016) *Plan de ruteo para la distribución de ayuda humanitaria no alimentaria ante un terremoto de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7598>
- Cámara Peruana de la Construcción (2018) *Nueva iniciativa de CAPECO por la construcción responsable: Construyendo formalidad*. [https://www.capeco.org/store-imagenes/files/documentos/CONSTRUYENDO\\_FORMALIDAD\\_OCT\\_-\\_2018.pdf](https://www.capeco.org/store-imagenes/files/documentos/CONSTRUYENDO_FORMALIDAD_OCT_-_2018.pdf)
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres. (2020). *Escenario de riesgo por sismo y tsunami*. <https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Escenarios/2021/Tipo%20de%20fenomenos/Sismo%20y%20Tsunami%20Callao/INFORME/ER%20SISMO%20Y%20TSUNAMI%20LIMA%20Y%20CALLAO%2029.01.2021%20vb%20DGP.pdf>
- Church, R., & Reville, C. (1974). The maximal covering location problem. *The Johns Hopkins University*.
- Cooperazione Internazionale (2010). *Análisis de vulnerabilidad ante sismos del Centro Histórico de Lima como parte del componente de vulnerabilidad para la construcción de escenario sísmico*. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Analisis%20de%20Vulnerabilidad%20antes%20sismos%20del%20Centro%20Historico%20Lima%20COOPI.pdf>
- GlobalPetrolPrices. (s.f.). *Perú Precios del diesel, 14-jun-2021* [https://es.globalpetrolprices.com/Peru/diesel\\_prices/](https://es.globalpetrolprices.com/Peru/diesel_prices/)

- Icontainers. (s.f.). *Guía de los distintos tipos de contenedores marítimos y sus dimensiones*.  
<https://www.icontainers.com/es/tipos-de-contenedores-y-sus-dimensiones/>
- Instituto Geofísico del Perú (s.f.). *Glosario*. <https://ultimosismo.igp.gob.pe/glosario>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*.  
[http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319\\_contenido.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf)
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2011). *Estudio para determinar el nivel de vulnerabilidad física ante la probable ocurrencia de un gran sismo de gran magnitud: Distrito de Cercado de Lima*. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2234/doc2234-contenido.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2017). *Escenario Sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw*. <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201711231521471.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2019). *Plan logístico INDECI AF-2019 para ayuda humanitaria ante emergencias y desastres*. <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/03/RJ-N%C2%B0-296-2018-INDECI.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2021). *Plan logístico INDECI AF-2021. Bienes de ayuda humanitaria ante emergencias y desastres*.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1870022/R.J.%20N.%C2%B0%20127-2021-INDECI.pdf.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Información (2016). *Perú: Planos Estratificados de Lima Metropolitana a Nivel Manzana 2016*.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1403/index.html](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1403/index.html)
- Instituto Nacional de Estadística e Información (2017). *Provincia de Lima: Compendio Estadístico 2017*.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1477/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1477/libro.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Información (2018a). *Perú: Evolución de los indicadores de Empleo e Ingreso por Departamento, 2007 - 2018*.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1678/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1678/libro.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Información (2018b). *Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017*.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Información (2020). *Perú: Planos Estratificados de Lima Metropolitana a Nivel Manzana 2020*.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1744/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1744/libro.pdf)
- Kaztman, R. (2000) *Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social*.  
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/31545>
- Maskrey, A. (1993). *Los desastres no son naturales*.  
<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19762>
- Mercado Libre. (s.f.). *Venta Y Alquiler De Contenedores Marítimos Dry Secos*.  
<https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-441129789-venta-y-alquiler-de-contenedores-maritimos-dry->

[secos JM#position=4&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=2084eb2a-e2c8-4ca9-b223-d8d0278b6830](https://secos JM#position=4&search_layout=stack&type=item&tracking_id=2084eb2a-e2c8-4ca9-b223-d8d0278b6830)

Mitsui. (s.f.). *Hino Dutro 5 toneladas 300 Dutro 2021*.

<https://www.mitsuiautomotriz.com/obtener/camiones-hino/detalle/dutro-5-toneladas>

Municipalidad Metropolitana de Lima (2016). *Plan de Operaciones de Emergencia para Lima*

*Cercado*. <https://www.munlima.gob.pe/images/planes-contingencia/Plan%20de%20Operaciones%20de%20Emergencia%20Lima%20Cercado%20016-2018%20.pdf>

National Centers for Environmental Information (s.f.a).

<https://www.ngdc.noaa.gov/hazel/view/hazards/earthquake/event-data?maxEqMagnitude=9.9&maxYear=2020&minYear=1900&minEqMagnitude=7>

National Centers for Environmental Information (s.f.b).

<https://www.ngdc.noaa.gov/hazel/view/hazards/earthquake/event-data?maxEqMagnitude=9.9&maxYear=2020&minYear=1900&minEqMagnitude=7&country=PERU>

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2020). *UNDRR ROAMC*

*Webinar: #LosDesastresNoSonNaturales desde los espacios de trabajo*

<https://www.undrr.org/es/event/undrr-roamc-webinar-losdesastresnosonnaturales-desde-los-espacios-de-trabajo>

Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones (s.f.).

<https://systems.inei.gob.pe/SIRTOD/app/consulta>

Sistema Nacional de Información Ambiental (s.f.). *Mapa de suelos en los distritos de Lima*.

<https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-suelos-distritos-lima>

Tavera, H. (1993). *La tierra, tectónica y sismicidad*. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/701>

Tavera, H. (2017). *Actualización del Escenario por sismo, tsunami y exposición en la región central*

*del Perú*. Instituto Geofísico del Perú. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/781>

Tavera, H., & Bernal, I. (2005). *Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el*

*borde oeste del Perú*. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/781>

Uribe, G. (2021). Marco conceptual sobre logística humanitaria. [Trabajo de investigación, Pontificia

Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación

PUCP. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/20571/URIBE\\_PA\\_TI%c3%91O\\_GUSTAVO\\_ANDRES\\_MARCO\\_CONCEPTUAL\\_LOGISTICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/20571/URIBE_PA_TI%c3%91O_GUSTAVO_ANDRES_MARCO_CONCEPTUAL_LOGISTICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Webfleet solutions. (2019). *¿Conoces el consumo de diésel de un camión por km?*

[https://www.webfleet.com/es\\_es/webfleet/blog/conoces-el-consumo-de-diesel-de-un-camion-por-km/](https://www.webfleet.com/es_es/webfleet/blog/conoces-el-consumo-de-diesel-de-un-camion-por-km/)

## Anexos

### Anexo 1. Rutas obtenidas en las distintas corridas

Corrida 1

PT: S/ 20

COB: 900

N: 1

$Y_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
2	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
3	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
4	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
5	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
12	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
13	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Corrida 2

PT: S/ 20

COB: 1 200

N: 1

$Y_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
8	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
9	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
10	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
11	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
12	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
13	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Corrida 3

PT: S/ 70

COB: 1 200

N: 1

$Y_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
12	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
13	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Corrida 4

PT: S/ 70

COB: 1 200

N: 2

$Y_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
12	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
13	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Corrida 5

PT: S/ 20

COB: 1 500

N: 1

$Y_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
13	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Corrida 6

PT: S/ 20

COB: 1 500

N: 2

$Y_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
13	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1



Corrida 7

PT: S/ 70

COB: 1 500

N: 1

$Y_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
13	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Corrida 8

PT: S/ 70

COB: 1 500

N: 2

$Y_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
13	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1

## Anexo 2. Almacenes obtenidos en las distintas corridas

Corrida/ Almacén	Almacén													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	11
2	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8
3	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8
4	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	8
5	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	7
6	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	7
7	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	7
8	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	7

## Anexo 3. Cantidad de vehículos según el almacén por corrida

Corrida/ Almacén	Vehículos por almacén													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	9	9	6	8	7	8	9	0	6	0	9	8	8	87
2	9	0	7	0	7	8	9	0	0	0	9	8	8	65
3	8	0	6	0	7	8	8	0	0	0	8	8	8	61
4	6	0	4	0	4	5	5	0	0	0	6	5	5	40
5	7	0	0	0	7	10	9	0	0	0	10	10	10	63
6	9	0	0	0	6	16	15	0	0	0	18	16	15	95
7	7	0	0	0	7	10	9	0	0	0	10	10	10	63
8	7	0	0	0	7	10	9	0	0	0	10	10	10	63