

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Propuestas de mejoras operativas para ambulancias del
SAMU usando algoritmos de localización y ruteo para
minimizar la distancia total de viaje en el distrito de San Borja

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en Gestión de la
Ingeniería

que presenta:

Gian Carlos Enrique Vargas Guanilo

Asesora:

*Ruth **Isabel** Murrugarra Munares*

Lima, 2024


Informe de Similitud

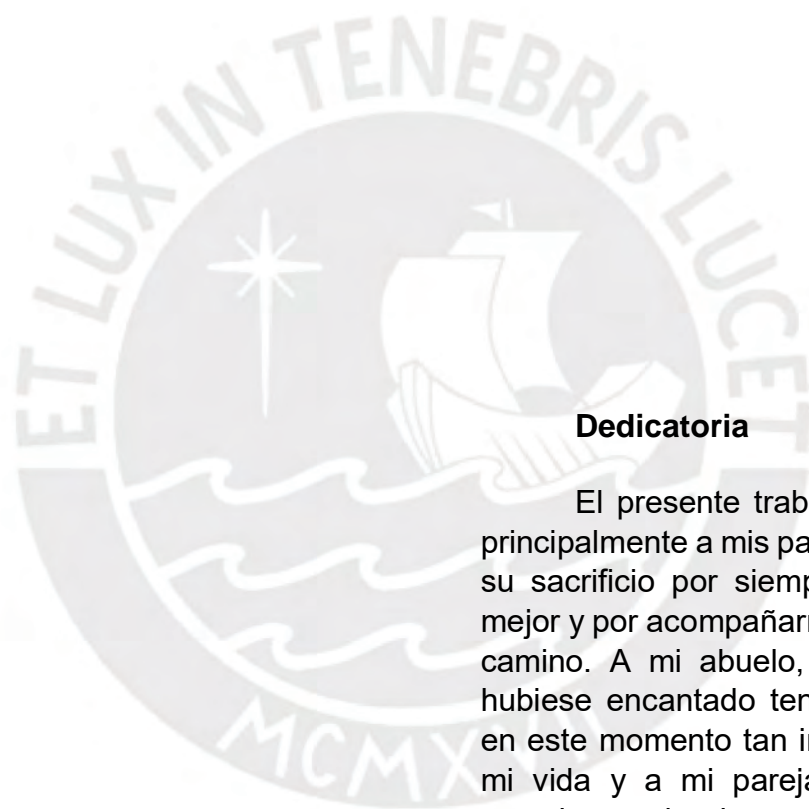
Yo, RUTH ISABEL MURRUGARRA MUNARES, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada(o) Propuestas de mejoras operativas para ambulancias del SAMU usando algoritmos de localización y ruteo para minimizar la distancia total de viaje en el distrito de San Borja, de el autor GIAN CARLOS ENRIQUE VARGAS GUANILO, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 20%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 01 de Agosto de 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de investigación, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 01 de Agosto de 2024.

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>MURRUGARRA MUNARES, RUTH ISABEL</u>	
DNI: 10799936	Firma
ORCID: 0000-0002-7043-7983	



Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico principalmente a mis padres por todo su sacrificio por siempre darme lo mejor y por acompañarme en todo el camino. A mi abuelo, a quién me hubiese encantado tener a mi lado en este momento tan importante en mi vida y a mi pareja, con quien asumimos el mismo reto, el cual terminaremos juntos.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo proponer mejoras relacionadas con la operativa de las ambulancias del Sistema de Atención Móvil de Urgencia (SAMU) en el distrito de San Borja, perteneciente a la ciudad de Lima Metropolitana. Para ello se describe la problemática actual, en la cual, el tiempo de atención de la emergencia no siempre cumple con el estándar internacional, el cual actualmente es de 8 minutos desde su reporte. A partir de esto se plantearon alternativas de solución por medio de dos algoritmos, el algoritmo Dijkstra, que es un algoritmo que optimiza la distancia recorrida y el segundo es el algoritmo Maximal Covering, que es un algoritmo que localiza puntos de atención desde los cuales se maximiza la atención, ambos algoritmos serán modelados con el lenguaje de programación Python. Con la implementación de estos algoritmos y sus combinaciones se plantearon seis escenarios de mejora, algunos aplicables en el corto plazo y otros en el mediano a largo plazo. Con la ayuda de la simulación de 300 emergencias se podrán comparar los escenarios planteados y en base a eso se realizarán sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave:

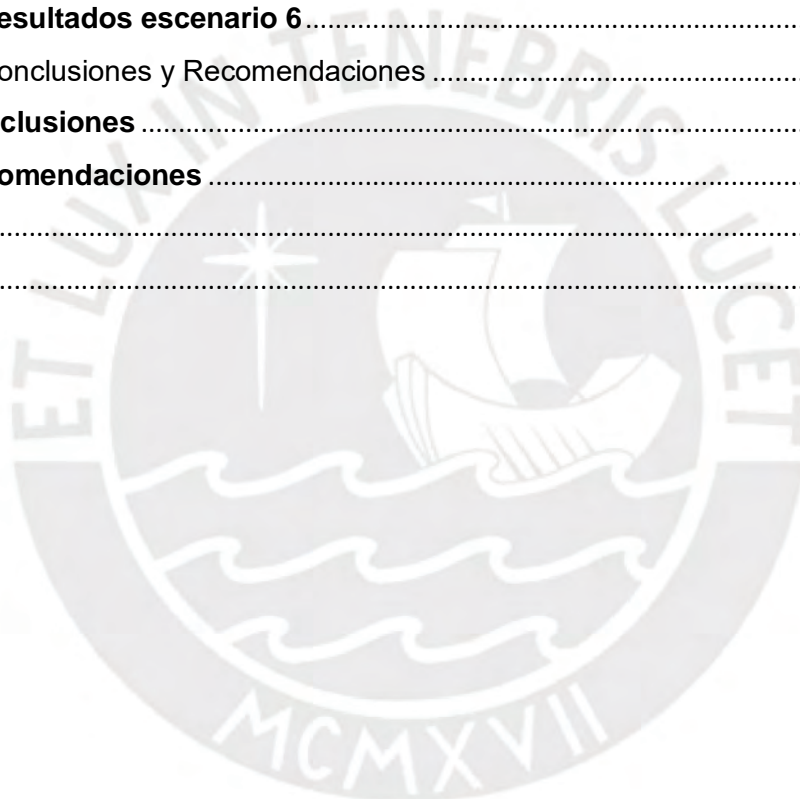
Distancia mínima recorrida, Dijkstra, Ruteo de Ambulancias, Sistema de Atención Móvil de Urgencias (SAMU), Python, Algoritmo, Maximal Covering, Grafo, Emergencias.

INDICE

Informe de Similitud.....	2
Dedicatoria	3
Resumen	4
INDICE	5
Índice Figuras	8
Índice Tablas	9
Introducción.....	11
Capítulo I: Marco Contextual y Normativo	16
1.1 Sistema de Salud	16
1.1.1 Sistema de Salud en el Perú	16
1.1.2 Categorías de IPRESS en el Perú	18
1.2 Atención de Urgencias y Emergencias	19
1.2.1 Prioridades de Emergencias y/o Urgencias	20
1.3 Atención Pre Hospitalaria	21
1.3.1 Transporte Asistido de Pacientes	22
1.4 Sistema de Atención Móvil de Urgencia (SAMU)	23
1.4.1 Creación y finalidad del SAMU	23
1.4.2 Funciones del SAMU	24
1.4.3 Servicios del SAMU	25
1.4.4 Financiamiento del SAMU	25
1.4.5 Cobertura del SAMU	25
1.5 Ambulancias	26
1.5.1 Clasificación de Ambulancias	26
Capítulo II: Estado del arte.....	28
2.1 Definición y Descripción del problema	28
2.2 Antecedentes Nacionales	29
2.2.1 Caso Lima, Perú (2021)	29
2.2.2 Caso San Borja, Lima, Perú	30
2.3 Antecedentes Internacionales	31
2.3.1 Caso Antofagasta, Chile (2020)	31
2.3.2 Caso Ankara, Turquía (2019)	32

2.4	Redacción formal del problema	33
Capítulo III: Marco teórico		34
3.1	Investigación de operaciones	34
3.1.1	Aplicaciones	34
3.1.2	Problema de optimización	35
3.1.3	Etapas de análisis	35
3.1.4	Programación lineal	37
3.1.5	Grafo	38
3.1.6	Distancia de Manhattan o Distancia Taxicab	39
3.1.7	Problemas de transporte	39
3.1.8	Problemas de redes	40
3.1.9	Algoritmos de Localización	41
3.1.10	Maximal Covering (Cobertura Máxima)	43
3.1.11	Algoritmos de Ruteo de Vehículos	47
3.1.12	Algoritmo Dijkstra	48
3.2	Python	55
3.2.1	Librerías en Python	58
3.3	OpenStreetMap	59
Capítulo IV: Situación Actual		61
4.1	Descripción del lugar de estudio	61
4.2	Estadísticos de la operativa del SAMU	63
4.3	Criterios de elección de ruta de los conductores del SAMU	72
Capítulo V: Modelamiento del problema		74
5.1	Escenario 1: Ruteo con reglas actuales sin relocalización	76
5.1.1	Consideraciones	76
5.1.2	Resultados escenario 1	77
5.2	Escenario 2: Ruteo con reglas actuales y relocalización de las bases del SAMU 81	
5.2.1	Consideraciones	81
5.2.2	Resultados escenario 2	81
5.3	Escenario 3: Ruteo con reglas actuales y relocalización de las IPRESS	85
5.3.1	Consideraciones	85
5.3.2	Resultados escenario 3	85

5.4	Escenario 4: Ruteo sin reglas actuales de IPRESS y sin relocalización	89
5.4.1	Consideraciones	90
5.4.2	Resultados escenario 4	92
5.5	Escenario 5: Ruteo sin reglas actuales de IPRESS y relocalización de las bases del SAMU	95
5.5.1	Consideraciones	95
5.5.2	Resultados escenario 5	95
5.6	Escenario 6: Ruteo sin reglas actuales de IPRESS y relocalización de las IPRESS	99
5.6.1	Consideraciones	99
5.6.2	Resultados escenario 6	100
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones		105
6.1	Conclusiones	105
6.2	Recomendaciones	111
Bibliografía		113
Anexo Datos		119



Índice Figuras

Figura 1 Grafo simple dirigido y no dirigido	39
Figura 2 Código Python para algoritmo de relocalización de Cobertura Máxima ..	47
Figura 3 Código Python utilizado en el algoritmo Dijkstra.....	55
Figura 4 Ejemplo de codificación con Python en PyCharm Community Edition ...	56
Figura 5 Grafo del distrito de San Borja	59
Figura 6 Delimitación del distrito de San Borja	60
Figura 7 División del distrito de San Borja	62
Figura 8 Parámetros solicitados sobre la operativa del SAMU	64
Figura 9 Distribución entre Urgencias y emergencias en Lima y Callao	65
Figura 10 Distribución entre Urgencias y emergencias en San Borja	68
Figura 11 Parámetros solicitados sobre las bases del SAMU	70
Figura 12 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU e IPRESS del Escenario 1	77
Figura 13 Imagen obtenida por el algoritmo y mapa de referencia	78
Figura 14 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU relocalizadas e IPRESS del Escenario 2	82
Figura 15 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU e IPRESS relocalizadas del Escenario 3.....	86
Figura 16 Plan de acción de la RIS en el corto, mediano y largo plazo	90
Figura 17 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU y hospitales del Escenario 4	92
Figura 18 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU relocalizadas e IPRESS del Escenario 5	96
Figura 19 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU e IPRESS relocalizadas del Escenario 6.....	101

Índice Tablas

Tabla 1 Puntos posibles de relocalización con su latitud y longitud.....	46
Tabla 2 Cantidad de IPRESS en San Borja por Categoría.....	62
Tabla 3 Lista de IPRESS en San Borja que atienden emergencias del SAMU.....	63
Tabla 4 Motivos por los cuales se solicitó una unidad del SAMU en Lima y Callao	66
Tabla 5 Distribución de solicitudes realizadas al SAMU por distritos.....	67
Tabla 6 Motivos por los cuales se solicitó una unidad del SAMU en San Borja....	69
Tabla 7 Bases de ambulancias del SAMU en Lima y Callao	70
Tabla 8 Frecuencia de atención de las bases de ambulancias del SAMU en Lima y Callao.....	71
Tabla 9 Frecuencia de atención de las bases de ambulancias del SAMU en el distrito de San Borja.....	72
Tabla 10 Muestra de accidentes con sus coordenadas de latitud y longitud	75
Tabla 11 Bases del SAMU utilizadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 1	76
Tabla 12 IPRESS utilizadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 1	76
Tabla 13 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 1 .	79
Tabla 14 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 1.....	80
Tabla 15 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 1.....	80
Tabla 16 Bases del SAMU reubicadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 2.....	81
Tabla 17 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 2 .	84
Tabla 18 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 2.....	84
Tabla 19 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 2	85

Tabla 20 IPRESS reubicadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 3	85
Tabla 21 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 3 .	88
Tabla 22 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 3.....	88
Tabla 23 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 3	89
Tabla 24 IPRESS consideradas en el escenario 4	91
Tabla 25 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 4 .	94
Tabla 26 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 4	95
Tabla 27 Bases del SAMU reubicadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 5.....	96
Tabla 28 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 5 .	98
Tabla 29 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 5.....	99
Tabla 30 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 5	99
Tabla 31 IPRESS reubicadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 6	100
Tabla 32 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 6	103
Tabla 33 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 6.....	103
Tabla 34 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 6	104
Tabla 35 Comparación de resultados obtenidos por los 6 escenarios contemplados	108
Tabla 36 Matriz de Distancias utilizada en el algoritmo de relocalización.....	119
Tabla 37 Matriz de Cobertura utilizada en el algoritmo de relocalización	123

Introducción

A finales del año 2019 en el mundo se detectaba la aparición de un nuevo virus respiratorio que empezaba a contagiar a muchas personas en la provincia de China de Wuhan, considerada inicialmente como una neumonía vírica (OMS, 2019) [13].

En los primeros días de marzo del siguiente año, la OMS declara la pandemia del COVID-19 causada por el virus SARS-COV-2 a nivel mundial, comenzando a esparcirse por los países cuyos ciudadanos habían realizado viajes a China o que hayan tenido escalas en dicho país, al principio se comenzó a propagar por Asia, luego por Europa Oriental, Europa Occidental y América. En países de Europa se registraban gran cantidad de personas infectadas por el nuevo virus a mediados de febrero del mismo año (Consejo Europeo, 2020) [10][8] y se observaba una propagación a gran escala a nivel global.

En este contexto, la globalización contribuyó a la propagación de este nuevo virus, debido a que las personas podrían recorrer cualquier parte del mundo y luego regresar a sus países de origen, llevando la enfermedad a los diferentes continentes del mundo. Un gran ejemplo de esto es la confirmación del primer caso de COVID-19 en los Estados Unidos de América, detectado los últimos días del mes de enero del mismo año, siendo este el primer caso en la región de las Américas (OMS, 2020) [13].

Luego de la declaración mundial de una nueva pandemia, los países del mundo que no habían detectado algún contagio dentro de sus territorios comenzaron a prepararse para la llegada de este nuevo virus. En este contexto, se sabía que todos los componentes de los sistemas de salud debían ser empleados y distribuidos lo mejor posible para poder atender a la mayor cantidad de personas de una forma óptima. En este caso, las ambulancias eran unos de esos componentes cuyo uso debía ser optimizado para brindar apoyo a los diferentes puntos de las ciudades, ya que este recurso era limitado para la demanda que se presentaría, debían tener un tiempo de respuesta rápido para arribar al lugar de la emergencia, una elección óptima de ruta hacia los centros de salud, entre otros.

Según la Organización Panamericana de la SALUD (OPS) el primer caso de COVID 19 en el Perú se registró el día 5 del mes de marzo del 2020 en una persona proveniente de un viaje con escalas en países de Europa que habían presentado ya casos confirmados de este nuevo contagio. Siendo el Perú un país que se encuentra en vías de desarrollo, el sistema de salud presentaba varias deficiencias que podían hacer que, no se pueda prestar la ayuda oportuna y suficiente en dónde se necesite [38]. Por ejemplo: Según el Instituto Peruano de Economía (IPE) previo a la llegada del COVID-19 al Perú, se contaba con 13,6 médicos por cada diez mil habitantes y la cantidad de camas UCI era de 0,4 por cada cien mil habitantes (IPE, 2019) [22]

Luego de esta situación, quedó en evidencia que el sistema de salud peruano no era capaz de responder adecuadamente ante una eventualidad como una pandemia global, motivo por el cual se ha registrado un incremento en la inversión del Gobierno en dicho sector.

A raíz de eso se comenzó a observar mejoras en dicho sector en materia de inversiones y de adquisición de activos ya que, según el Instituto Peruano de Economía (IPE,2019) [22] la cantidad de camas UCI aumentó de 140 en total que existían en la segunda semana de abril del 2020 a 2.062 a inicios de febrero del año siguiente, la cantidad de respiradores mecánicos aumentó de 146 a 2.111 en el mismo periodo. Además, se prevé mayor asignación del presupuesto nacional para el sector salud en años posteriores como medidas de reforzamiento de este sector y eventual preparación ante otro posible evento disruptor.

Uno de estos recursos limitados fueron las ambulancias, debido a su participación en la atención pre hospitalaria, su uso resultaba ser un punto clave a considerar en este nuevo contexto de pandemia, como señala Olivos [36], resolver estos problemas puede permitir reducir el tiempo de respuesta ante emergencias y aumentar el porcentaje de emergencias atendidas a tiempo según lo piden los diferentes estándares internacionales. En particular, en un país en vías de desarrollo como lo es el Perú, esta situación no era diferente ya que, también se evidenció la sobredemanda de este recurso durante dicha época.

En el Perú, desde el 2011 existe el Servicio de Atención Móvil de Urgencia (SAMU) [26], el cual es un servicio gratuito de ambulancias que brinda atención médica en Lima Metropolitana y en diferentes regiones del país, a través del número telefónico 106. El SAMU puede atender los siguientes casos [43]:

- Accidentes de tránsito y caídas
- Diabetes Mellitus descompensada
- Problemas neurológicos: accidentes cerebro vascular, convulsiones
- Problemas cardiológicos, crisis hipertensivas, infarto de miocardio
- Problemas respiratorios, crisis de asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)
- Gestantes con signos de alarma
- Atragantamiento
- Intoxicación
- Pérdida de conciencia
- Quemaduras

Cuando se realiza la solicitud de atención, un profesional especializado en emergencias y urgencias, asesora a la persona que realiza la llamada y procede a evaluar la situación. De ser conveniente envía una ambulancia o moto ambulancia con un profesional al lugar solicitado para atender la urgencia o emergencia y si es necesario luego trasladar al paciente hacia un centro más especializado para que se le brinde la atención que necesita. Adicionalmente al SAMU, existen diversas empresas privadas que han adquirido sus propias unidades para complementar los servicios que ofrecen, como en el caso de las EPS, y otras empresas que se dedican exclusivamente al servicio de transporte en ambulancias, creando así un nuevo modelo de negocios.

Este nuevo modelo de negocios surgió ya que según el MINSA el SAMU contaba con 33 ambulancias previo a la pandemia y que 15 de ellas operaban en Lima Metropolitana (MINSA, 2021) [46], un número que no logró abastecer toda la demanda de la población, especialmente evidenciada durante los primeros meses de la pandemia, ya que la curva de contagios crecía exponencialmente y la cantidad

de pacientes posiblemente contagiados que solicitaban ser transportados en ambulancias aumentaba de la misma manera. Con esto en mente y con los protocolos de acondicionamiento, descontaminación, medidas de bioseguridad del personal de atención y demás consideraciones existentes en el Protocolo para la recepción, organización y distribución de los traslados de los pacientes confirmados o sospechosos sintomáticos de covid-19, aprobado en la R.M. 144-2020-MINSA [30], el tiempo entre que estos activos recogían a un paciente, lo transportaban a la IPRESS de destino, realizaban todos los protocolos mencionados y se dirigían a recoger al siguiente paciente transcurría un tiempo no tan corto.

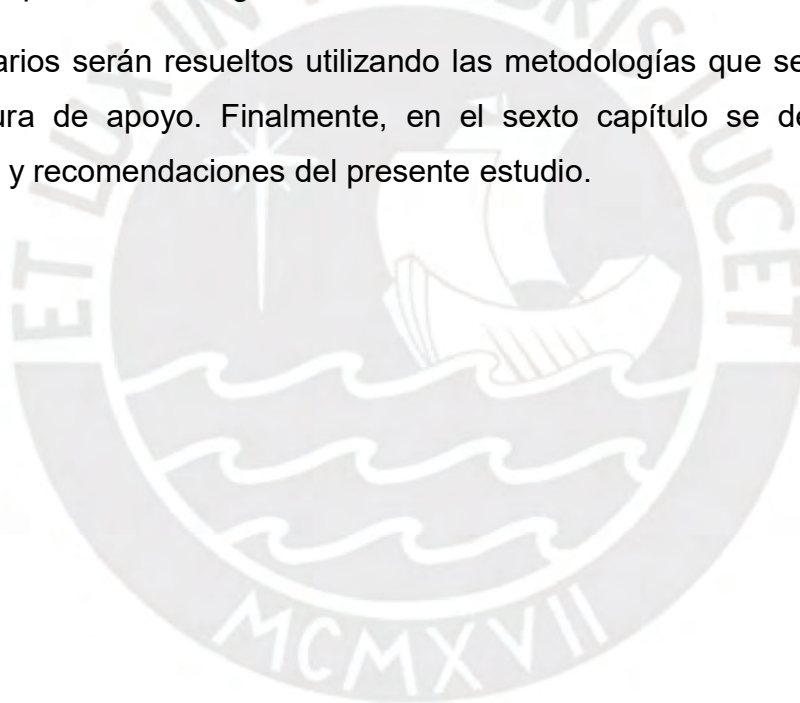
En función a lo mencionado, se logró evidenciar un déficit en las atenciones de emergencia que requerían el uso de ambulancias en la ciudad de Lima, para la presente tesis se utilizará el distrito de San Borja, perteneciente a Lima Metropolitana como área física en la que se realizará la prueba del algoritmo, esto debido a que el distrito en mención cuenta con una distribución simétrica de sus calles y avenidas en general, siendo ideal para realizar una prueba inicial del algoritmo que se desarrollará.

Por todo lo mencionado, se presenta el siguiente trabajo de innovación, que constará con 6 capítulos, en el primero se realizará una revisión exhaustiva de la normativa vigente que servirá de base en el presente trabajo y del contexto actual, en el segundo se definirán los conceptos teóricos necesarios para la realización del presente trabajo, en el tercer capítulo se describirá la problemática existente junto con algunos antecedentes de este estudio tanto nacionales como internacionales extraídos de una revisión sistemática de la literatura, en el cuarto se describirá la operativa actual y se mostrarán algunos indicadores actuales, en el quinto capítulo se realizará la definición, descripción y desarrollo de 6 escenarios, los cuales serán mencionados a continuación:

- El primero consiste en la aplicación del algoritmo de optimización de ruteo sin la aplicación del algoritmo de relocalización
- El segundo consiste en la aplicación del algoritmo de optimización de ruteo con la aplicación del algoritmo de relocalización en las bases del SAMU

- El tercero consiste en la aplicación del algoritmo de optimización de ruteo con la aplicación del algoritmo de relocalización en los IPRESS
- El cuarto consiste en la aplicación del algoritmo de optimización de ruteo con la eliminación de las restricciones actuales del sistema de salud relacionado a las IPRESS y sin la aplicación del algoritmo de relocalización
- El quinto consiste en la aplicación del algoritmo de ruteo con la eliminación de las restricciones actuales del sistema de salud relacionado a las IPRESS y con la aplicación del algoritmo de relocalización en las bases del SAMU
- El sexto consiste en la aplicación del algoritmo de ruteo con la eliminación de las restricciones actuales del sistema de salud relacionado a las IPRESS y con la aplicación del algoritmo de relocalización en los IPRESS

Estos escenarios serán resueltos utilizando las metodologías que serán descritas en la literatura de apoyo. Finalmente, en el sexto capítulo se describirán las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.



Capítulo I: Marco Contextual y Normativo

En el presente capítulo se lista, describe y define toda la información referente al contexto de estudio y a la normativa vigente del país sobre la cual se elaborará el presente trabajo de investigación.

1.1 Sistema de Salud

Según el Ministerio de Salud de Argentina (MSAL), se suele enfatizar que se entiende por Sistemas de Servicios de Salud al conjunto de recursos y organizaciones de todo tipo que cada sociedad destina para para la producción de prestaciones para atender la salud de sus respectivas poblaciones, también puede ser definido como una respuesta social organizada para los problemas de salud de una determinada población. (MSAL,2017) [42]

Para el territorio nacional se asumirá una definición parecida o similar a la que se señala el Gobierno Argentino sobre lo que es un “Sistema de Salud.”

1.1.1 Sistema de Salud en el Perú

En lo que se refiere al Perú, según el documento de Análisis Situacional de Salud del Perú del 2019 publicado por el Ministerio de Salud (MINSa) [3]: El sistema de salud en el Perú cuenta con los siguientes partícipes o subsistemas:

- Ministerio de Salud (MINSa)
- Seguro Social de Salud (EsSalud)
- Servicios de Salud de las Municipalidades
- Servicios de Sanidad de las Fuerzas Armadas y la Policía Nacional del Perú
- Servicios de Salud del Sector Privado
- Las Universidades y la sociedad civil organizada

Las entidades mencionadas anteriormente son coordinadas a través del Consejo Nacional de Salud, el cual es presidido por el(la) Ministro(a) de Salud, bajo el enfoque de lograr un cuidado integral de la salud y el desarrollo

hacia el aseguramiento universal de la salud. En el Perú el sistema de salud se divide en dos (02) el sector público y el privado. El sector público se divide en el régimen subsidiado o contributivo indirecto y el contributivo directo que corresponde a la seguridad social. Cada uno de los subsistemas opera de forma separada y replica las funciones fundamentales del sistema, rectoría, financiamiento y prestación de servicios a través de sus respectivas Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPRESS).

El subsistema contributivo indirecto o subsidiado se puede estructurar en tres (03) niveles, los cuales son, nacional, regional y local. El nivel nacional está conformado por el MINSA y todos los organismos y programas que este conlleva, el nivel regional está compuesto por las Direcciones Regionales de Salud (DIRESA), los cuales pertenecen a los gobiernos regionales y en el nivel local se puede encontrar los establecimientos de salud de provincias o distritos.

El subsistema contributivo directo se encuentra representado por EsSalud, el cual se encuentra adscrito al Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MINTRA) y ofrece prestaciones de salud a los trabajadores dependientes que se encuentren en actividad y a sus derechos habientes mediante su propia red de IPRESS. Cabe mencionar que los trabajadores también pueden decidir recibir sus atenciones de salud mediante las Entidades Prestadoras de Salud (EPS), esto desde la promulgación de la ley de la modernización del seguro social en 1997.

El sector privado por otra parte, se encuentra conformado por diversas IPRESS lucrativas y no lucrativas distribuidas en todo el territorio nacional con mayor presencia en Lima Metropolitana. Este sector ofrece servicios de salud a la población con capacidad de pago mediante seguros de salud privados por medio de las Instituciones Administradoras de Fondos de Aseguramiento en Salud (IAFAS), entran también en esta categoría las instituciones eclesiásticas y otras sin fines de lucro.

Dentro del sistema de salud peruano, la Superintendencia Nacional de Salud (SUSALUD) es la entidad encargada de velar y proteger los derechos en salud de los peruanos mediante el empoderamiento de los ciudadanos en el sistema de salud y tiene la potestad de actuar sobre las IPRESS, así como las IAFAS, públicas, privadas y mixtas del país. (MINSAL,2019) [3]

1.1.2 Categorías de IPRESS en el Perú

En el Perú, en lo que concierne a las categorías de las IPRESS, se cuenta con la siguiente leyenda basada en la información encontrada en el sitio web Conexión ESAN: (Conexión ESAN:2018) [9]

Sin Nivel de Atención

- Categoría 0: Sin categoría de IPRESS

Primer Nivel de Atención

- Categoría I-1: Puesto de salud, posta de salud o consultorio con profesionales de salud no médicos.
- Categoría I-2: Puesto de salud o posta de salud (con médico). Además de los consultorios médicos (con médicos con o sin especialidad).
- Categoría I-3: Corresponde a los centros de salud, centros médicos, centros médicos especializados y policlínicos.
- Categoría I-4: Agrupan los centros de salud y los centros médicos con camas de internamiento.

Segundo Nivel de Atención

- Categoría II-1: El conjunto de hospitales y clínicas de atención general.
- Categoría II-2: Corresponde a los hospitales y clínicas con mayor especialización.
- Categoría II-E: Agrupan a los hospitales y clínicas dedicados a la atención especializada.

Tercer Nivel de Atención

- Categoría III-1: Agrupan los hospitales y clínicas de atención general con mayores unidades productoras de servicios de salud.
- Categoría III-2: Corresponden a los institutos especializados.
- Categoría III-E: Agrupan los hospitales y clínicas de atención general con mayores unidades productoras de servicios de salud y servicios en general.

1.2 Atención de Urgencias y Emergencias

Según el Hospital Nacional de Emergencias “José Casimiro Ulloa”, una emergencia es cuando una persona presenta una situación que pone en peligro su salud debiendo ser atendida a la brevedad posible pues representa un riesgo vital. En cambio, las urgencias son también situaciones que amenazan la salud de una persona, pero a diferencia de las emergencias, no representan un problema de riesgo vital, pero su atención debe realizarse en las próximas horas ocurrida la urgencia. **[26]**

En el Perú, el marco normativo que engloba las emergencias y urgencias se encuentra contenido en la Resolución Ministerial 386-2006/MINSA, en la que se aprueba la N.T.S. 042-MINSA/DGSP-V.01 **[26]**, Norma Técnica de Salud de los servicios de Emergencia, cuya aplicación es en todos los establecimientos públicos y privados del sector salud que cuenten con servicios de emergencia.

En el mencionado documento se detallan todos los lineamientos necesarios que deben contar los establecimientos de salud para poder atender una emergencia o urgencia como lo son el personal calificado, los equipos necesarios, la necesidad de establecer una capacitación continua del personal que labora en el servicio de emergencias y también las emergencias o urgencias que pueden atender los establecimientos de salud dependiendo de sus categorías de establecimiento, las cuales son mencionadas en la NTS N° 021-

MINSA/DGSP-V.03 “Norma Técnica de Salud Categorías de Establecimientos de Salud” aprobada bajo RM N°546-2011/MINSA [28].

En el caso de Emergencias y Urgencias existe una clasificación por prioridades, mediante la cual pueden ser clasificadas y pueden ser atendidas según la gravedad de la situación.

1.2.1 Prioridades de Emergencias y/o Urgencias

En el Perú, las emergencias y urgencias se clasifican por prioridades de atención [26], las cuales se mencionarán a continuación:

1.2.1.1 *Prioridad I*

La prioridad I es una situación de Gravedad súbita extrema. Algunas de las patologías más frecuentes para esta prioridad son:

- Paro Cardio Respiratorio
- Shock (Hemorrágico, cardiogénico, distributivo, obstructivo)
- Hemorragia profusa
- Obstrucción de vía respiratoria alta
- Status convulsivo
- Sobredosis de drogas o alcohol más depresión respiratoria, entre otros.

1.2.1.2 *Prioridad II*

La prioridad II es una situación de Urgencia mayor. Algunas de las patologías más frecuentes para esta prioridad son:

- Diabetes mellitus descompensada
- Hemoptisis
- Convulsión reciente en paciente consciente
- Descompensación hepática
- Desprendimiento de retina, entre otros.

1.2.1.3 *Prioridad III*

La prioridad III es una situación de Urgencia menor. Algunas de las patologías más frecuentes para esta prioridad son:

- Intoxicación alimentaria
- Herida que no requiere sutura
- Urticaria
- Lumbalgia aguda
- Hipertensión arterial leve no controlada
- Crisis de ansiedad o disociativas, entre otros.

1.2.1.4 *Prioridad IV*

La prioridad IV es una situación de Patología aguda común. Algunas de las patologías más frecuentes para esta prioridad son:

- Faringitis aguda
- Absceso sin fiebre
- Fiebre sin síntomas asociados
- Resfrío común
- Dolor de oído leve
- Enfermedades crónicas no descompensadas, entre otros.

1.3 Atención Pre Hospitalaria

Según la European School Health Education (ESHE) [16], la atención pre hospitalaria se define como un servicio operacional y de coordinación para los casos de emergencias médicas; es decir, comprende los tipos de salvamento, atención médica y transporte que se presta a enfermos o accidentados fuera del hospital. Una atención de calidad de los accidentados en la primera hora es fundamental para prevenir y evitar las secuelas o disminuir la gravedad de las situaciones que se puedan suscitar.

En el Perú, en el año 2021, el congreso de la república planteaba el proyecto de ley N° 1734-2021-CR [37], que buscaba la creación de un Sistema Nacional

de Atención Pre Hospitalaria, cuya finalidad es asegurar que todo residente dentro del territorio nacional cuente con un acceso rápido, seguro y efectivo a los servicios de atención pre hospitalarias de urgencias y emergencias médicas en momentos de necesidad urgente.

En el margen de la pandemia y en consecuencia de lo antes mencionado, el Gobierno del Perú promulgó una Resolución Ministerial concerniente a la atención Pre Hospitalaria en el mes de mayo del año 2022, la Resolución Ministerial N°346-2022/MINSA “Aprueban la “Norma Técnica de Salud de la Atención Pre-Hospitalaria y Transporte Asistido de Pacientes con Diagnóstico o Sospecha de COVID-19” y modifican la “Norma Técnica de Salud para el Transporte Asistido de Pacientes por Vía Terrestre” y dejan sin efecto la R.M. N° 144-2020/MINSA (El Peruano, 2022) [4]

Para el MINSA, según la NTS N°186-MINSA-DIGTEL 2022, aprobada en la R.M. N°346-2022/MINSA se define la atención pre hospitalaria como: “Es el proceso de atención de emergencias y urgencias médicas, brindado por un Servicio Médico de Apoyo debidamente organizado y registrado para ello, que comprende todos los servicios de comunicación del evento que amenaza la salud, atención médica y transporte asistido de pacientes fuera de un establecimiento de salud, con la finalidad de evitar la muerte o cualquier discapacidad. La atención pre hospitalaria concluye cuando el paciente es entregado a un establecimiento de salud, o queda estable en su domicilio”. [31]

1.3.1 Transporte Asistido de Pacientes

Según la Norma Técnica de Salud N°186-MINSA-DIGTEL-2022, *El transporte asistido de pacientes es el traslado institucional de un paciente adulto, pediátrico o neonatal, que por su condición patológica requiere ser evaluado o tratado en otro establecimiento de salud de mayor complejidad; o ser trasladado a un servicio médico de apoyo para un determinado procedimiento. También comprende el traslado de un paciente a su domicilio, por decisión del establecimiento de salud en el que se ha estado atendiendo. Incluye el traslado en vehículos tipo ambulancias por vía terrestre, pero*

también incluye por vía aérea o acuática [30]. Además, se identifican los siguientes tipos:

- **Transporte asistido primario**, es el traslado de un paciente por medio de un Sistema Médico de Apoyo (SMA) desde el domicilio o la vía pública hacia un establecimiento de salud, el cual se realiza como parte del proceso de atención pre-hospitalaria.
- **Transporte asistido secundario**, es el traslado de un paciente de un establecimiento de salud a otro con una mayor complejidad, para proceder con su atención. Este tipo de traslado es realizado por el establecimiento de origen o por un SMA.
- **Transporte asistido terciario**, es el traslado de un paciente de un establecimiento de salud hacia un servicio médico de apoyo para un determinado procedimiento de apoyo al diagnóstico o tratamiento, retornando luego al paciente a su establecimiento de origen.
- **Transporte asistido cuaternario**, es el traslado de los pacientes en condición de alta médica desde un establecimiento de origen a su domicilio.

1.4 Sistema de Atención Móvil de Urgencia (SAMU)

1.4.1 Creación y finalidad del SAMU

De acuerdo con el Decreto Supremo No. 017-2011-SA (2011) Se creó el Programa Nacional denominado "Sistema de Atención Móvil de Urgencia-SAMU" [12] con la finalidad de implementar un conjunto de mecanismos y procedimientos articulados de atención de urgencias y emergencias médicas y promover en el conjunto de la población y de las entidades prestadoras de salud, la prevención de enfermedades y muertes evitables, mediante la atención pre-hospitalaria y la coordinación integral con las unidades de urgencias de los establecimientos de salud de los diferentes niveles de atención y complejidad en que se encuentra organizado el Sistema de Salud.

Este programa permite gestionar de forma integral la atención de urgencias y emergencias pre-hospitalarias, para su resolución oportuna, teniendo como prioridad las zonas urbanas con mayor exposición a eventos de riesgos y las zonas rurales con alta dispersión de oferta de establecimientos de salud en el marco del Sistema Nacional de Salud.

1.4.2 Funciones del SAMU

Según el Decreto Supremo No. 017-2011-SA (2011) y el Ministerio de Salud (2023) [27]:

- Formular programas, planes y estrategias para la implementación de los servicios de atención móvil de urgencias y emergencias a nivel nacional considerando el enfoque territorial, así como realizar acciones de seguimiento y monitoreo.
- Proponer y mantener actualizada la estructura de costos del servicio de atención móvil de urgencias y emergencias.
- Articular los servicios referentes a la atención pre-hospitalaria de emergencias y urgencias en el ámbito nacional.
- Articular la atención pre-hospitalaria con la de los servicios de emergencias de los establecimientos de salud.
- Implementar y gestionar la Central Nacional de Regulación Médica del SAMU.
- Velar por el pago de las prestaciones brindadas en el marco del SAMU a través de las coordinaciones entre las Instituciones Administradoras de Fondos de Aseguramiento en Salud (IAFAS) y las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPRESS), de conformidad con la Ley N° 29344, Ley Marco de Aseguramiento Universal en Salud y la Ley N° 29761, Ley del Financiamiento Público de los Regímenes Subsidiado y Semicontributivo del Aseguramiento Universal en Salud.
- Establecer y coordinar la red de información y comunicaciones, a fin de movilizar los recursos de EL SAMU de manera eficiente.

- Organizar la capacitación de los participantes en las acciones de EL SAMU.
- Promover mecanismos de participación de la ciudadanía en EL SAMU.
- Las demás funciones que le correspondan de acuerdo a las disposiciones legales vigentes y aquellas que le asigne el director general de la Dirección General de Telesalud, referencia y urgencias.

1.4.3 Servicios del SAMU

- Atención de llamadas de emergencia a través de la línea 106.
- Atención de emergencias en el lugar donde estas ocurran, por personal altamente calificado.
- Traslados terrestres de pacientes que se encuentren en situación de emergencia.
- Traslados aéreos de pacientes en situación de emergencia, mediante convenio SIS-FAP-Minsa.

El Sistema de Atención Móvil de Urgencia (SAMU) solamente en el primer trimestre del 2023 ha atendido un total de 66 mil llamadas, de las cuales el 50% de ellas fueron pertinentes y algunas de ellas requirieron asistencia en el área; es decir, el envío de unidades al emplazamiento [15]. Esto evidencia que el SAMU es un servicio que cuenta con bastante acogida en materia de solicitudes y debido a la limitación de sus activos, estos deben ser asignados y utilizados de la forma óptima.

1.4.4 Financiamiento del SAMU

Este es financiado por el Ministerio de Salud a través de recursos provenientes de donaciones, cooperación técnica internacional y otras fuentes de financiamiento. Sin embargo, las atenciones pre-hospitalarias de emergencia y urgencia a personas aseguradas serán financiadas por la Institución Administradora de Fondos de Aseguramiento en Salud (IAFA) que corresponda.

1.4.5 Cobertura del SAMU

El SAMU lidera la atención pre hospitalaria de 16 regiones: Amazonas, Ancash, Ayacucho, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Lima Provincias, Lima Metropolitana, Loreto, Piura, Ucayali, Tumbes, Callao, Madre de Dios y Tacna [29]. Los ciudadanos pueden llamar gratuitamente, desde cualquier operador, a la línea 106 desde donde un médico capacitado y entrenado en urgencias y emergencias realizará un rápido diagnóstico y coordinará el envío de una ambulancia con personal especializado.

En Lima Metropolitana y el Callao, el SAMU cuenta con 21 bases distribuidas [41], que son propias y algunas en conjunto con otras entidades, las cuales son:

1.5 Ambulancias

Según la Resolución Ministerial 953-2006/MINSA las ambulancias son vehículos equipados de forma apropiada para el transporte asistidos de los pacientes. Estas pueden ser rurales o urbanas dependiendo del sitio en el cual presten el servicio. Al igual que el sistema de salud, el sistema de ambulancias está compuesto por el sector público, el cual es prestado por el Ministerio de Salud, EsSalud y las sanidades de la policía nacional y las fuerzas armadas, y el sector privado, el cual es prestado por empresas privadas. [5] En lo que respecta al funcionamiento del mismo, el traslado de pacientes en el sector público es gratuito y en el sector privado tiene un costo, que varía dependiendo del proveedor que brinde dicho servicio o las condiciones del seguro de salud que lo incluya.

1.5.1 Clasificación de Ambulancias

Las ambulancias se pueden clasificar de acuerdo a su equipamiento y al tipo de atención que prestan en las siguientes: [5]

- **Ambulancia Tipo I:** Las cuales son utilizadas para el transporte de pacientes en condición estable, excepto en los lugares donde no exista otro medio de transporte de mayor complejidad disponible.

- **Ambulancia Tipo II:** Las cuales son utilizadas para el transporte de pacientes en estado crítico, estos vehículos cuentan con capacidad de asistencia médica.
- **Ambulancia Tipo III:** Las cuales son utilizadas para el transporte de pacientes en estado crítico inestable que requieran asistencia médica especializada durante el traslado.

Para cada una de estas, existe la Norma Técnica de Salud 051 sobre el transporte asistido de pacientes por vía terrestre [5], en la cual se detallan todos los requisitos, forma de identificación, sus características mínimas, personal mínimo, equipamiento requerido, entre otros para poder brindar una atención eficiente a quienes lo requieran.



Capítulo II: Estado del arte

En el presente capítulo se definirá el problema actual y se describirán algunos antecedentes relacionados con el presente estudio a nivel nacional e internacional. En este contexto participan el Sistema de Atención Móvil de Urgencias (SAMU) perteneciente al Ministerio de Salud del Perú, el seguro social (ESSALUD), las clínicas de carácter privado, el sistema de salud de las Fuerzas Armadas y los servicios que se encargan solamente del transporte de pacientes por vía terrestre.

2.1 Definición y Descripción del problema

El problema del ruteo de ambulancias es un estudio muy conocido y es vital para los servicios de emergencias el resolverlo. Estos servicios tienen una misión crítica debido a que están involucradas vidas humanas y deben reducir la mortalidad de los eventos como desastres, accidentes, entre otros.

El problema consiste en minimizar la cantidad de tiempo que las ambulancias demoran en llegar desde sus estaciones base u hospitales base hasta el emplazamiento de la emergencia o al lugar en el cual son requeridos sus servicios, luego de evaluar y estabilizar al paciente para luego proceder a trasladarlo al centro de salud más cercano para que pueda ser atendido a la brevedad posible. Esto también se encuentra alineado a diversos estándares internacionales de atención. En los Estados Unidos, la United States Emergency Medical Services (US EMS) define que en las áreas urbanas el 95% de las llamadas de emergencia deben ser atendidas en menos de 10 minutos, mientras que el UK National Health Service estipula que, en entornos urbanos, el 75% de las llamadas de emergencia deben ser atendidas en menos de 8 minutos y que el 95% de las llamadas de emergencia deben ser atendidas en menos de 19 minutos. [7]

Adicionalmente, los algoritmos de ruteo no son lo único que puede utilizarse para resolver este problema también pueden reubicarse alguno de los factores involucrados, pueden ser las estaciones u hospitales bases de las ambulancias

como los centros de salud a donde serán enviados los pacientes que ya han sido atendidos por las ambulancias, ya que pueden ubicarse más cerca de los puntos donde son requeridos, por ende, la distancia total recorrida sería menor. La combinación de estos 2 algoritmos supondría una solución más potente para resolver este problema.

Adicionalmente serán consideradas otras variables como la eliminación de la restricción actual de atención de hospitales y los sistemas de salud, entre otros.

2.2 Antecedentes Nacionales

En los siguientes acápite se pretende mostrar trabajos anteriores de índole nacional que comparten objetivos con la presente tesis. Se realizará un resumen de los mismos, resaltando la metodología y los resultados que se obtuvieron en las mismas.

2.2.1 Caso Lima, Perú (2021)

El presente caso es sobre una tesis de maestría de la Escuela de Posgrado de la PUCP titulada “Estudio de ubicación de las unidades básicas operativas del cuerpo general de bomberos voluntarios del Perú: Caso Lima y Callao” [32] elaborada por Morales. El autor plantea un estudio sobre las ubicaciones de las bases de los bomberos en las ciudades de Lima y Callao. El objetivo de la investigación es el siguiente:

- Reducir el tiempo de respuesta a emergencias del Cuerpo General de Bomberos.

Para lograr este objetivo se utilizaron dos (02) metodologías para luego ser comparadas y en base a esto elegir la más óptima, estas metodologías fueron optimización por límite de cobertura y optimización metas. Para cada modelo se plantearon dos (02) escenarios posibles, en el primer escenario no se considera las estaciones existentes, sino se determina cuál sería la ubicación ideal para las mismas, en el segundo escenario se consideran

cuáles serán las estaciones que deben reubicarse o adicionarse a las existentes en la región evaluada.

En ambos escenarios y en ambos casos se pudo obtener que las emergencias fuesen atendidas en menos de 9 minutos, con la consideración de que el modelo de optimización por metas permitía adicionalmente a todas las consideraciones del mismo, la posibilidad de agregar variables políticas, económicas y sociales para la resolución del problema.

2.2.2 Caso San Borja, Lima, Perú

El presente trabajo es un acta del congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas presentado por alumnos de la Universidad del Pacífico titulado: “Ambulancia McQueen: Optimización de rutas para ambulancias a partir de la distancia entre el accidente y el centro de salud” [40] elaborada por Ríos, Mariños, Nepo, Cárdenas y Ayma. Los autores plantean una solución al problema de ruteo de ambulancias en el distrito de San Borja en la ciudad de Lima. El objetivo de la investigación es el siguiente:

- Optimizar la ruta y el tiempo de envío de una ambulancia para la atención de la emergencia.

La metodología empleada en el presente estudio está basada en el algoritmo Dijkstra, que consiste en un método gráfico para poder calcular la menor distancia a recorrer entre dos puntos, en este caso, se ha realizado dicho algoritmo con una codificación en Python.

Con la aplicación de este algoritmo se logró simplificar la logística de envío de ambulancias hacia los accidentes que se suscitaban en el distrito y disminuir la distancia recorrida por las mismas hasta dichos emplazamientos.

2.3 Antecedentes Internacionales

En los siguientes acápite se pretende mostrar trabajos anteriores de índole internacional que comparten objetivos con la presente tesis. Se realizará un resumen de los mismos, resaltando la metodología y los resultados que se obtuvieron en las mismas.

2.3.1 Caso Antofagasta, Chile (2020)

La investigación titulada “*Multi-objective optimization of ambulance location in Antofagasta, Chile*” [36], elaborada por Olivos y Cáceres plantea la solución al problema de ubicación de ambulancias en la ciudad de Antofagasta en Chile, debido a que esta es la quinta área urbana más grande de todo el país. Los objetivos de dicha investigación son los siguientes:

- Minimizar la media del tiempo de respuesta
- Minimizar el tiempo máximo de respuesta
- Minimizar la demanda no atendida

Los objetivos mencionados están enfocados en mantener el estándar de tiempo de atención en los primeros ocho (08) minutos desde que el servicio es solicitado ya que, según referencias internacionales dicho valor es el estándar mundial en atenciones de emergencias. Además, existe una nueva regulación en el país que fue emitida cercana a la fecha de dicha investigación que exige que este estándar se cumpla en el 90% de los casos totales. Actualmente este estándar es cumplido en el 67% de los casos atendidos.

La metodología que se usó es una adaptación de la metodología “*The Maximal Covering Location Problem*” de Church y ReVelle (MCLP) (1976) que consiste en la generación de un modelo matemático que permita atender la mayor cantidad posible de clientes en base a los recursos disponibles buscando un objetivo que puede ser minimizar o maximizar. Este método ha

sido adaptado con “ ϵ -constraint method” que reformula varias metas en restricciones para poder lograr resolver el problema.

En esta investigación se consideró la cantidad de ambulancias disponibles en la ciudad en la fecha y sus estaciones bases actuales para considerar no solamente su radio de cobertura sino también el tiempo de respuesta ante una emergencia para cumplir con la nueva normativa vigente. Luego de realizar y ejecutar los modelos matemáticos se encontraron que las actuales estaciones bases en las que se encuentran los servicios de emergencia no son capaces de acudir a los lugares en menos de ocho (08) minutos en al menos el 90% de los casos. Luego de eso, se localizaron los puntos en los que se reubicarían las estaciones base para poder cumplir con los objetivos propuestos, esto es basado en que se asume que en cada estación base se cuenta con el mismo equipo de emergencia para atender la totalidad de casos que se han previsto.

2.3.2 Caso Ankara, Turquía (2019)

La investigación titulada “*A new idea for ambulance location problem in an environment under uncertainty in both path and average speed: Absolutely robust planning*” [2][1], elaborada por Akincilar y Akincilar plantea la solución al problema de ubicación de ambulancias en la región de Cankaya, que es una de las regiones más pobladas de Ankara, la ciudad capital de Turquía. El objetivo de dicha investigación es el siguiente:

- Minimizar el tiempo de llegada de una ambulancia desde su estación base hasta el escenario solicitado.

El objetivo mencionado está enfocado en minimizar la cantidad de tiempo que demoran las ambulancias en llegar de sus actuales estaciones bases a los lugares en donde ocurren accidentes o donde son solicitadas. Esto debido a que este tiempo es crítico para poder maximizar la cantidad de vidas salvadas ante una emergencia ya que, a menor tiempo de respuesta, mayor

probabilidad de salvar a los pacientes o menor probabilidad de daño permanente.

La metodología que se usó es *“The Robust Counterpart Approach”* de Ben-Tal, El Ghaoui y Nemirovski (2009) que consiste en la generación de un modelo matemático que permita encontrar soluciones óptimas incluso si los datos de entrada no son exactos, esto debido a que esta metodología en lugar de intentar hallar una solución óptima para un conjunto específico de datos de entrada, busca hallar una solución que sea la óptima para cualquier conjunto de datos que se encuentre dentro de un conjunto específico. Este conjunto es llamado Conjunto de incertidumbre y es definido como el conjunto de todos los posibles valores que pueden tomar los datos de entrada.

En esta investigación se consideró que cada estación base tenía suficiente cantidad de ambulancias disponibles, que los límites de velocidad pueden variar dependiendo de los distritos, que las distancias son simétricas en direcciones opuestas, que todos los caminos se encuentran disponibles, entre otras consideraciones que hicieron posible la resolución del modelo. Al final se lograron obtener resultados que señalaban que el modelo era capaz de calcular la ruta más rápida referente a tiempos en los escenarios en los cuales se corrió el modelo.

2.4 Redacción formal del problema

“Sobretiempos en el traslado hacia lugares de emergencias y de pacientes a centros de salud por parte de las ambulancias del SAMU Perú en el distrito de San Borja, perteneciente a la ciudad de Lima Metropolitana.”

Capítulo III: Marco teórico

En el presente acápite se presentan todos los conceptos teóricos que servirán para desarrollar la presente tesis con el objetivo de atender las situaciones de emergencia y disminuir la distancia total recorrida por parte de las ambulancias del SAMU. Este problema puede ser visto como un problema de localización y uno de enrutamiento de vehículo multi-depósito, especialmente un problema de enrutamiento de vehículos con entregas mixtas y recogidas. [35]

3.1 Investigación de operaciones

La investigación de operaciones es un enfoque sistemático para la resolución de problemas que utiliza herramientas matemáticas, estadísticas y de modelado. El proceso comienza con la definición del problema, seguida de la construcción de un modelo matemático que lo represente. El modelo se utiliza para generar soluciones posibles, que se evalúan y se implementan si son viables. La investigación de operaciones se puede aplicar a una amplia gama de problemas, incluidos los que involucran a múltiples componentes de una organización.

3.1.1 Aplicaciones

Según lo mencionado anteriormente, algunas de las aplicaciones de la investigación de operaciones pueden ser:

- Problemas de asignación de recursos materiales y servicios: productos, mano de obra, tareas
- Procesos de planificación de personal, etapas de producción
- Administración de flujos de materias primas a través de cadenas de suministros
- Planificación de rutas, redes de telecomunicación
- Refinamiento y mezcla de sustancias o componentes, por ejemplo, petróleo
- Selección de portafolios de acciones y bonos (Kong 2010: 11) [24]

3.1.2 Problema de optimización

Este problema consiste en hallar un o varios valores óptimos o idóneos, los cuales pueden ser máximos o mínimos, que asume una determinada función (“función objetivo”).

Esta función se encuentra regulada por los elementos de un conjunto pre determinado. Este conjunto en mención se llaman restricciones, las cuales pueden ser condiciones o algoritmos que condicionan la existencia del sistema estudiado o que son determinadas por el sistema en el cual existen, estas pueden ser restricciones de recursos, de negatividad, de existencia, de capacidad, entre otras.

Algunos ejemplos de estas restricciones pueden ser:

- Siempre debe haber como mínimo un personal atendiendo la caja.
- No pueden existir dos vehículos al mismo tiempo en un solo lugar de estacionamiento.
- Cada fila o columna debe tener los números de 1 al 9 sin repetir.
- Un vehículo de emergencia solo puede atender una emergencia a la vez.
- Solo existen disponibles 19 taxis en la flota para poder atender a todos los clientes de la empresa.

3.1.3 Etapas de análisis

Según Hillier y Lieberman (2010) [19], existen seis (06) etapas resaltantes en un análisis de Investigación de operaciones, las cuales se describen a continuación:

- a) *Definición de problemas de interés y recolección de datos relevantes*

La investigación de operaciones comienza con la identificación del problema a resolver. Para ello, es necesario determinar los objetivos del problema, las restricciones que lo limitan, las interrelaciones con otras áreas de la organización, los cursos de acción posibles y los plazos para tomar una decisión.

b) Formulación de un modelo matemático que represente el problema

Una vez definido el problema, la siguiente etapa es su representación matemática. Esta representación se realiza mediante la construcción de un modelo matemático que capture la esencia del problema. El modelo matemático consta de dos partes principales: la función objetivo y las restricciones.

c) Desarrollo de un procedimiento basado en computadora para derivar una solución para el problema a partir del modelo

Una vez que se cuenta con el modelo matemático del problema en estudio, lo que sigue es el desarrollo de un procedimiento para resolverlo y obtener un resultado o resultados por medio de herramientas informáticas.

d) Prueba del modelo y mejoramiento de acuerdo a las necesidades

Esta etapa tiene como objetivo asegurar que el modelo sea correcto y que genere resultados fiables.

e) Preparación para la aplicación del modelo prescrito por la administración

En el caso de un modelo de investigación de operaciones que se utiliza de forma recurrente, las organizaciones suelen implementar un sistema informático que integra programas y bases de datos para facilitar su ejecución y análisis. Este sistema brinda un soporte valioso para la toma de decisiones de la administración al permitirle incorporar nuevos datos y utilizar el modelo desarrollado previamente.

f) *Implementación*

La etapa de puesta en marcha del modelo de investigación de operaciones se centra en su entrega a la organización y en su integración en los procesos operativos. Para ello, es necesario capacitar a los usuarios del modelo, tanto en los niveles administrativos como operativos.

3.1.4 Programación lineal

La programación lineal es una interpretación de un problema en base a estructuras de variables lineales. Esto implica que todas las funciones que actúan, como restricciones y la función objetivo, deben ser funciones lineales.

El término “programación” implica la planeación de una serie de pasos o actividades para la obtención de un valor óptimo. Es decir, que con dicho valor se alcance la meta descrita por la función objetivo cumpliendo todos los escenarios delimitados por las restricciones.

Según Hillier y Lieberman (2010) [19] la programación lineal cuenta con supuestos de tal manera que los datos puedan ser representados como funciones lineales, estos supuestos son:

- *Proporcionalidad*: Es decir, todas las expresiones poseen exponentes de grado 1, tanto las restricciones como la función objetivo.

- *Aditividad:* Cada una de las funciones presentes en el modelo de programación lineal es la suma de las actividades individuales descritas.
- *Divisibilidad:* Las variables pueden tomar cualquier valor con tal de satisfacer las restricciones ya que, no están limitadas a valores enteros y pueden asumir valores fraccionales.
- *Certidumbre:* Los parámetros asignados a los parámetros son valores que se conocen a priori, aunque en la realidad esto casi nunca es cierto, sí se debe determinar los valores sensibles, los que pueden hacer que cambie el modelo lineal.

3.1.5 Grafo

“El grafo es básicamente un objeto geométrico, aunque en realidad sea un objeto combinatorio; es decir, un conjunto de puntos y un conjunto de líneas tomado de entre cada par de vértices.” (Universidad de Granada, sin fecha) [17].

En adición, si las aristas presentan una dirección asociada, se consideran grados dirigidos, en otro caso es simplemente un grafo no dirigido. Usualmente se representan a los vértices con círculos y a las aristas con líneas como se muestra a continuación:

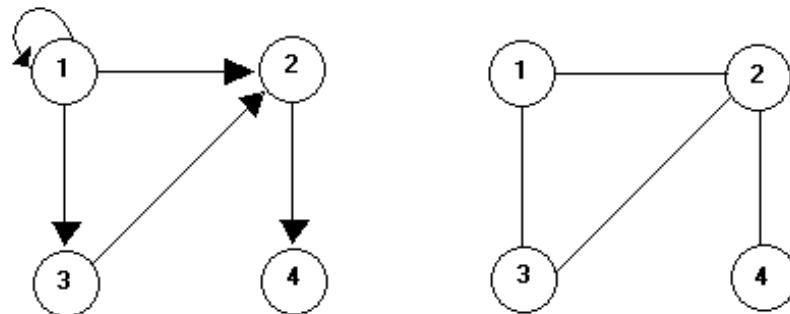


Figura 1 Grafo simple dirigido y no dirigido

Fuente: Universidad de Granada (sin fecha)

Los grafos con los que se contará en el presente modelo son grafos dirigidos, debido a que se realizará un grafo del distrito de San Borja y que las calles serán modeladas como líneas con dirección debido a la misma que poseen en la vida real.

3.1.6 Distancia de Manhattan o Distancia Taxicab

La distancia euclidiana es la distancia más corta entre dos puntos que suele ser una línea recta entre ambos puntos, en la realidad esto no suele pasar muy a menudo, en especial si las distancias a medir se basan en calles de una ciudad o caminos que no permiten una recorrer esta línea recta entre ambos puntos. La Distancia Taxicab o Distancia Manhattan entre dos puntos es medida como la suma de las distancias horizontales y verticales entre estos dos puntos. Matemáticamente la distancia euclidiana y la de Manhattan son definidas algebraicamente de la siguiente manera: (Kemp 2021) [23]

$$d_E(P, Q) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$d_M(P, Q) = |x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|$$

En este caso, todas las distancias que se calcularán para la resolución del problema planteado serán distancias de Manhattan o distancias Taxicab.

3.1.7 Problemas de transporte

Para Kong, el problema de transporte se puede definir de la siguiente manera:

Desde m fuentes o puntos de oferta se desea enviar un conjunto de unidades de un producto a n destinos o puntos de demanda. Cada fuente i puede suministrar s_i unidades y cada punto j de destino debe recibir d_j unidades.

El costo de envío de una unidad desde i hacia j es dado por una cantidad c_{ij} , de manera que si entre estos puntos se envían x_{ij} unidades el costo respectivo es el producto c_{ij} por x_{ij} .

Se desea determinar un plan de envío que minimice el costo total, es decir, hallar las cantidades x_{ij} que tienen que enviarse de las fuentes a los destinos de manera que el costo total de envío, la suma de los costos individuales $c_{ij} x_{ij}$, sea el menor posible. (Kong 2010: 153) [24]

Este tipo de problema es una herramienta poderosa que puede ser utilizada para modelar distintos casos en distintas empresas o sectores tales como la logística industrial de la cadena de suministros, recojo y disposición de residuos, transporte público, entre otros.

Uno de los casos del problema de transporte son los problemas de optimización de ruteo de ambulancias, esto debido a que posee dos conjuntos, uno de orígenes y otro de destinos, en este caso los orígenes serían las estaciones bases de las ambulancias y los destinos serían los sitios en los cuales se las necesitan. Además, existe una segunda parte en este problema, el cual es encontrar la ruta más óptima desde el lugar donde las necesitan a los centros de salud más cercanos.

También se encuentran sujetos a restricciones de capacidad, el de las ambulancias, y cuenta con costos de transportes, que pueden ser de tiempos y de combustibles.

Algunas diferencias con el problema de transporte clásico son que los costos de transporte si bien es cierto son conocidos, pueden variar dependiendo del día o la hora, algunos costos no considerados como los costos de oportunidad

3.1.8 Problemas de redes

Los problemas de redes son problemas de optimización que se encuentran en una red. La red es un conjunto de arcos, en cuyas intersecciones se encuentran nodos. Este tipo de problemas se utilizan para modelar una amplia gama de situaciones como planificación de proyectos, distribución, transporte, asignación de recursos, entre otros.

Según Ahuja, Magnanti y Orlin se pueden definir los problemas de redes de la siguiente forma:

Los problemas de redes se pueden definir como problemas de optimización que satisfacen las siguientes condiciones:

- Los datos del problema se representan como una red.
- El objetivo del problema es optimizar una función objetivo, como minimizar el costo o maximizar el beneficio.
- Las restricciones del problema se expresan en términos de las variables de la red. (Ahuja, Magnanti y Orlin, 2013) [1]

Algunos ejemplos de problemas de redes pueden ser:

- Problemas de flujo máximo
- Problemas de ruta más corta
- Problemas de transporte
- Problemas de asignación
- Problemas de flujo mínimo, entre otros.

3.1.9 Algoritmos de Localización

Según Daskin M. los algoritmos de localización pueden ser los siguientes: (Daskin M., 2010) [14]

- **Modelos de localización analítica**, son los más sencillos de los modelos de localización, tienen en consideración factores como distancias, demandas, costos, entre otros. Algunos de estos modelos pueden ser: Centro de gravedad, cobertura de mercado y asignación de ubicación.

- **Modelos de localización continua**, en estos modelos se asume que las instalaciones pueden ser ubicadas en cualquier punto de un plano continuo; es decir, no se tiene una lista discreta de ubicaciones potenciales, lo que simplifica potencialmente el problema. Algunos de estos modelos pueden ser: Weber, medias y el Minimax.
- **Modelos de localización de redes**, en estos modelos se asumen que hay redes, sobre las cuales se debe realizar la optimización de los mismos. Uno de estos modelos es el localización-ubicación.
- **Modelos de localización discretos**, las demandas y las ubicaciones a elegir son discretos, esto implica que el área se va a dividir en varias sub secciones y que cada una tendrá una demanda asociada. Algunos de estos modelos pueden ser: Set Covering, Maximal Covering, P-Median, entre otros.

De los modelos anteriormente mostrados, el que se acomoda más a la operatividad actual son los modelos de localización discretos, motivo por el que se procederá a brindar un poco más de detalle en estos.

Los modelos discretos pueden ser divididos en tres grupos según Daskin [14], los modelos de cobertura, los cuales pueden ser Set Covering, Maximal Covering y el P-Center, los modelos de distancia promedio, los cuales pueden ser P-median y Fixed Charge y otros que pueden ser los modelos de P-dispersión. De los ya mencionados, según esta literatura los modelos de cobertura son lo más utilizados para analizar los servicios de emergencia, motivo por el cual se explicará más sobre estos modelos.

- **Set Covering:** Este modelo consiste en asegurarse de que todos los puntos de un conjunto de demandas sean atendidos por al menos una instalación.
- **Maximal Covering:** Este modelo consiste en colocar estratégicamente las instalaciones de modo que puedan cubrir el máximo número de personas en un cierto rango predeterminado.

- **P-Center:** Este modelo consiste en colocar estratégicamente las instalaciones de modo que se pueda llegar en la menor distancia a cualquier punto que se necesite sin importar el lugar.

De todos los problemas anteriormente mencionados se utilizará el modelo de Maximal Covering o de cobertura máxima ya que lo que se busca con el servicio que brinda el SAMU es que se maximice la cobertura que este ofrece a la población en general. Este método será descrito con mayor detalle en el siguiente acápite ya que es el que se utilizará en el presente trabajo de investigación.

3.1.10 Maximal Covering (Cobertura Máxima)

El Problema de Localización de Máxima Cobertura (PLMC) fue planteado por primera vez por Church y ReVelle en 1974 [8]. Este problema consiste en considerar un conjunto de puntos de demanda y un conjunto de instalaciones a ubicar. Cada punto de demanda tiene un valor asociado, el cual representa la importancia de dicho punto, cualquier instalación puede ubicarse en cualquier punto de demanda.

El objetivo del PLMC es encontrar las ubicaciones ideales en las cuales se puedan localizar las instalaciones disponibles de tal manera que se maximice la demanda cubierta con una distancia o tiempo que son previamente definidos.

$$\max Z = \sum_{i \in I} h_i Z_i$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in J} a_{ij} X_j \geq Z_i \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{j \in J} X_j = p$$

$$X_j \in 0,1 \quad \forall j \in J$$

$$Z_i \in 0,1 \quad \forall i \in I$$

Donde:

Z_i es la variable que indica si un punto de demanda es cubierto o no

h_i es un parámetro que indica la demanda del punto i

Un punto del conjunto de demandas se considera cubierto si es que existe una instalación que pueda brindarle el servicio o la atención requerida dentro de la distancia o el tiempo previamente definidos. Adicionalmente, dado que en este problema se considera la importancia de los puntos del conjunto de demanda, se asegura que todos los puntos de mayor importancia se encuentren cubiertos mientras que todos aquellos que se encuentran por sobre la distancia o tiempo predefinidos no serán atendidos. [18]

Para poder modelar el algoritmo se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones, las cuales fueron empleadas también como restricciones en el modelo en Python:

- Se conoce la cantidad de puntos disponibles y la cantidad de instalaciones a reubicar en el momento cero.
- Se conoce la ubicación de cada uno de estos puntos disponibles a priori
- Se conoce la demanda de cada uno de estos puntos disponibles a priori
- Se conoce la distancia que existe entre todos los puntos disponibles
- Se conoce la capacidad de atención de cada punto como una matriz

A continuación, se muestra el conjunto de puntos disponibles a utilizar en el presente trabajo de investigación.

Nombre del Sector	Latitud	Longitud
Sector 1A	-12.08595788	-77.00698466
Sector 1B	-12.08581725	-77.00210919
Sector 1C	-12.08499604	-76.99896723
Sector 2A	-12.08413298	-76.99499804
Sector 2B	-12.08271052	-76.98940555

Sector 2C	-12.08480172	-76.98894832
Sector 3A	-12.09160727	-77.00620829
Sector 3B	-12.08910138	-76.99987772
Sector 3C	-12.09203233	-76.99943271
Sector 4A	-12.09013105	-76.9933882
Sector 4B	-12.08788457	-76.98751853
Sector 4C	-12.09231641	-76.98971053
Sector 5A	-12.09031149	-76.98262859
Sector 5B	-12.09371776	-76.98453981
Sector 5C	-12.09673339	-76.98336732
Sector 6A	-12.09857132	-77.01117504
Sector 6B	-12.09728324	-77.0076494
Sector 6C	-12.09753728	-77.00414369
Sector 7A	-12.09395261	-76.99759409
Sector 7B	-12.0988237	-76.99876147
Sector 7C	-12.09816444	-76.9920279
Sector 8A	-12.10228152	-77.00913701
Sector 8B	-12.10322386	-77.00357943
Sector 8C	-12.1064841	-77.00893139
Sector 9A	-12.10340498	-76.99968839
Sector 9B	-12.10342897	-76.99612771
Sector 9C	-12.1045258	-76.99258805
Sector 10A	-12.1106639	-77.00833845
Sector 10B	-12.10748943	-77.00461689
Sector 10C	-12.10978474	-77.00361274
Sector 11A	-12.10930184	-76.99844409
Sector 11B	-12.10832399	-76.99572411
Sector 11C	-12.10929986	-76.99352439
Sector 12A	-12.10323213	-76.98933228
Sector 12B	-12.10890226	-76.98861199
Sector 12C	-12.10619104	-76.98157689

Tabla 1 Puntos posibles de relocalización con su latitud y longitud

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el código Python que se utilizó para la elaboración del algoritmo de cobertura máxima.

```

from pulp import *

def opti_multi_loca(n, p, demanda, cobertura):
    #n numero de nodos de demanda
    #(lugares) numero de sitios a elegir (que creo que pueden ser los mismo que
los de demanda)
    #p numero de cámaras a instalar

    solutions = []
    index = []

    best_solution = -float('inf') # Inicializar con un valor infinito
    best_index = None
    best_X_values = {}
    #h=demanda
    #a=cobertura
    modelito = LpProblem("Location_Optimization", LpMaximize)

    # Create the decision variables
    x = LpVariable.dicts("X", [j for j in range(0, n)], cat=LpBinary) #variable
binaria z con respecto a los sitios elegidos
    z = LpVariable.dicts("Z", [i for i in range(0, n)], cat=LpBinary) #variable binaria
x con respecto a los nodos de demanda

    # Set the objective function

```

```

modelito += lpSum(demanda[i] * z[i] for i in range(0, n))

# Add the constraints
modelito += lpSum(x[j] for j in range(0, n)) == p
for i in range(n):
    modelito += lpSum(cobertura[i, j] * x[j] for j in range(0,n)) >= z[i]

# Solve the model
modelito.solve()

if LpStatus[modelito.status] == "Optimal":
    solution_value = modelito.objective.value()
    solutions.append(solution_value)
else:
    print("No hay solucion factible")

for i in range(36):
    print("{}Valor de xi{}".format(i, x[i].varValue))
    print("{}Valor de zi{}".format(i, z[i].varValue))
print(solutions)

```

Figura 2 Código Python para algoritmo de relocalización de Cobertura Máxima

Fuente: Service Science

3.1.11 Algoritmos de Ruteo de Vehículos

Según Daskin M. los algoritmos de ruteo de vehículos pueden ser los siguientes: (Daskin M., 2010) [14]

- **Algoritmo de Barrido (Sweep Algorithm)**, el algoritmo de barrido consiste en poder minimizar la ruta que se recorrerá en cierto orden para asegurarse de que se visite todos los puntos del sistema como máximo una vez.

- **Algoritmo de ahorro (Savings Algorithm)**, el algoritmo de ahorro consiste en la mejor manera de usar los recursos limitados para atender el máximo de requisitos, aprovechando al máximo cada recurso.
- **Algoritmo de ahorros aleatorios (Randomized Savings Algorithm)**, el algoritmo de ahorros aleatorios es muy parecido al algoritmo de ahorro, solo que en este caso se introduce algo de aleatoriedad o incertidumbre y situaciones inesperadas.
- **Otros algoritmos**, algunos otros algoritmos que son mencionados en esta bibliografía son los siguientes: tabu search algorithms, genetic algorithms, simulated annealing, ant algorithms y variable neighborhood search.

Adicionalmente a todos estos algoritmos mencionados anteriormente también se encuentra el algoritmo de Dijkstra, que es un algoritmo de ruteo basado en distancias dentro de una red representada por un grafo.

De todos los algoritmos previamente mencionados se utilizará el algoritmo de Dijkstra por la semejanza a la operativa actual, por la relativa simplicidad que representa su implementación y por los datos disponibles con los cuales se puede realizar este modelamiento. Motivo por el cual se describirá con mayor detalle este algoritmo en el siguiente acápite.

3.1.12 Algoritmo Dijkstra

El algoritmo Dijkstra fue diseñado por el científico computacional y físico Edsger Dijkstra (1930-2002). “El algoritmo de Dijkstra es un algoritmo eficiente (de complejidad $O(n^2)$ donde n es el número de vértices) se sirve para encontrar el camino de coste mínimo desde un nodo origen a todos los demás nodos del grafo” (Torubia, sin fecha) [47]

Esto significa que el algoritmo va calculando la ruta más corta en función de los costos mínimos que tiene a medida que se acerca desde el origen hasta el punto de destino. Esto asegura que el camino que se elija con el

algoritmo sea el mínimo posible en lo que respecta al peso en los grafos dirigidos.

El algoritmo puede ser utilizado para:

- Encaminamiento de paquetes por los routers
- Aplicaciones para sistemas de información geográficos: extracción de características curvilíneas de imágenes usando técnicas de minimización del camino.
- Caminos mínimos en grafos usando XML y parsers de Java.
- Reconocimiento de lenguaje hablado
- Otras aplicaciones como enrutamiento de aviones y tráfico aéreo, tratamiento de imágenes médicas, entre otros. (Torrubia, sin fecha) [47]

El algoritmo Dijkstra es el que se utilizará para poder encontrar las distancias más cercanas entre los lugares en dónde salen las ambulancias, los lugares en los que son necesitados y los centros de salud más cercanos que se encuentren en capacidad de atenderlos.

El razonamiento matemático y sus respectivas variables empleadas para el planteamiento del algoritmo se mostrarán a continuación. Para esto se utilizará la programación lineal con las siguientes ecuaciones:

$$O_p = \min(\text{DistanciaTotal})$$

$$\text{Distancia Total} = \text{DistanciaSAMU} + \text{DistanciaIPRESS}$$

$$\text{DistanciaSamu} = \min(d_{iA}), \forall i \in \text{Bases} \wedge \forall A \in \text{Accidente}$$

$$\text{DistanciaIPRESS} = \min(d_{Ai}), \forall i \in \text{IPRESS} \wedge \forall A \in \text{Accidente}$$

$$\text{Bases} = [B_1, B_2, B_3, B_4, \dots]$$

$$B_i = [(long_1; lat_1), (long_2; lat_2), (long_3; lat_3), (long_4; lat_4), \dots]$$

$$\text{IPRESS} = [I_1, I_2, I_3, I_4, \dots]$$

$$I_i = [(long_1; lat_1), (long_2; lat_2), (long_3; lat_3), (long_4; lat_4), \dots]$$

$$\text{Accidente} = [A_1, A_2, A_3, A_4, \dots]$$

$$A_i = [(long_1; lat_1), (long_2; lat_2), (long_3; lat_3), (long_4; lat_4), \dots]$$

DistanciaTotal: Es la suma de la DistanciaSAMU y la DistanciaIPRESS.

DistanciaSAMU: Distancia desde la base del SAMU más cercana hasta el lugar de la emergencia.

DistanciaIPRESS: Distancia desde el lugar de la emergencia hasta la IPRESS más cercana.

d_{iA} : Distancia desde el punto i hasta el punto A

d_{Ai} : Distancia desde el punto A hasta el punto i

I_i : Coordenadas de longitud y latitud de la IPRESS i

B_i : Coordenadas de longitud y latitud de la Base i

A_i : Coordenadas de longitud y latitud del Accidente i

Bases: Conjunto de las Base i

IPRESS: Conjunto de las IPRESS i

Accidente: Conjunto de los Accidente i

Todas las distancias que se mostrarán en el presente trabajo de investigación serán calculadas mediante el método de distancias de Manhattan en el mapa del distrito de San Borja debido a que se debe respetar la distribución del distrito y un cálculo de distancia pitagórica no reflejaría un dato realista.

Para poder modelar el algoritmo se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones, las cuales fueron empleadas también como restricciones en el modelo en Python:

- Es conocida la cantidad de bases del SAMU disponibles en el momento cero y su localización con coordenadas de longitud y latitud, esto debido a que en base a estos parámetros el algoritmo deberá calcular la solución más óptima.

- Es conocida la cantidad de hospitales disponibles en el momento cero y su localización con coordenadas de longitud y latitud, esto debido a que en base a estos parámetros el algoritmo deberá calcular la solución más óptima.
- Cada ambulancia es capaz de atender las mismas emergencias, esto debido a que las ambulancias que se encuentran en cada una de las bases del SAMU consideradas son del mismo tipo, ambulancias tipo II.
- Un paciente solo puede ser atendido por una ambulancia a la vez, esto es debido a que se considerará que una sola unidad es necesaria en cada caso, en la realidad esto puede depender de la naturaleza de la emergencia y de la cantidad de personas involucradas, por ejemplo: accidentes automovilísticos, incendios, desastres naturales, entre otros.
- Una ambulancia puede atender a muchos pacientes, pero no al mismo tiempo ya que los activos serán reutilizados en cada emergencia que se suscite.
- Cada hospital puede atender a cualquier paciente en cualquier momento. Las restricciones de capacidad existentes que dependen de cada IPRESS no serán consideradas en el presente modelo.
- No existe una solicitud de cancelación del servicio; es decir, cada vez que se solicita el servicio, este se finaliza cuando el paciente llegue a la IPRESS designada por el algoritmo.
- Cada paciente puede ser atendido por un hospital a la vez, no se toman en cuenta las referencias en este contexto entre los hospitales.
- Las ambulancias siguen las rutas indicadas por el algoritmo debido que al ser vehículos de emergencia tienen por Ley permitido el paso y su circulación es prioridad.
- Cada iteración del algoritmo considera que las ambulancias salen de sus bases, no se ha modelado el algoritmo para que pueda comenzar desde el último punto de localización de la ambulancia.
- Los puntos de emergencia serán extrapolados a una esquina cercana para el funcionamiento del algoritmo.

En base a lo anteriormente mencionado, el algoritmo funciona de la siguiente manera:

- El modelo importa las librerías de Python necesarias para poder llevar a cabo su funcionamiento.
- Luego importa un espacio geográfico sobre el que se trabajará, en este caso, se importará el distrito de San Borja y unas calles colindantes debido a restricciones del software de OpenStreetMap.
- Seguido se cargan las bases de las ambulancias con sus coordenadas geográficas de longitud y latitud. A estas bases se les agrega una denominación específica dentro del programa.
- Luego se cargan las IPRESS con sus coordenadas geográficas de longitud y latitud. A estas IPRESS se les agrega una denominación específica dentro del programa.
- Se crean las funciones que se utilizarán para la resolución de la problemática, *lower distance 1*, que es la que calcula la menor distancia de la base de la ambulancia al sitio de la emergencia y *lower distance 2*, que es la que calcula la menor distancia del sitio de la emergencia a la IPRESS más cercana.
- Se crea el mapa que mostrará el camino que se seguirá, desde qué base debe salir la ambulancia, hasta el sitio de la emergencia y a qué hospital debe acudir con el paciente.
- Luego se define el punto de la emergencia; es decir, desde donde se solicita el servicio con sus coordenadas geográficas de longitud y latitud.
- El algoritmo calcula cuál es el nodo (esquina) más cercano al lugar de la emergencia para efectos del cálculo interno.
- Una vez determinado cuál es el nodo más cercano determina la base más cercana, el camino hacia la emergencia, la IPRESS más cercana y el camino más corto hasta allá.
- Por último, genera un reporte de lo calculado, mostrando lo siguiente:
 - o El denominador del accidente.

- La distancia de la Base del SAMU desde la cual salió la ambulancia hasta la emergencia.
- La distancia desde el sitio del accidente hasta la IPRESS más cercana.
- La distancia total recorrida, la cual es la suma de las dos distancias antes mostradas.
- La Base del SAMU elegida
- La IPRESS elegida
- La imagen del mapa que muestra la ruta obtenida

A continuación, se muestra el código Python que se utilizará en el algoritmo Dijkstra.

```
def get_lower_base_and_distance(accident_node):

    lower_distance = 9999999.99
    pos = -1
    routes = []
    distances = []
    # base1 --> accidente

    for b in bases:
        print("get_lower_base_and_distance  accident_node:",  accident_node,
"base:", b)
        route = nx.shortest_path(graph, b['nearest_node'], accident_node , weight =
'length', method='dijkstra')
        total_distance = sum(graph[route[i]][route[i + 1]][0]['length'] for i in
range(len(route) - 1))
        routes.append(route)
        distances.append(total_distance)

    for i in range(len(distances)):
```

```

    if distances[i] < lower_distance:
        lower_distance = distances[i]
        pos = i

    if pos == -1:
        return None, None, None
    else:
        return bases[pos], routes[pos], distances[pos]

def get_lower_hospital_and_distance(accident_node):
    lower_distance = 999999.99
    pos = -1
    routes = []
    distances = []
    #accidente --> Hospital
    for h in hospitals:
        route = nx.shortest_path(graph, accident_node, h['nearest_node'] , weight =
'length', method='dijkstra')
        total_distance = sum(graph[route[i]][route[i + 1]][0]['length'] for i in
range(len(route) - 1))
        routes.append(route)
        distances.append(total_distance)

    for i in range(len(distances)):
        if distances[i] < lower_distance:
            lower_distance = distances[i]
            pos = i

    if pos == -1:
        return None, None, None
    else:
        return hospitals[pos], routes[pos], distances[pos]

```

```

for a in accidents:
    #Obtenemos el nodo más cercano al accidente
    #a['nearest_node'] = ox.distance.nearest_nodes(graph, a['long'], a['lat'],
return_dist=False)

    #Obtenemos la base más cercana al accidente
    base, b_route, b_distance = get_lower_base_and_distance(a['nearest_node'])
    a['nearest_base'] = base
    a['route_base_accident'] = b_route
    a['distance_base_accident'] = b_distance

    #Obtenemos el hospital más cercano al accidente
    hosp, h_route, h_distance =
get_lower_hospital_and_distance(a['nearest_node'])
    a['nearest_hosp'] = hosp
    a['route_accident_hosp'] = h_route
    a['distance_accident_hosp'] = h_distance

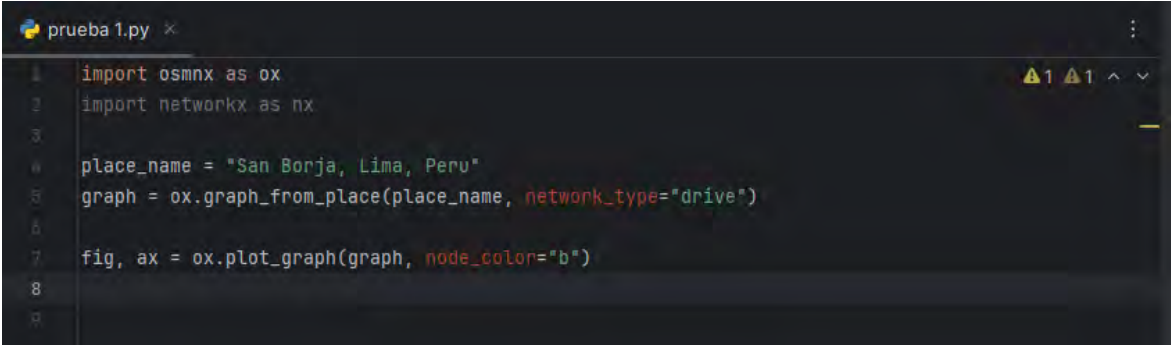
print(accidents)

```

Figura 3 Código Python utilizado en el algoritmo Dijkstra
Fuente: Elaboración propia

3.2 Python

Para el presente caso de aplicación se utilizará el lenguaje de programación Python para codificar los algoritmos que se mencionaron con anterioridad, a través de los diferentes programas como PyCharm Community Edition se modelarán las situaciones actuales y propuestas para poder encontrar una solución al problema actual descrito.



```

prueba 1.py x
1 import osmnx as ox
2 import networkx as nx
3
4 place_name = "San Borja, Lima, Peru"
5 graph = ox.graph_from_place(place_name, network_type="drive")
6
7 fig, ax = ox.plot_graph(graph, node_color="b")
8
9

```

Figura 4 Ejemplo de codificación con Python en PyCharm Community Edition

Fuente: Elaboración Propia

Según Kte'pi "Python es un popular lenguaje de programación dinámico de propósito general que permite múltiples paradigmas." (Kte'pi:2023) [25]

En base a lo mencionado se puede observar que Python es un lenguaje de programación que puede ser adaptado para muchas funciones y que puede ser útil para una infinidad de proyectos, productos o servicios al ser muy dinámico.

Además, la universidad europea señala que "Python es un lenguaje de programación de código abierto y gratuito que se emplea para desarrollar aplicaciones de todo tipo. Se ejecuta directamente desde un ordenador, utilizando un programa intérprete que sirve de "traductor". (Universidad Europea: 2023) [48]

Algunos de los usos de este lenguaje de programación pueden ser:

- **Big data analytics**

El uso de Python está muy extendido en dos áreas: análisis de datos y big data. Su sencillez, junto al gran volumen de bibliotecas de datos a través de las cuales este lenguaje procesa información, hacen que Python sea la herramienta ideal para analizar y gestionar multitud de datos en tiempo real.

- **Data mining**

La minería de datos o data mining es un proceso que permite analizar grandes bases de datos para predecir futuras tendencias. Python simplifica

este complejo proceso gracias a su capacidad para limpiar y organizar mucha información, y utilizar algoritmos de aprendizaje automático.

H3: Inteligencia artificial

Su facilidad de escritura y su capacidad para plasmar ideas complejas en pocas líneas han hecho de Python el perfecto aliado de la IA.

- **Blockchain**

La base de datos distribuida blockchain, que conocemos principalmente por sustentar las criptomonedas, encuentra en la versatilidad, seguridad y rapidez de Python la mejor herramienta para formar cadenas de bloques.

- **Machine learning**

Gracias al aprendizaje automático, la robótica y la IA son capaces de aprender por sí mismas a medida que procesan datos. El lenguaje Python permite un tratamiento eficaz de estos.

- **Desarrollo web**

En el campo del desarrollo web, Python permite ejecutar webs complejas más seguras y dinámicas utilizando menos líneas de código y logrando que sean más ligeras y optimizadas.

- **Juegos y gráficos 3D**

El lenguaje Python resulta también esencial a la hora de trabajar gráficos 3D, ya que cuenta con diversos marcos de trabajo y herramientas. (Universidad Europea:2023) **[48]**

Según la universidad europea, entre las principales ventajas que ofrece este lenguaje, se encuentran que:

- Es un lenguaje fácil y sencillo de aprender que puede ayudar a comprender otros más complejos.
- Cuenta con una licencia de código abierto, hecho que facilita su uso en diversos proyectos.
- Permite diversos desarrollos de forma rápida, ágil y fácil.

- Puede emplearse en diversos sistemas operativos debido a su característica multiplataforma. (Universidad Europea: 2023) [48]

3.2.1 Librerías en Python

Adicionalmente, en python existe la opción de importar librerías de códigos ya creados con anterioridad que pueden ser útiles para poder resolver diversos problemas, según la documentación del sitio web de Python se puede definir una librería como:

Un conjunto de módulos que proporcionan funcionalidades específicas para el lenguaje.

En otras palabras, una librería es una colección de código que puede ser reutilizado en diferentes programas. Las librerías de Python se dividen en dos categorías principales:

Librerías estándar: Estas librerías vienen incluidas con la instalación de Python. Algunas de las librerías estándar más populares son:

- **math:** Proporciona funciones matemáticas básicas, como el cálculo de raíces cuadradas y logaritmos.
- **random:** Proporciona funciones para generar números aleatorios.
- **os:** Proporciona funciones para interactuar con el sistema operativo.

Librerías externas: Estas librerías son desarrolladas por terceros y no vienen incluidas con la instalación de Python. Algunas de las librerías externas más populares son:

- **numpy:** Proporciona funciones para trabajar con datos numéricos.
- **pandas:** Proporciona funciones para trabajar con datos tabulares.
- **matplotlib:** Proporciona funciones para crear gráficos y diagramas.

Las librerías de Python son una parte esencial del lenguaje, ya que permiten a los desarrolladores centrarse en la resolución de problemas específicos sin tener que reinventar la rueda. (The Python Standard Library: Sin fecha) [45]

En este caso en específico se emplearán diversas librerías para poder brindar una solución a este problema, una de ellas es la librería OSMnx (Boeing, G.

2017) [6] que fue desarrollada en el año 2017 y se encuentra basada en la plataforma OpenStreetMap descrita en el siguiente acápite. Con la instalación y utilización de esta librería se podrá crear un grafo del distrito de San Borja para ser utilizado en el modelo que se planteará más adelante. A continuación, se muestra el mapa del distrito de San Borja luego de ser extrapolado a un grafo, para entenderlo, se ha considerado las esquinas o intersecciones de calles como nodos del mismo y las calles como las líneas que los unen con las distancias entre cada punto como peso asignado.



Figura 5 Grafo del distrito de San Borja

Fuente: Elaboración Propia

3.3 OpenStreetMap

La plataforma OpenStreetMap es un proyecto internacional que funciona desde el 2004, cuya misión es crear un mapa gratuito del mundo y es un esfuerzo comunitario de mapeo abierto. [33]

Se puede definir esta plataforma de diversas formas:

- Un mapa libre del mundo, creado por una comunidad creciente de cartógrafos que aportan información sobre la geografía del mundo a un repositorio común.
- Un mapa web gratuito alojado en <https://www.openstreetmap.org/>
- Una colección de herramientas de código abierto y gratuitas para mapear el mundo.
- Un flujo de instrucciones en tiempo real que representan cómo agregar, cambiar o eliminar geometrías proyectadas cartográficamente y metadatos asociados.
- Google Maps, pero con licencia abierta. (Morales A., 2021) [33]

En el presente trabajo se utilizará la plataforma OpenStreetMap para poder delimitar el área de trabajo; es decir, el distrito de San Borja, el cual se muestra a continuación encerrado por una línea de color naranja:

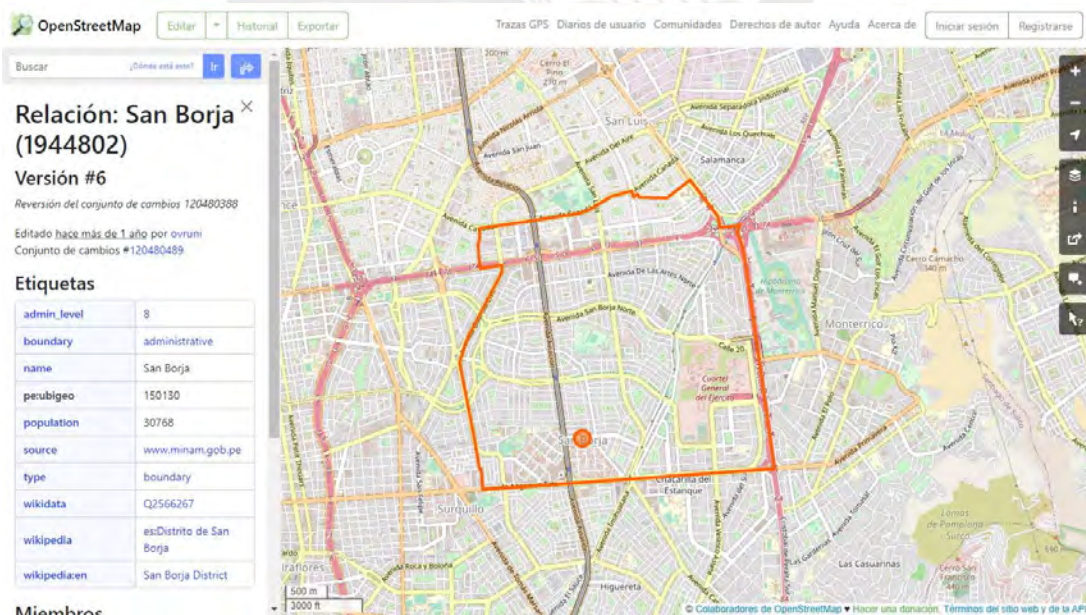


Figura 6 Delimitación del distrito de San Borja

Fuente: OpenStreetMap

Capítulo IV: Situación Actual

En el presente capítulo se definirá la situación actual del distrito de San Borja, la operativa actual del Sistema de Atención Móvil de Urgencias (SAMU) en la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao. Además, se mostrarán valores numéricos pertenecientes a datos históricos que fueron solicitados al Ministerio de Salud (MINSA) y la Municipalidad de San Borja para poder describir esta situación actual de manera precisa con los datos de quienes están involucrados en la problemática.

4.1 Descripción del lugar de estudio

El distrito de San Borja, se encuentra ubicado en la ciudad de Lima Metropolitana, según el plano Catastral del distrito, provisto por la Municipalidad del distrito, este cuenta con un área total de 9,814 km².

Según información prevista por la municipalidad del distrito, se cuenta con una densidad poblacional de 112 habitantes/ha, lo cual coincide con su plan Urbano Distrital de San Borja 2020-2030, esta información es del año 2016. Con dicha información se logra obtener una población total estimada de 109,917 personas que residen en dicho distrito.

Luego de realizar una búsqueda de información más actualizada se logró encontrar dichos datos actualizados al año 2022, dicha información se halló en el Reporte de marketing de marzo del 2022 (CPI:2022) [11] realizado por la consultora de CPI Research, en el cual se señala que la población del distrito de San Borja es de aproximadamente 133,000 personas y con aproximadamente 38,600 hogares, posicionándolo como el distrito N° 22 en cantidad de población, representando el 1.2% de toda la población de Lima Metropolitana y el Callao en dicho año.

Adicionalmente, según la Ficha Técnica de la Municipalidad Distrital de San Borja (Municipalidad Distrital de San Borja, 2020) el distrito de San Borja se encuentra dividido en 12 sectores que a su vez se subdividen 3 sub sectores cada uno, A, B y C, los cuales se muestran a continuación: [34]

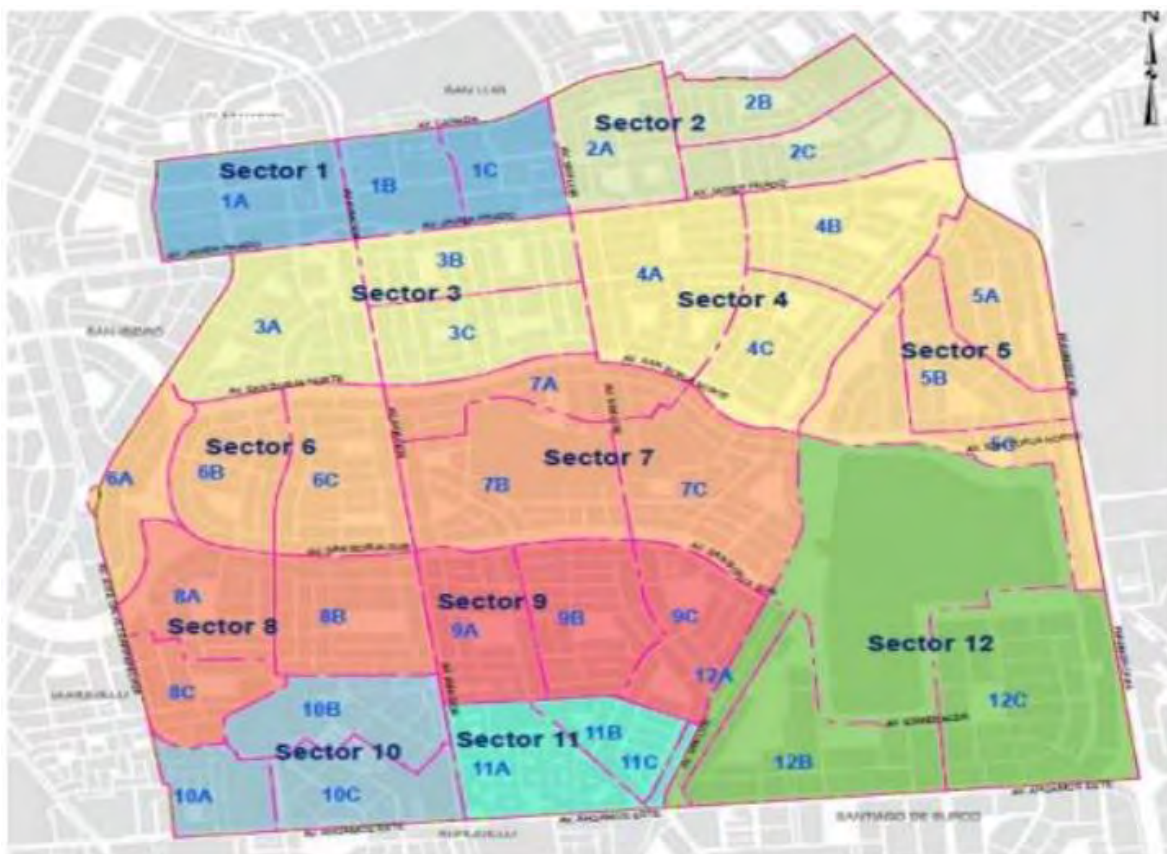


Figura 7 División del distrito de San Borja

Fuente: Compendio estadístico municipal 2015

En lo que respecta a Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPRESS), según el RENIPRESS, en el distrito se cuenta con lo siguiente, establecido por categorías de los establecimientos de salud: (SUSALUD:2023) [44]

Categoría de IPRESS	0	I-1	I-2	I-3	I-4	II-1	II-2	II-E	III-1	III-2	III-E
Cantidad de IPRESS	65	80	88	29	1	3	2	15	1	1	0

Tabla 2 Cantidad de IPRESS en San Borja por Categoría

Fuente: RENIPRESS (SUSALUD)

Los datos obtenidos en la tabla anterior fueron arrojados por el buscador del RENIPRESS bajo los siguientes parámetros: Departamento de Lima, provincia de Lima, distrito de San Borja y que se encuentran en estado Activo.

En total se cuenta con 220 IPRESS con categorías, debido a que la categoría 0, significa que no cuentan con una categoría de IPRESS.

De la información mostrada, se observa que el distrito de San Borja posee una gran cantidad de establecimientos de Salud, pero no todos estos cuentan con servicios de emergencia que puedan atender a las unidades del SAMU. Siendo este el caso, este número se ve altamente mermado, dejando actualmente un total de **5** IPRESS activas que cuentan con atención de Emergencia y que pueden atender a personas que lleguen en las unidades del SAMU, estos establecimientos se muestran a continuación:

N°	Nombre de la IPRESS	Categoría	Dirección
1	Instituto Nacional de Salud del Niño	III-2	Avenida Agustín de la Rosa Toro 1399
2	Policlínica Naval de San Borja	I-3	Fray Angélico 390
3	Clínica Santa Lucía II	II-1	Avenida Guardia Civil 301
4	Clínica Oncosalud San Borja	II-E	Avenida Guardia Civil 571
5	Clínica San Borja	III-A	Avenida Guardia Civil 337

Tabla 3 Lista de IPRESS en San Borja que atienden emergencias del SAMU

Fuente: SAMU (MINSa)

4.2 Estadísticos de la operativa del SAMU

Para la presente investigación se solicitó información al MINSa sobre el SAMU y su operativa en la ciudad de Lima desde el 2018 hasta la fecha más reciente disponible del 2023, también se solicitó información sobre las bases del SAMU distribuidas en la ciudad, el tipo y la cantidad de unidades que se encontraban en cada una de ellas por medio de su mesa de partes.

Los datos solicitados sobre la operativa del SAMU fueron los siguientes: El motivo o razón por el cual se solicitó el servicio del SAMU, si este motivo era una

urgencia o una emergencia, de qué distrito se solicitó el servicio, la base del SAMU desde la que se atendió el llamado, en caso ameritará asistencia en el lugar y la fecha en la que sucedió.

MOTIVO	¿REQUIERE ASISTENCIA EN EL ÁREA?	EMERGENCIA/URGENCIA	DISTRITO	BASE DE SAMU QUE ATENDIÓ EL LLAMADO	FECHA
--------	----------------------------------	---------------------	----------	-------------------------------------	-------

Figura 8 Parámetros solicitados sobre la operativa del SAMU

Fuente: DIGTEL-DISAMU

A continuación, se describe la data recibida:

- La información recibida es desde el día 01 de enero del año 2020, que es la fecha más antigua desde que el SAMU recolecta esta data en específico.
- La información recibida es hasta el día 31 de julio del año 2023, la cual es la fecha de corte en la que el SAMU entregó dicha información.
- La información solicitada contemplaba la dirección desde la cual se estaba solicitando la atención, pero debido a la Ley 29733, Ley de Protección de datos personales, estos datos se encuentran protegidos y no pueden ser compartidos hacia terceros y deben ser protegidos en este caso por el MINSA a través de las oficinas del SAMU.
- La información remitida contiene un total de 311,551 registros o filas; es decir, que en el periodo de tiempo señalado se han registrado esa cantidad de llamadas al SAMU en Lima Metropolitana y el Callao.
- Las filas que cuentan con la categoría de “Urgencia” no cuentan con una base del SAMU que atendió dicha incidencia debido a que una urgencia no califica para el envío de una unidad.
- Las filas que cuentan con la categoría de “Emergencia” sí cuentan con una base del SAMU que atendió dicha incidencia ya que sí lo amerita.

La distribución de todos los registros entre urgencias y emergencias atendidas en dicho periodo de tiempo en Lima Metropolitana y el Callao se muestra a continuación:

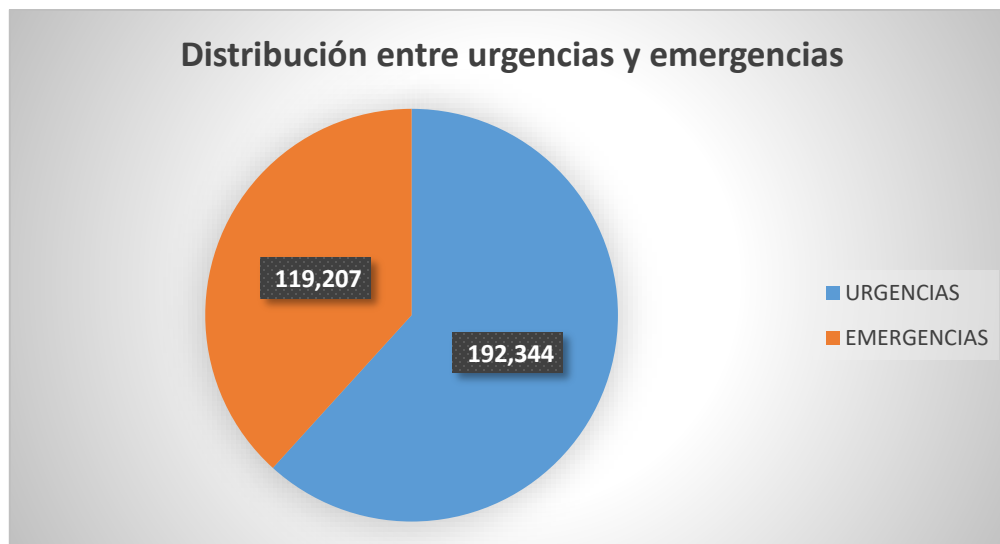


Figura 9 Distribución entre Urgencias y emergencias en Lima y Callao

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el gráfico anterior que la cantidad de urgencias supera la cantidad de emergencias en 73,137 registros. Porcentualmente, las emergencias representan un 38.26% del total de los registros; es decir, que en estos casi 4 años de datos que se han recolectado no se ha enviado unidades en más del 50% de los casos solicitados, esto sin contar las llamadas que se realizaron al SAMU y que fueron falsas durante dicho periodo.

En lo que respecta a los motivos por los cuales se llamó al SAMU, luego de trabajar la data recibida se encontró un total de 64 motivos diferentes por los cuales se solicitó el servicio, en este caso no se consideró cuáles de estos motivos fueron considerados como urgencias o emergencias. Los 64 motivos se muestran a continuación en orden descendente de frecuencia:

Motivo	Cantidad	Motivo	Cantidad
DIFICULTAD RESPIRATORIA	51,587	DESHIDRATACION	1,100
DOLOR	31,028	INCENDIO	978
CAIDA	25,186	ANSIEDAD	873
ACCIDENTE VEHICULAR	21,892	CRISIS ASMATICA	830
INCONSCIENTE	21,568	PARALISIS	798
MALESTAR GENERAL	17,508	PACIENTE PSIQUIATRICO	774
FIEBRE	17,479	NAUSEAS	697
DOLOR ABDOMINAL	11,967	INTENTO DE SUICIDIO	697
DESVANECIMIENTO	11,923	SOBREDOSIS DE MEDICAMENTOS	681
CONVULSION	9,868	MORDEDURA Y/O PICADURA DE ANIMAL	668
PRESION ALTA	8,294	TRABAJO DE PARTO	636
CONSULTA MEDICA	8,110	ATRAGANTAMIENTO	631
DIABETES DESCOMPENSADO	7,757	EDEMA	530
VOMITO	6,265	LESION CORTANTE	492
SANGRADO	5,228	QUEMADURA	478
AGITACION	4,447	ALERGIA	350
MAREO	3,455	AHOGAMIENTO	332
HIPOENSION	3,358	TRANSPORTE SECUNDARIO	323
TRASTORNO DEL SENSORIO	3,319	HERIDO POR APLASTAMIENTO	310
CEFALEA	3,099	PARTO	278
HERIDO POR AGRESION	2,993	CONTUSION	260
PROBLEMAS CARDIACOS	2,973	ASFIXIA	218
INTOXICACION	2,425	SUDORACION	216
CRISIS NERVIOSA	2,361	CONTACTO CON SUSTANCIA TOXICA	139
ADORMECIMIENTO	2,060	CONTRACTURA MUSCULAR	134
HERIDA	1,903	PREVENCION	129
TOS	1,872	DEMENCIA SENIL	82
ESCALOFRIOS	1,776	EXPLOSION Y/O FUGA DE GAS	68
DIARREA	1,701	RECIEN NACIDO	33
ATENCION EN BASE	1,679	CELULITIS	31
COMPLICACION DE LA GESTACION	1,534	SOLICITADO POR OTRA CENTRAL	10
SERVICIO ESPECIAL	1,157	AEROEVACUACION	3

Tabla 4 Motivos por los cuales se solicitó una unidad del SAMU en Lima y Callao

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a los diferentes distritos de Lima Metropolitana y el Callao, la distribución de solicitudes realizadas al SAMU en el periodo de estudio señalado líneas arriba se muestra a continuación en orden descendente de frecuencia:

DISTRITO	Cantidad	DISTRITO	Cantidad
SAN MARTIN DE PORRES	26,593	MIRAFLORES	6,599
LIMA	23,382	SANTA ANITA	6,295
SAN JUAN DE LURIGANCHO	23,048	PUEBLO LIBRE	6,268
SANTIAGO DE SURCO	17,486	LINCE	5,845
COMAS	17,216	MAGDALENA DEL MAR	5,465
LOS OLIVOS	14,128	SAN ISIDRO	4,992
CHORRILLOS	12,493	EL AGUSTINO	4,895
SAN JUAN DE MIRAFLORES	12,326	LA MOLINA	4,684
LA VICTORIA	12,029	PUENTE PIEDRA	4,424
RIMAC	10,952	SAN LUIS	3,025
ATE	10,866	LURIGANCHO	2,386
VILLA EL SALVADOR	10,200	CHACLACAYO	1,972
SAN MIGUEL	8,880	LURIN	990
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	8,602	PACHACAMAC	850
JESUS MARIA	7,874	ANCON	551
BREÑA	7,621	PUNTA HERMOSA	491
SAN BORJA	7,178	CIENEGUILLA	215
SURQUILLO	6,894	PUNTA NEGRA	128
CARABAYLLO	6,782	SAN BARTOLO	83
INDEPENDENCIA	6,760	PUCUSANA	74
		SANTA MARIA DEL MAR	9

Tabla 5 Distribución de solicitudes realizadas al SAMU por distritos

Fuente: Elaboración Propia

Estos valores han sido encontrados en relación a toda la data recibida, pero según lo mencionado líneas arriba, el estudio se llevará a cabo sobre el distrito de San Borja, por lo que se procede a mostrar los cuadros anteriores aplicados solamente al distrito de San Borja a continuación:

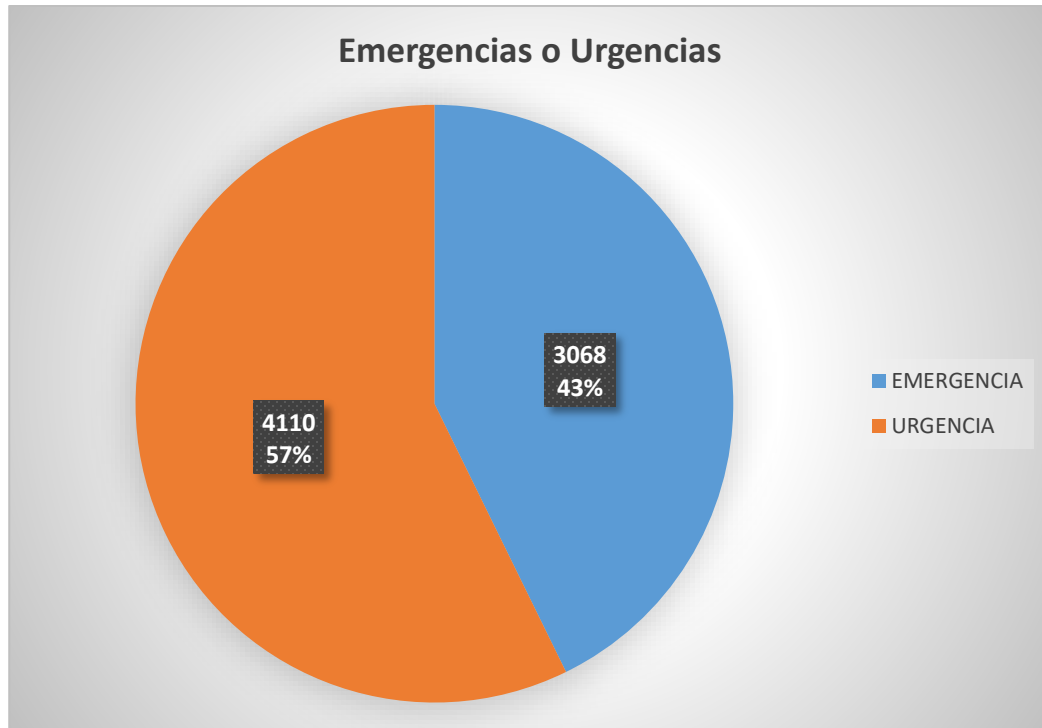


Figura 10 Distribución entre Urgencias y emergencias en San Borja

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el gráfico anterior que la cantidad de urgencias supera la cantidad de emergencias en 1,042 entradas. Porcentualmente, las emergencias representan un 42.74% del total de los registros; es decir, que en estos casi 4 años de datos que se han recolectado no se ha enviado unidades en más del 50% de los casos solicitados, esto sin contar las llamadas que se realizaron al SAMU y que fueron falsas durante dicho periodo.

Esto implica que de toda la data obtenida solo se podrán usar 3,068 registros para poder describir la situación actual del distrito de San Borja en el periodo de tiempo mencionado anteriormente.

En lo que respecta a los motivos por los cuales se llamó al SAMU, luego de trabajar la data correspondiente al distrito de San Borja se encontró con un total de 57 motivos diferentes por los cuales se solicitó la ayuda; es decir, que en el distrito

de San Borja no sucedieron 7 de las 64 causas totales, en este caso no se consideró cuáles de estos motivos fueron considerados como urgencias o emergencias. Los 57 motivos se muestran a continuación en orden descendente de frecuencia:

MOTIVO	Cantidad	MOTIVO	Cantidad
DIFICULTAD RESPIRATORIA	498	CRISIS ASMÁTICA	11
CAIDA	466	ADORMECIMIENTO	11
ACCIDENTE VEHICULAR	322	PARALISIS	9
DOLOR	197	CEFALEA	9
DESVANECIMIENTO	167	DESHIDRATACION	8
INCONCIENTE	161	ATRAGANTAMIENTO	8
PRESION ALTA	101	PREVENCION	7
ATENCION EN BASE	96	NAUSEAS	6
CONVULSION	95	CONTUSION	6
DOLOR ABDOMINAL	95	INCENDIO	5
SERVICIO ESPECIAL	83	CRISIS NERVIOSA	5
TRASTORNO DEL SENSORIO	82	DIARREA	5
DIABETES DESCOMPENSADO	78	TRANSPORTE SECUNDARIO	5
INCONSCIENTE	76	SOBREDOSIS DE MEDICAMENTOS	5
HIPOENSION	55	ALERGIA	4
SANGRADO	49	HERIDO POR APLASTAMIENTO	4
MALESTAR GENERAL	47	SUDORACION	3
PROBLEMAS CARDIACOS	45	ESCALOFRIOS	3
VOMITO	45	DEMENCIA SENIL	2
FIEBRE	32	EDEMA	2
AGITACION	29	AHOGAMIENTO	2
INTOXICACION	27	QUEMADURA	2
MAREO	23	ASFIXIA	2
HERIDA	20	EXPLOSION Y/O FUGA DE GAS	1
CONSULTA MEDICA	15	TRABAJO DE PARTO	1
HERIDO POR AGRESION	12	PARTO	1
INTENTO DE SUICIDIO	11	TOS	1
COMPLICACION DE LA GESTACION	11	MORDEDURA Y/O PICADURA DE ANIMAL	1
		LESION CORTANTE	1

Tabla 6 Motivos por los cuales se solicitó una unidad del SAMU en San Borja

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros solicitados sobre las bases del SAMU en Lima Metropolitana y el Callao fueron los siguientes: Nombre de la base del SAMU, Distrito en el que se encuentra, cantidad de ambulancias disponibles en la base, tipo de ambulancias.

NOMBRE DE BASE SAMU	DISTRITO	DIRECCION	CANTIDAD	TIPO DE AMBULANCIA
---------------------	----------	-----------	----------	--------------------

Figura 11 Parámetros solicitados sobre las bases del SAMU

Fuente: DIGTEL-DISAMU

La información obtenida por parte del MINSA, se muestra en la siguiente tabla:

N°	NOMBRE DE BASE SAMU	DISTRITO	DIRECCION	CANTIDAD	TIPO DE AMBULANCIA
1	CARABAYLLO	CARABAYLLO	Av. Lima 15313	1	II
2	LOS OLIVOS	LOS OLIVOS	Av. Naranjal con Av. Universitaria	1	II
3	SAN MARTÍN DE PORRES	SAN MARTÍN DE PORRES	Av. Angelica Gamarra 15108	1	II
4	G8	CALLAO	Av. Bocanegra s/n	1	III
5	SAN JUAN DE LURIGANCHO	SAN JUAN DE LURIGANCHO	Cruce Flores de Primavera con Jardines Oeste	1	II
6	SANTA ANITA	SANTA ANITA	Av. 7 de Junio 197	1	II
7	EL AGUSTINO	EL AGUSTINO	Av. Miguel Grau cruce con Jr. Junín	1	II
8	CHACLACAYO	CHACLACAYO	Av. Carretera Central con Alamos	1	II
9	CANCILLERIA	CERCADO DE LIMA	Jr. Lampa 580	1	II
10	RIMAC	RIMAC	Av Alcazar 1174	1	II
11	BREÑA	JESUS MARIA	Av Peruanidad s/n	1	II
12	PUEBLO LIBRE	PUEBLO LIBRE	Jr. Colombia 300	1	II
13	JESÚS MARÍA	JESÚS MARÍA	Jr. Pachacutec / Av. Cayetano Heredia 15072	1	III
14	SAN ISIDRO	SAN ISIDRO	Av. El Ejército 1355	1	III
15	CHORRILLOS	CHORRILLOS	Av. Escuela Militar 610	1	III
16	BARRANCO	BARRANCO	Av. Almirante Miguel Grau 15063	1	II
17	SAN BORJA	SAN BORJA	Av. Claudio Galeno 150	1	II
18	SURQUILLO	SURQUILLO	AV TOMAS MARSANO 1099	1	II
19	SURCO	SAN BORJA	Jr. Paseo del Bosque 15037	1	II
20	VILLA MARÍA DEL TRIUNFO	VILLA MARÍA DEL TRIUNFO	Ca. Mariano Melgar S/N	1	II
21	PUNTA HERMOSA	PUNTA HERMOSA	Calle Punta Sal 15846	1	II

Tabla 7 Bases de ambulancias del SAMU en Lima y Callao

Fuente: SAMU (MINSA)

A continuación, se muestra la cantidad de emergencias que atendió cada una de las bases del SAMU en Lima Metropolitana y el Callao en los casi 4 años de datos que se cuenta en forma descendente de frecuencia:

BASE DE SAMU QUE ATENDIÓ EL LLLAMADO	Cantidad
SAMU BREÑA	7729
SAMU JESUS MARIA	7657
SAMU CANCELLERIA	7182
SAMU RIMAC	7030
SAMU SAN BORJA	6739
SAMU SANTA ANITA	6362
SAMU CHACARILLA DE OTERO	6217
SAMU LOS OLIVOS	6214
SAMU CARABAYLLO	6034
SAMU SAN ISIDRO	5892
SAMU SURCO	5870
SAMU PUEBLO LIBRE	5002
SAMU VES	4884
SAMU SMP	4486
SAMU G8	3566
SAMU COMAS	3298
SAMU SURQUILLO	3018

BASE DE SAMU QUE ATENDIÓ EL LLLAMADO	Cantidad
SAMU METROPOLITANO	2755
SAMU SJL	2619
SAMU SJM	2333
SAMU ATE	2169
SAMU CHACLACAYO	2037
SAMU CHORRILLOS	2022
SAMU LA VICTORIA	2003
SAMU SAN MIGUEL	1962
SAMU BARRANCO	1205
SAMU VMT	1128
SAMU EL AGUSTINO	697
SAMU LA MOLINA	360
SAMU PUNTA HERMOSA	347
SAMU EJERCITO	298
SAMU VMT I	80
SAMU VMT II	12

Tabla 8 Frecuencia de atención de las bases de ambulancias del SAMU en Lima y Callao

Fuente: SAMU (MINSa)

Como se ha mencionado anteriormente, el área de estudio es el distrito de San Borja, entonces la frecuencia de atención de las bases del SAMU en este distrito durante el periodo de estudio se muestra a continuación en orden descendente de frecuencia:

BASE DE SAMU QUE ATENDIÓ EL LLAMADO	Cantidad	Probabilidad de atención
SAMU SAN BORJA	1491	48.60%
SAMU SURCO	363	11.83%
SAMU SURQUILLO	299	9.75%
SAMU SAN ISIDRO	255	8.31%
SAMU LA VICTORIA	98	3.19%
SAMU JESUS MARIA	95	3.10%
SAMU SANTA ANITA	85	2.77%
SAMU EJERCITO	77	2.51%
SAMU METROPOLITANO	57	1.86%
SAMU CANCELLERIA	38	1.24%
SAMU LA MOLINA	38	1.24%
SAMU BARRANCO	34	1.11%
SAMU BREÑA	31	1.01%
SAMU PUEBLO LIBRE	30	0.98%
SAMU CHORRILLOS	20	0.65%
SAMU ATE	11	0.36%
SAMU SAN MIGUEL	10	0.33%
SAMU SJM	8	0.26%
SAMU RIMAC	7	0.23%
SAMU VES	5	0.16%
SAMU G8	4	0.13%
SAMU CHACARILLA DE OTERO	3	0.10%
SAMU EL AGUSTINO	3	0.10%
SAMU LOS OLIVOS	2	0.07%
SAMU SJL	2	0.07%
SAMU COMAS	1	0.03%
SAMU VMT	1	0.03%

Tabla 9 Frecuencia de atención de las bases de ambulancias del SAMU en el distrito de San Borja

Fuente: SAMU (MINSA)

4.3 Criterios de elección de ruta de los conductores del SAMU

Para obtener esta información, se consultaron los criterios de elección y los factores que intervienen en la elección de la ruta de los conductores de las ambulancias del SAMU y se obtuvieron las siguientes respuestas:

- **Sistema de Navegación GPS:** El SAMU utiliza un sistema de navegación GPS instalado en las ambulancias. Este sistema proporciona indicaciones en tiempo real al conductor sobre la ruta más rápida y segura al destino.

- **Protocolos Internos:** El SAMU tiene protocolos internos que establecen las rutas predeterminadas para diferentes tipos de emergencias. Estos protocolos se basan en factores como la ubicación del hospital más cercano, la congestión del tráfico y las condiciones climáticas.
- **Conocimiento Local:** Los conductores de ambulancias del SAMU también se basan en su conocimiento local para elegir la mejor ruta. Esto incluye conocer las calles de la ciudad, los puntos de congestión y las rutas alternativas.
- **Comunicación con el Centro de Control:** El conductor de la ambulancia está en constante comunicación con el Centro de Control del SAMU. El Centro de Control puede proporcionar información actualizada sobre la situación del tráfico, accidentes o cualquier otro evento que pueda afectar la ruta.
- **Estado del Paciente:** La condición del paciente también juega un papel importante en la elección de la ruta. En casos críticos, el conductor puede optar por la ruta más rápida al hospital, incluso si es más congestionada.
- **Prioridades:** En algunos casos, el SAMU puede tener que atender a múltiples emergencias al mismo tiempo. En estas situaciones, los conductores de ambulancias deben priorizar las llamadas de acuerdo a la gravedad de la emergencia y la disponibilidad de recursos.
- **Experiencia:** La experiencia del conductor también juega un papel importante en la elección de la ruta. Los conductores con más experiencia conocen mejor las calles de la ciudad y pueden elegir la mejor ruta en función de las condiciones del tráfico.

Capítulo V: Modelamiento del problema

En el presente capítulo se compararán seis (06) soluciones al problema actual descrito líneas arriba en el distrito de San Borja con respecto al ruteo de ambulancias del Sistema de Atención Móvil de Urgencias (SAMU), el primero mejorando el ruteo de la situación actual siguiendo las reglas existentes, el segundo mejorando el ruteo de la situación actual siguiendo las reglas existentes con la adición de la relocalización de las bases del SAMU, el tercero mejorando el ruteo de la situación actual siguiendo las reglas existentes con la adición de la relocalización de los IPRESS, el cuarto mejorando el ruteo de una situación sin seguir las reglas existentes y sin la aplicación de la relocalización, el quinto mejorando el ruteo de una situación sin seguir las reglas existentes con la adición de la relocalización de las bases del SAMU, el sexto mejorando el ruteo de una situación sin seguir las reglas existentes con la adición de la relocalización de las IPRESS. Todos los escenarios se probarán en base al algoritmo Dijkstra y al algoritmo de cobertura máxima y sus combinatorias; además, se mostrarán pantallazos de la solución en el lenguaje de programación de Python.

Para todos los escenarios se han simulado trescientos (300) puntos o accidentes con sus respectivas coordenadas en longitud y latitud. Los cuáles serán utilizados como input para comparar los dos escenarios.

A continuación, se muestra una muestra de los puntos o accidentes utilizados con sus respectivo correlativo y sus coordenadas de latitud y longitud:

Nombre del Accidente	Latitud	Longitud
accidente_1	-12.084975	-77.009598
accidente_2	-12.087969	-77.0099
accidente_3	-12.085809	-77.006192
accidente_4	-12.086845	-77.004179
accidente_5	-12.08215	-76.996529
accidente_6	-12.082224	-76.990918
accidente_7	-12.084267	-76.990963
accidente_8	-12.082511	-76.986307
accidente_9	-12.086226	-76.984653
accidente_10	-12.087593	-76.98339

accidente_11	-12.098666	-77.011591
accidente_12	-12.088497	-76.985555
accidente_13	-12.087036	-76.989455
accidente_14	-12.106627	-76.982646
accidente_15	-12.11045	-76.98418
accidente_16	-12.083994	-76.999284
accidente_17	-12.080249	-76.989722
accidente_18	-12.088768	-77.005488
accidente_19	-12.090413	-77.009773
accidente_20	-12.103439	-77.010962
accidente_21	-12.105215	-77.002608
accidente_22	-12.103974	-76.997296
accidente_23	-12.107338	-76.99382
accidente_24	-12.108878	-76.996
accidente_25	-12.104364	-76.983028
accidente_26	-12.106248	-76.97982
accidente_27	-12.086725	-76.984524
accidente_28	-12.080513	-76.988002
accidente_29	-12.080036	-76.991913
accidente_30	-12.09399	-77.003944
accidente_31	-12.094412	-77.001122
accidente_32	-12.091658	-76.996016
accidente_33	-12.091255	-76.992496
accidente_34	-12.089122	-76.995288
accidente_35	-12.088457	-76.995428
accidente_36	-12.087124	-76.993812
accidente_37	-12.086123	-76.998751
accidente_38	-12.086195	-76.98816
accidente_39	-12.08787	-76.989254
accidente_40	-12.086782	-76.990913
accidente_41	-12.087611	-77.009734
accidente_42	-12.088407	-76.999654
accidente_43	-12.084123	-77.000702
accidente_44	-12.084203	-77.001306
accidente_45	-12.084688	-77.000828
accidente_46	-12.086935	-76.99025
accidente_47	-12.087796	-76.995361
accidente_48	-12.088765	-76.995572
accidente_49	-12.089753	-76.993436
accidente_50	-12.089612	-76.992846

Tabla 10 Muestra de accidentes con sus coordenadas de latitud y longitud

Fuente: Elaboración propia

5.1 Escenario 1: Ruteo con reglas actuales sin relocalización

En el presente acápite se desarrollará una propuesta de solución respetando las actuales reglas de las ambulancias y sus atenciones; es decir, que la integración de la Red de Salud no está muy avanzada y que hay restricciones respecto a dónde las ambulancias del SAMU pueden transportar a los pacientes y no se utilizará el algoritmo de relocalización en ninguna de las variables a considerar.

5.1.1 Consideraciones

En este caso se utilizarán las 5 IPRESS que fueron nombradas anteriormente y se utilizarán 3 bases del SAMU para la evaluación, las cuales son las bases de San Borja, Surco y Surquillo, esto debido a que son las que se cuentan con una mayor proximidad al distrito y también poseen los mayores valores de probabilidad de atención según la tabla N° 8, representando los 3 primeros valores de dicha tabla. A continuación, se presenta la información utilizada en este escenario.

Nombre de la base del SAMU	Latitud	Longitud
San Borja	-12.10652821785644	-77.00671620834076
Surquillo	-12.115373058034995	-77.01006343204769
Surco	-12.100430484070063	-76.98879043330707

Tabla 11 Bases del SAMU utilizadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 1

Fuente: Elaboración propia

Nombre de la IPRESS	Latitud	Longitud
Clínica Santa Lucía II	-12.09136562554585	-77.00830312834785
Instituto Nacional del Niño	-12.085771201797588	-76.99270325063412
Policlínico Naval	-12.095629406920974	-76.99410907273526
Clínica Oncosalud	-12.095163706358107	-77.01022318606037
Clínica San Borja	-12.092069420911878	-77.00830533223211

Tabla 12 IPRESS utilizadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 1

Fuente: Elaboración propia

Luego de resaltar estos puntos en el mapa de San Borja en Python se obtiene el siguiente resultado:

Leyenda:

- Bases del SAMU
- ✚ Hospitales que atienden al SAMU



Figura 12 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU e IPRESS del Escenario 1

Fuente: Elaboración propia

Luego de aplicar el algoritmo de optimización de ruteo de Disjktra, se obtuvieron los resultados que se muestran en el siguiente acápite.

5.1.2 Resultados escenario 1

A continuación, se muestra un ejemplo de lo obtenido luego de correr el algoritmo de optimización de ruteo en Python.

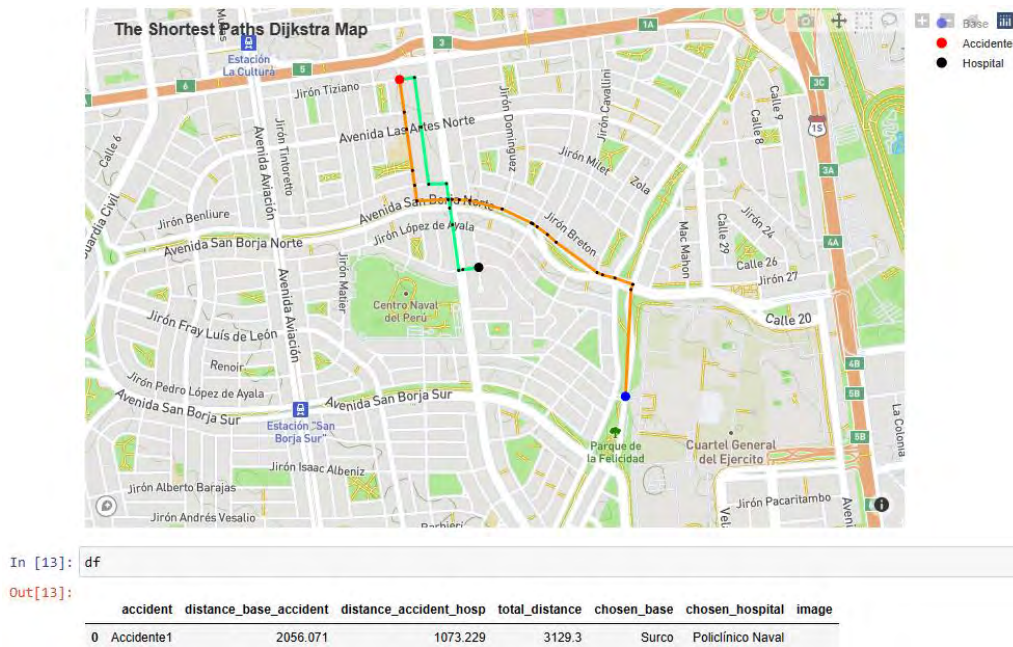


Figura 13 Imagen obtenida por el algoritmo y mapa de referencia
Fuente: Elaboración propia

En el escenario 1, luego de que se probaran los 300 puntos se obtuvieron los siguientes resultados, algunos de estos resultados se muestran a continuación:

accident	distance_base_accident	distance_accident_hosp	total_distance	chosen_base	chosen_hospital
accidente_1	3010.947	953.924	3964.871	San Borja	Clínica Santa Lucia II
accidente_2	2719.161	701.884	3421.045	San Borja	Clínica Santa Lucia II
accidente_3	2843.999	861.76	3705.759	San Borja	Clínica Santa Lucia II
accidente_4	2769.569	871.201	3640.77	San Borja	Clínica Santa Lucia II
accidente_5	2836.328	1476.758	4313.086	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_6	3174.447	1015.17	4189.617	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_7	2914.582	546.644	3461.226	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_8	3470.517	1089.225	4559.742	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_9	2222.471	1913.705	4136.176	Surco	Policlinico Naval
accidente_10	1602.164	1921.635	3523.799	Surco	Policlinico Naval
accidente_11	1349.746	422.345	1772.091	San Borja	Clínica Oncosalud
accidente_12	1626.666	1711.877	3338.543	Surco	Policlinico Naval
accidente_13	1759.018	1408.554	3167.572	Surco	Policlinico Naval
accidente_14	1804.284	2589.788	4394.072	Surco	Policlinico Naval
accidente_15	1742.064	2514.025	4256.089	Surco	Policlinico Naval

accidente_16	2615.267	1451.249	4066.516	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_17	3451.376	1478.783	4930.159	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_18	2226.844	510.656	2737.5	San Borja	Clínica San Borja
accidente_19	2363.925	344.762	2708.687	San Borja	Clínica Santa Lucia II
accidente_20	785.413	986.678	1772.091	San Borja	Clínica Oncosalud
accidente_21	640.714	1981.971	2622.685	San Borja	Clínica Oncosalud
accidente_22	1241.154	1267.667	2508.821	Surco	Policlínico Naval
accidente_23	1209.016	1449.942	2658.958	Surco	Policlínico Naval
accidente_24	1552.379	1734.44	3286.819	Surco	Policlínico Naval
accidente_25	1971.025	2756.701	4727.726	Surco	Policlínico Naval
accidente_26	2157.042	2839.015	4996.057	Surco	Policlínico Naval
accidente_27	1755.967	1879.895	3635.862	Surco	Policlínico Naval
accidente_28	3586.972	1396.521	4983.493	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_29	3182.857	1683.322	4866.179	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_30	1884.234	543.629	2427.863	San Borja	Clínica San Borja
accidente_31	2010.801	838.428	2849.229	Surco	Clínica San Borja
accidente_32	1542.22	548.952	2091.172	Surco	Policlínico Naval
accidente_33	1344.64	802.15	2146.79	Surco	Policlínico Naval
accidente_34	1715.943	888.812	2604.755	Surco	Policlínico Naval
accidente_35	1785.901	958.77	2744.671	Surco	Policlínico Naval
accidente_36	1856.917	1313.45	3170.367	Surco	Policlínico Naval
accidente_37	2387.98	1395.51	3783.49	Surco	Policlínico Naval
accidente_38	1947.8	1839.614	3787.414	Surco	Policlínico Naval
accidente_39	1635.696	1285.232	2920.928	Surco	Policlínico Naval
accidente_40	1833.744	1291.254	3124.998	Surco	Policlínico Naval
accidente_41	2719.161	701.884	3421.045	San Borja	Clínica Santa Lucia II
accidente_42	2230.17	1244.079	3474.249	Surco	Policlínico Naval
accidente_43	2905.081	1487.871	4392.952	Surco	Clínica Santa Lucia II
accidente_44	2905.081	1487.871	4392.952	Surco	Clínica Santa Lucia II
accidente_45	2738.941	1441.148	4180.089	Surco	Clínica Santa Lucia II
accidente_46	1827.146	1364.865	3192.011	Surco	Policlínico Naval
accidente_47	1859.712	1032.581	2892.293	Surco	Policlínico Naval
accidente_48	1785.901	958.77	2744.671	Surco	Policlínico Naval
accidente_49	1567.598	1025.108	2592.706	Surco	Policlínico Naval
accidente_50	1549.128	1006.638	2555.766	Surco	Policlínico Naval

Tabla 13 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 1

Fuente: Elaboración propia

- La distancia promedio que se recorrieron las unidades del SAMU desde sus bases elegidas hasta el sitio de la emergencia es de 1,503.10 metros,

la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 591.22 metros en el escenario 1.

- La distancia promedio que recorrieron las unidades del SAMU desde el sitio de la emergencia hasta las IPRESS's elegidas es de 1,359.77 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 705.81 metros en el escenario 1.
- La distancia promedio que recorrió la unidad del SAMU desde que la base elegida hasta la IPRESS elegida pasando primero por sitio de la emergencia es de 2,862.86 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 940.45 metros en el escenario 1.
- La distribución de bases del SAMU elegidas en los accidentes elegidos es como se muestra a continuación:

Base	Frecuencia	Porcentaje
San Borja	134	44.67%
Surco	163	54.33%
Surquillo	3	1.00%
	300	100.00%

Tabla 14 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 1

Fuente: Elaboración propia

- La distribución de IPRESS elegidas para atender a los pacientes de los accidentes en el escenario 1 es como se muestra a continuación:

Nombre de la IPRESS	Frecuencia	Porcentaje
Clínica Santa Lucia II	10	3.33%
Instituto Nacional del Niño	8	2.67%
Policlínico Naval	166	55.33%
Clínica Oncosalud	45	15.00%
Clínica San Borja	71	23.67%
	300	100.00%

Tabla 15 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 1

Fuente: Elaboración propia

5.2 Escenario 2: Ruteo con reglas actuales y relocalización de las bases del SAMU

En el presente acápite se desarrollará una propuesta de solución respetando las actuales reglas de las ambulancias y sus atenciones; es decir, que la integración de la Red de Salud no está muy avanzada y que hay restricciones respecto a dónde las ambulancias del SAMU pueden transportar a los pacientes y solo se utilizará el algoritmo de relocalización en las bases del SAMU.

5.2.1 Consideraciones

En este caso se utilizarán las 5 IPRESS que fueron nombradas anteriormente y se aplicará el algoritmo de relocalización en las 3 bases del SAMU para la evaluación.

Con las 3 nuevas coordenadas de las bases del SAMU se procederá a correr el algoritmo de Dijkstra con los 300 puntos para evaluar este escenario.

5.2.2 Resultados escenario 2

A continuación, se muestran las nuevas coordenadas de las bases relocalizadas luego de correr el algoritmo de relocalización en Python.

Nombre de la base del SAMU	Latitud	Longitud
Base1	-12.09203233	-76.99943271
Base2	-12.09231641	-76.98971053
Base3	-12.10748943	-77.00461689

Tabla 16 Bases del SAMU reubicadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 2

Fuente: Elaboración propia

Luego de resaltar estos puntos en el mapa de San Borja en Python se obtiene el siguiente resultado:

Leyenda:

- Bases del SAMU
- ✚ Hospitales que atienden al SAMU



Figura 14 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU relocalizadas e IPRESS del Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

En el escenario 2, luego de que se probaran los 300 puntos se obtuvieron los siguientes resultados, algunos de estos resultados se muestran a continuación:

accident	distance_ base_ accident	distance_ accident_ hosp	total_ distance	chosen_ base	chosen_hospital
accidente_1	1968.734	953.924	2922.658	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_2	1697.78	701.884	2399.664	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_3	1379.105	861.76	2240.865	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_4	1148.06	871.201	2019.261	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_5	1766.218	1476.758	3242.976	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_6	2104.337	1015.17	3119.507	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_7	1844.472	546.644	2391.116	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_8	2400.407	1089.225	3489.632	Base1	Instituto Nacional del Niño

accidente_9	1214.211	1913.705	3127.916	Base2	Policlínico Naval
accidente_10	985.011	1921.635	2906.646	Base2	Policlínico Naval
accidente_11	1482.2	422.345	1904.545	Base3	Clínica Oncosalud
accidente_12	775.253	1711.877	2487.13	Base2	Policlínico Naval
accidente_13	662.604	1408.554	2071.158	Base2	Policlínico Naval
accidente_14	2758.831	2589.788	5348.619	Base2	Policlínico Naval
accidente_15	2541.374	2514.025	5055.399	Base3	Policlínico Naval
accidente_16	1545.157	1451.249	2996.406	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_17	2381.266	1478.783	3860.049	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_18	991.647	510.656	1502.303	Base1	Clínica San Borja
accidente_19	1510.511	344.762	1855.273	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_20	1266.672	986.678	2253.35	Base3	Clínica Oncosalud
accidente_21	492.185	1981.971	2474.156	Base3	Clínica Oncosalud
accidente_22	1328.853	1267.667	2596.52	Base3	Policlínico Naval
accidente_23	1305.842	1449.942	2755.784	Base3	Policlínico Naval
accidente_24	1164.406	1734.44	2898.846	Base3	Policlínico Naval
accidente_25	2545.15	2756.701	5301.851	Base2	Policlínico Naval
accidente_26	2400.07	2839.015	5239.085	Base2	Policlínico Naval
accidente_27	1014.012	1879.895	2893.907	Base2	Policlínico Naval
accidente_28	2516.862	1396.521	3913.383	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_29	2112.747	1683.322	3796.069	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_30	656.668	543.629	1200.297	Base1	Clínica San Borja
accidente_31	361.869	838.428	1200.297	Base1	Clínica San Borja
accidente_32	796.822	548.952	1345.774	Base1	Policlínico Naval
accidente_33	353.548	802.15	1155.698	Base2	Policlínico Naval
accidente_34	785.374	888.812	1674.186	Base1	Policlínico Naval
accidente_35	855.332	958.77	1814.102	Base1	Policlínico Naval
accidente_36	912.632	1313.45	2226.082	Base2	Policlínico Naval
accidente_37	1317.87	1395.51	2713.38	Base1	Policlínico Naval
accidente_38	851.386	1839.614	2691	Base2	Policlínico Naval
accidente_39	539.282	1285.232	1824.514	Base2	Policlínico Naval
accidente_40	762.726	1291.254	2053.98	Base2	Policlínico Naval
accidente_41	1697.78	701.884	2399.664	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_42	521.874	1244.079	1765.953	Base1	Policlínico Naval
accidente_43	1533.028	1487.871	3020.899	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_44	1533.028	1487.871	3020.899	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_45	1486.305	1441.148	2927.453	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_46	730.732	1364.865	2095.597	Base2	Policlínico Naval
accidente_47	929.143	1032.581	1961.724	Base1	Policlínico Naval
accidente_48	855.332	958.77	1814.102	Base1	Policlínico Naval
accidente_49	623.313	1025.108	1648.421	Base2	Policlínico Naval

accidente_50	558.036	1006.638	1564.674	Base2	Policlínico Naval
--------------	---------	----------	----------	-------	-------------------

Tabla 17 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 2

Fuente: Elaboración propia

- La distancia promedio que se recorrieron las unidades del SAMU desde sus bases elegidas hasta el sitio de la emergencia es de 1,265.96 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 674.89 metros en el escenario 2.
- La distancia promedio que recorrieron las unidades del SAMU desde el sitio de la emergencia hasta las IPRESS's elegidas es de 1,359.77 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 705.81 metros en el escenario 2.
- La distancia promedio que recorrió la unidad del SAMU desde que la base elegida hasta la IPRESS elegida pasando primero por sitio de la emergencia es de 2,625.73 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 1,243.55 metros en el escenario 2.
- La distribución de bases del SAMU elegidas en los accidentes elegidos es como se muestra a continuación:

Base	Frecuencia	Porcentaje
Base1	109	36.33%
Base2	93	31.00%
Base3	98	32.67%
	300	100.00%

Tabla 18 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 2

Fuente: Elaboración propia

- La distribución de IPRESS elegidas para atender a los pacientes de los accidentes en el escenario 2 es como se muestra a continuación:

Nombre de la IPRESS	Frecuencia	Porcentaje
Clínica Santa Lucia II	10	3.33%
Instituto Nacional del Niño	8	2.67%

Policlínico Naval	166	55.33%
Clínica Oncosalud	45	15.00%
Clínica San Borja	71	23.67%
	300	100.00%

Tabla 19 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 2

Fuente: Elaboración propia

5.3 Escenario 3: Ruteo con reglas actuales y relocalización de las IPRESS

En el presente acápite se desarrollará una propuesta de solución respetando las actuales reglas de las ambulancias y sus atenciones; es decir, que la integración de la Red de Salud no está muy avanzada y que hay restricciones respecto a dónde las ambulancias del SAMU pueden transportar a los pacientes y solo se utilizará el algoritmo de relocalización en las IPRESS.

5.3.1 Consideraciones

En este caso se utilizarán las 3 bases del SAMU que se usaron en el escenario 1; es decir, San Borja, Surco y Surquillo y se aplicará el algoritmo de relocalización en las 5 IPRESS para la evaluación.

Con las 5 nuevas coordenadas de las IPRESS se procederá a correr el algoritmo de Dijkstra con los 300 puntos para evaluar este escenario.

5.3.2 Resultados escenario 3

A continuación, se muestran las nuevas coordenadas de las IPRESS relocalizadas luego de correr el algoritmo de relocalización en Python.

Nombre de la IPRESS	Latitud	Longitud
IPRESS1	-12.08595788	-77.00698466
IPRESS2	-12.08788457	-76.98751853
IPRESS3	-12.09231641	-76.98971053
IPRESS4	-12.09728324	-77.0076494
IPRESS5	-12.10978474	-77.00361274

Tabla 20 IPRESS reubicadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 3

Fuente: Elaboración propia

Luego de resaltar estos puntos en el mapa de San Borja en Python se obtiene el siguiente resultado:

Leyenda:

- Bases del SAMU
- ✚ Hospitales que atienden al SAMU

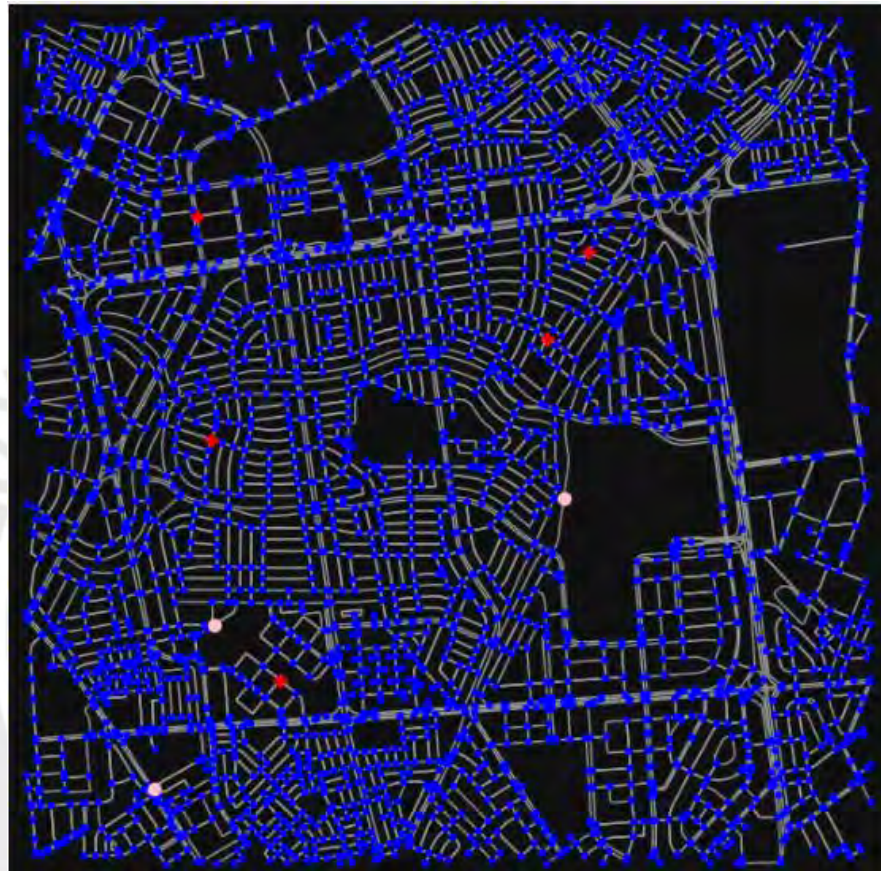


Figura 15 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU e IPRESS relocalizadas del Escenario 3

Fuente: Elaboración propia

En el escenario 3, luego de que se probaran los 300 puntos se obtuvieron los siguientes resultados, algunos de estos resultados se muestran a continuación:

accident	distance_ base_ accident	distance_ accident_ hosp	total_ distance	chosen_ base	chosen_hospital
accidente_1	3010.947	643.642	3654.589	San Borja	IPRESS1

accidente_2	2719.161	391.602	3110.763	San Borja	IPRESS1
accidente_3	2843.999	224.58	3068.579	San Borja	IPRESS1
accidente_4	2769.569	565.781	3335.35	San Borja	IPRESS1
accidente_5	2836.328	1726.102	4562.43	Surco	IPRESS1
accidente_6	3174.447	2314.568	5489.015	Surco	IPRESS2
accidente_7	2914.582	2144.093	5058.675	Surco	IPRESS2
accidente_8	3470.517	1952.034	5422.551	Surco	IPRESS2
accidente_9	2222.471	436.316	2658.787	Surco	IPRESS2
accidente_10	1602.164	580.198	2182.362	Surco	IPRESS2
accidente_11	1349.746	806.048	2155.794	San Borja	IPRESS4
accidente_12	1626.666	276.2	1902.866	Surco	IPRESS2
accidente_13	1759.018	332.583	2091.601	Surco	IPRESS2
accidente_14	1804.284	2732.874	4537.158	Surco	IPRESS3
accidente_15	1742.064	2230.027	3972.091	Surco	IPRESS5
accidente_16	2615.267	1713.976	4329.243	Surco	IPRESS1
accidente_17	3451.376	2598.768	6050.144	Surco	IPRESS2
accidente_18	2226.844	1047.009	3273.853	San Borja	IPRESS1
accidente_19	2363.925	628.82	2992.745	San Borja	IPRESS1
accidente_20	785.413	1161.531	1946.944	San Borja	IPRESS4
accidente_21	640.714	765.976	1406.69	San Borja	IPRESS5
accidente_22	1241.154	1481.737	2722.891	Surco	IPRESS4
accidente_23	1209.016	1660.565	2869.581	Surco	IPRESS5
accidente_24	1552.379	1408.216	2960.595	Surco	IPRESS5
accidente_25	1971.025	2647.555	4618.58	Surco	IPRESS3
accidente_26	2157.042	2482.505	4639.547	Surco	IPRESS3
accidente_27	1755.967	414.712	2170.679	Surco	IPRESS2
accidente_28	3586.972	2275.715	5862.687	Surco	IPRESS2
accidente_29	3182.857	2687.605	5870.462	Surco	IPRESS1
accidente_30	1884.234	695.759	2579.993	San Borja	IPRESS4
accidente_31	2010.801	988.782	2999.583	Surco	IPRESS4
accidente_32	1542.22	942.03	2484.25	Surco	IPRESS3
accidente_33	1344.64	353.548	1698.188	Surco	IPRESS3
accidente_34	1715.943	907.928	2623.871	Surco	IPRESS3
accidente_35	1785.901	977.886	2763.787	Surco	IPRESS3
accidente_36	1856.917	849.324	2706.241	Surco	IPRESS2
accidente_37	2387.98	1486.689	3874.669	Surco	IPRESS1
accidente_38	1947.8	337.839	2285.639	Surco	IPRESS2
accidente_39	1635.696	256.576	1892.272	Surco	IPRESS2
accidente_40	1833.744	534.994	2368.738	Surco	IPRESS2
accidente_41	2719.161	391.602	3110.763	San Borja	IPRESS1
accidente_42	2230.17	1452.97	3683.14	Surco	IPRESS3

accidente_43	2905.081	1182.451	4087.532	Surco	IPRESS1
accidente_44	2905.081	1182.451	4087.532	Surco	IPRESS1
accidente_45	2738.941	1135.728	3874.669	Surco	IPRESS1
accidente_46	1827.146	467.235	2294.381	Surco	IPRESS2
accidente_47	1859.712	1051.697	2911.409	Surco	IPRESS3
accidente_48	1785.901	977.886	2763.787	Surco	IPRESS3
accidente_49	1567.598	623.313	2190.911	Surco	IPRESS3
accidente_50	1549.128	558.036	2107.164	Surco	IPRESS3

Tabla 21 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 3

Fuente: Elaboración propia

- La distancia promedio que se recorrieron las unidades del SAMU desde sus bases elegidas hasta el sitio de la emergencia es de 1,503.10 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 591.22 metros en el escenario 3.
- La distancia promedio que recorrieron las unidades del SAMU desde el sitio de la emergencia hasta las IPRESS's elegidas es de 1,141.48 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 756.55 metros en el escenario 3.
- La distancia promedio que recorrió la unidad del SAMU desde que la base elegida hasta la IPRESS elegida pasando primero por sitio de la emergencia es de 2,644.58 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 1,056.19 metros en el escenario 3.
- La distribución de bases del SAMU elegidas en los accidentes elegidos es como se muestra a continuación:

Base	Frecuencia	Porcentaje
San Borja	134	44.67%
Surquillo	3	1.00%
Surco	163	54.33%
	300	100.00%

Tabla 22 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 3

Fuente: Elaboración propia

- La distribución de IPRESS elegidas para atender a los pacientes de los accidentes en el escenario 3 es como se muestra a continuación:

Nombre de la IPRESS	Frecuencia	Porcentaje
IPRESS1	23	7.67%
IPRESS2	40	13.33%
IPRESS3	71	23.67%
IPRESS4	120	40.00%
IPRESS5	46	15.33%
	300	100.00%

Tabla 23 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 3

Fuente: Elaboración propia

5.4 Escenario 4: Ruteo sin reglas actuales de IPRESS y sin relocalización

En el presente acápite se desarrollará una propuesta sin considerar las actuales reglas de las ambulancias y sus atenciones; es decir, esta opción representa una integración de la Red de Salud total y completa. Es decir, no existen restricciones sobre a dónde pueden llevar o no las ambulancias del SAMU a sus pacientes.

Esta situación se basa en un plan que ya se está desarrollando actualmente en el país, dicho plan se llama Redes Integradas de Salud (RIS-SALUD). Este programa lleva un par de años y se proyecta deba completarse en el 2025 según lo indicado en su página web.

La RIS-SALUD se define como:

Conjunto de organizaciones que presta, o hace los arreglos institucionales para prestar una cartera de atención de salud equitativa e integral a una población definida, a través de la articulación, coordinación y complementación, y que rinde cuentas por los resultados sanitarios y administrativos y por el estado de salud de la población a la que sirve.*.

* Ley N° 30885

La RIS en su ámbito territorial se articula con los diferentes actores sociales, sectores, órganos de gobierno nacional, regional y local, para tomar acuerdos, mancomunar esfuerzos y recursos para el abordaje de los determinantes sociales de la salud. (RIS-SALUD, 2023) [39]

El plan de acción de la RIS se muestra a continuación:

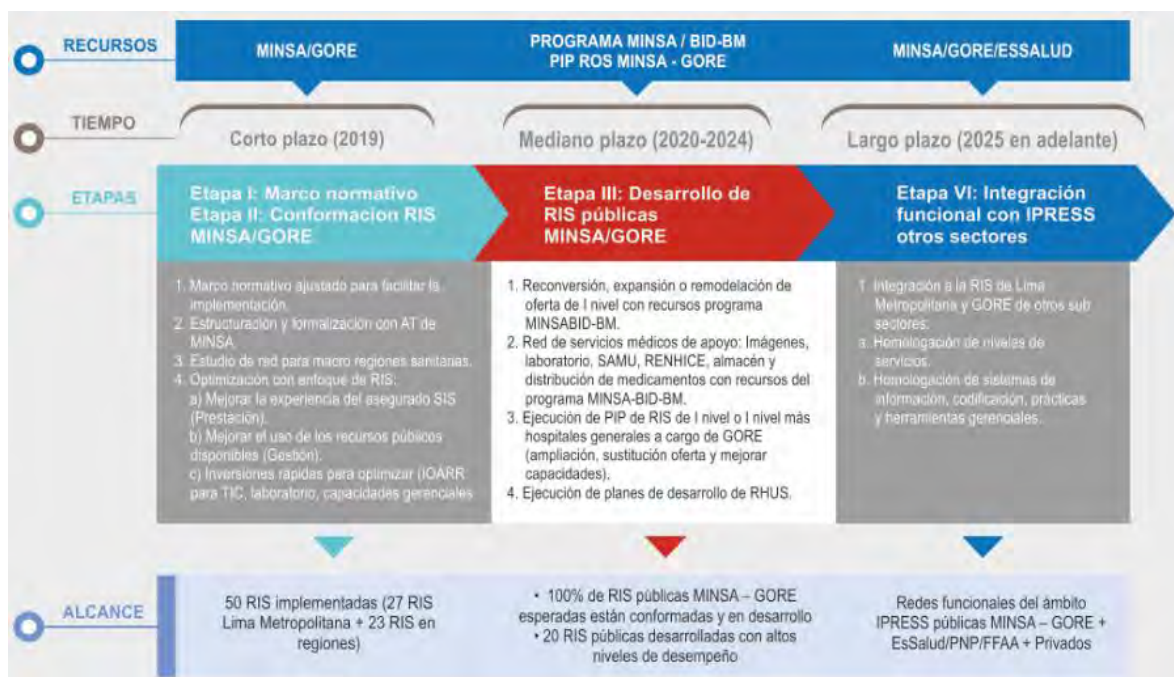


Figura 16 Plan de acción de la RIS en el corto, mediano y largo plazo

Fuente: RIS-SALUD Perú

En base a este plan se crearon los siguientes escenarios.

5.4.1 Consideraciones

En este caso, la zona de estudio continúa siendo el distrito de San Borja, las bases y hospitales con los cuales se trabajarán en esta solución. En este caso se utilizarán las 12 IPRESS que serán nombradas en el presente acápite y se utilizarán las mismas 3 bases del SAMU para la evaluación, las cuales son las bases de San Borja, Suco y Surquillo, esto debido a que son las que se cuentan con una mayor proximidad al distrito y también poseen los mayores valores de probabilidad de atención según la tabla N° 8, representando los 3 primeros valores de dicha tabla.

La lista total de las IPRESS a utilizar en el presente escenario es como se muestra a continuación:

N°	Nombre de la IPRESS	Categoría	Dirección
1	Instituto Nacional de Salud del Niño	III-2	Avenida Agustín de la Rosa Toro 1399
2	Policlínica Naval de San Borja	I-3	Fray Angélico 390
3	Clínica Santa Lucía II	II-E	Avenida Guardia Civil 301
4	Clínica Oncosalud San Borja	II-E	Avenida Guardia Civil 571
5	Clínica San Borja	III-A	Avenida Guardia Civil 337
6	Clínica Internacional	II-2	Avenida Guardia Civil 421
7	Clínica Especialidades Médicas	II-1	Jirón Eduardo Ordoñez 468
8	Clínica Vesalio	II-2	Jirón Joseph Thomson 140
9	Clínica Fleming	II-E	Jirón Alexander Fleming 103
10	Clínica Continental	II-E	Avenida San Borja Sur 526
11	Clínica Santa Isabel II	II-E	Avenida Guardia Civil 135
12	Clínica Novo Q	III-E	Avenida de las artes sur 193

Tabla 24 IPRESS consideradas en el escenario 4

Fuente: Elaboración propia

Las IPRESS que se adicionaron a las 5 iniciales consideradas en los escenarios 1, 2 y 3 actualmente no cuentan con un convenio con el SAMU, es por eso que no se consideraron en dichos escenarios, sin embargo, el presente escenario y los que siguen suponen una integración del sistema de Salud, motivo por el cual sí serán consideradas en los siguientes escenarios.

Luego de resaltar estos nuevos puntos en el mapa de San Borja en Python se obtiene el siguiente resultado:

Leyenda:

- Bases del SAMU
- ✚ Hospitales considerados en el escenario 4

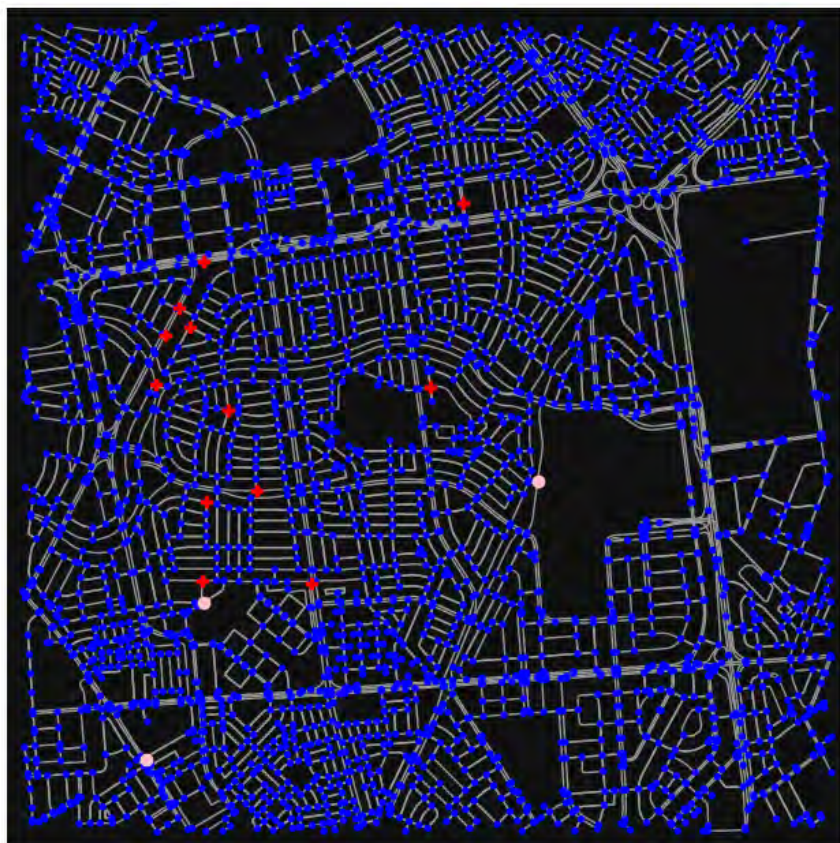


Figura 17 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU y hospitales del Escenario 4

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Resultados escenario 4

En el escenario 4, luego de que se probaran los 300 puntos se obtuvieron los siguientes resultados, algunos de estos resultados se muestran a continuación:

Accident	distance_base_accident	distance_accident_hosp	total_distance	chosen_base	chosen_hospital
accidente_1	3010.947	718.796	3729.743	San Borja	Clínica Santa Isabel II
accidente_2	2719.161	466.756	3185.917	San Borja	Clínica Santa Isabel II
accidente_3	2843.999	626.632	3470.631	San Borja	Clínica Santa Isabel II
accidente_4	2769.569	636.073	3405.642	San Borja	Clínica Santa Isabel II
accidente_5	2836.328	1476.758	4313.086	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_6	3174.447	1015.17	4189.617	Surco	Instituto Nacional del Niño

accidente_7	2914.582	546.644	3461.226	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_8	3470.517	1089.225	4559.742	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_9	2222.471	1913.705	4136.176	Surco	Policlínico Naval
accidente_10	1602.164	1921.635	3523.799	Surco	Policlínico Naval
accidente_11	1349.746	422.345	1772.091	San Borja	Clínica Oncosalud
accidente_12	1626.666	1711.877	3338.543	Surco	Policlínico Naval
accidente_13	1759.018	1408.554	3167.572	Surco	Policlínico Naval
accidente_14	1804.284	2589.788	4394.072	Surco	Policlínico Naval
accidente_15	1742.064	2166.479	3908.543	Surco	Clínica Especialidades Medicas
accidente_16	2615.267	1451.249	4066.516	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_17	3451.376	1478.783	4930.159	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_18	2226.844	510.656	2737.5	San Borja	Clínica San Borja
accidente_19	2363.925	344.762	2708.687	San Borja	Clínica Santa Lucia II
accidente_20	785.413	643.302	1428.715	San Borja	Clínica Fleming
accidente_21	640.714	291.771	932.485	San Borja	Clínica Especialidades Medicas
accidente_22	1241.154	714.322	1955.476	Surco	Clínica Especialidades Medicas
accidente_23	1209.016	862.368	2071.384	Surco	Clínica Especialidades Medicas
accidente_24	1552.379	760.267	2312.646	Surco	Clínica Especialidades Medicas
accidente_25	1971.025	2756.701	4727.726	Surco	Policlínico Naval
accidente_26	2157.042	2839.015	4996.057	Surco	Policlínico Naval
accidente_27	1755.967	1879.895	3635.862	Surco	Policlínico Naval
accidente_28	3586.972	1396.521	4983.493	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_29	3182.857	1683.322	4866.179	Surco	Instituto Nacional del Niño
accidente_30	1884.234	501.947	2386.181	San Borja	Clínica Novo Q
accidente_31	2010.801	786.658	2797.459	Surco	Clínica Novo Q
accidente_32	1542.22	548.952	2091.172	Surco	Policlínico Naval
accidente_33	1344.64	802.15	2146.79	Surco	Policlínico Naval
accidente_34	1715.943	888.812	2604.755	Surco	Policlínico Naval
accidente_35	1785.901	958.77	2744.671	Surco	Policlínico Naval
accidente_36	1856.917	1313.45	3170.367	Surco	Policlínico Naval
accidente_37	2387.98	1370.543	3758.523	Surco	Clínica Santa Isabel II
accidente_38	1947.8	1839.614	3787.414	Surco	Policlínico Naval
accidente_39	1635.696	1285.232	2920.928	Surco	Policlínico Naval
accidente_40	1833.744	1291.254	3124.998	Surco	Policlínico Naval
accidente_41	2719.161	466.756	3185.917	San Borja	Clínica Santa Isabel II
accidente_42	2230.17	1244.079	3474.249	Surco	Policlínico Naval
accidente_43	2905.081	1252.743	4157.824	Surco	Clínica Santa Isabel II
accidente_44	2905.081	1252.743	4157.824	Surco	Clínica Santa Isabel II
accidente_45	2738.941	1206.02	3944.961	Surco	Clínica Santa Isabel II
accidente_46	1827.146	1364.865	3192.011	Surco	Policlínico Naval
accidente_47	1859.712	1032.581	2892.293	Surco	Policlínico Naval

accidente_48	1785.901	958.77	2744.671	Surco	Policlínico Naval
accidente_49	1567.598	1025.108	2592.706	Surco	Policlínico Naval
accidente_50	1549.128	1006.638	2555.766	Surco	Policlínico Naval

Tabla 25 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 4

Fuente: Elaboración propia

- La distancia promedio que se recorrieron las unidades del SAMU desde sus bases elegidas hasta el sitio de la emergencia es de 1,503.10 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 591.22 metros en el escenario 4. Este valor se mantiene constante debido a que no han cambiado ni las bases del SAMU ni su cantidad a considerar.
- La distancia promedio que recorrieron las unidades del SAMU desde el sitio de la emergencia hasta las IPRESS's elegidas es de 1,037.73 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 791.44 metros para el escenario 4.
- La distancia promedio que recorrió la unidad del SAMU desde que la base elegida hasta la IPRESS elegida pasando primero por sitio de la emergencia es de 2,540.83 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 1,127.24 metros en el escenario 4.
- La distribución de bases del SAMU elegidas en los accidentes elegidos se mantiene como en el escenario 1 y el escenario 3, debido a que las bases del SAMU y la cantidad de bases se mantiene igual; es decir, igual que en la Tabla 14 y 22 respectivamente.
- La distribución de IPRESS elegidas para atender a los pacientes de los accidentes en el escenario 4 es como se muestra a continuación:

Nombre de la IPRESS	Frecuencia	Porcentaje
Clínica Santa Isabel II	10	3.33%
Instituto Nacional del Niño	8	2.67%
Policlínico Naval	105	35.00%
Clínica Oncosalud	1	0.33%
Clínica Especialidades Medicas	47	15.67%
Clínica San Borja	21	7.00%

Clínica Santa Lucia II	1	0.33%
Clínica Fleming	27	9.00%
Clínica Novo Q	41	13.67%
Clínica Continental	26	8.67%
Clínica Internacional	1	0.33%
Clínica Vesalio	12	4.00%
	300	100.00%

Tabla 26 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 4

Fuente: Elaboración propia

5.5 Escenario 5: Ruteo sin reglas actuales de IPRESS y relocalización de las bases del SAMU

En el presente acápite se desarrollará una propuesta de solución sin considerar las actuales reglas de las ambulancias y sus atenciones; es decir, esta opción representa una integración de la Red de Salud total y completa. Es decir, no existen restricciones sobre a dónde pueden llevar o no las ambulancias del SAMU a sus pacientes y solo se utilizará el algoritmo de relocalización en las bases del SAMU.

5.5.1 Consideraciones

En este caso se utilizarán las 12 IPRESS que fueron nombradas anteriormente y se aplicará el algoritmo de relocalización en las 3 bases del SAMU para la evaluación.

Con las 3 nuevas coordenadas de las bases del SAMU se procederá a correr el algoritmo de Dijkstra con los 300 puntos para evaluar este escenario.

5.5.2 Resultados escenario 5

A continuación, se muestran las nuevas coordenadas de las bases relocalizadas luego de correr el algoritmo de relocalización en Python.

Nombre de la base del SAMU	Latitud	Longitud
Base1	-12.09203233	-76.99943271
Base2	-12.09231641	-76.98971053
Base3	-12.10748943	-77.00461689

Tabla 27 Bases del SAMU reubicadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 5

Fuente: Elaboración propia

Luego de resaltar estos puntos en el mapa de San Borja en Python se obtiene el siguiente resultado:

Leyenda:

- Bases del SAMU
- ✚ Hospitales considerados en el escenario 5



Figura 18 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU relocalizadas e IPRESS del Escenario 5

Fuente: Elaboración propia

En el escenario 5, luego de que se probaran los 300 puntos se obtuvieron los siguientes resultados, algunos de estos resultados se muestran a continuación:

accident	distance_ base_	distance_ accident_	total_ distance	chosen_ base	chosen_hospital
----------	--------------------	------------------------	--------------------	-----------------	-----------------

	accident	hosp			
accidente_1	1968.734	718.796	2687.53	Base1	Clínica Santa Isabel II
accidente_2	1697.78	466.756	2164.536	Base1	Clínica Santa Isabel II
accidente_3	1379.105	626.632	2005.737	Base1	Clínica Santa Isabel II
accidente_4	1148.06	636.073	1784.133	Base1	Clínica Santa Isabel II
accidente_5	1766.218	1476.758	3242.976	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_6	2104.337	1015.17	3119.507	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_7	1844.472	546.644	2391.116	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_8	2400.407	1089.225	3489.632	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_9	1214.211	1913.705	3127.916	Base2	Policlínico Naval
accidente_10	985.011	1921.635	2906.646	Base2	Policlínico Naval
accidente_11	1482.2	422.345	1904.545	Base3	Clínica Oncosalud
accidente_12	775.253	1711.877	2487.13	Base2	Policlínico Naval
accidente_13	662.604	1408.554	2071.158	Base2	Policlínico Naval
accidente_14	2758.831	2589.788	5348.619	Base2	Policlínico Naval
accidente_15	2541.374	2166.479	4707.853	Base3	Clínica Especialidades Medicas
accidente_16	1545.157	1451.249	2996.406	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_17	2381.266	1478.783	3860.049	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_18	991.647	510.656	1502.303	Base1	Clínica San Borja
accidente_19	1510.511	344.762	1855.273	Base1	Clínica Santa Lucia II
accidente_20	1266.672	643.302	1909.974	Base3	Clínica Fleming
accidente_21	492.185	291.771	783.956	Base3	Clínica Especialidades Medicas
accidente_22	1328.853	714.322	2043.175	Base3	Clínica Especialidades Medicas
accidente_23	1305.842	862.368	2168.21	Base3	Clínica Especialidades Medicas
accidente_24	1164.406	760.267	1924.673	Base3	Clínica Especialidades Medicas
accidente_25	2545.15	2756.701	5301.851	Base2	Policlínico Naval
accidente_26	2400.07	2839.015	5239.085	Base2	Policlínico Naval
accidente_27	1014.012	1879.895	2893.907	Base2	Policlínico Naval
accidente_28	2516.862	1396.521	3913.383	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_29	2112.747	1683.322	3796.069	Base1	Instituto Nacional del Niño
accidente_30	656.668	501.947	1158.615	Base1	Clínica Novo Q
accidente_31	361.869	786.658	1148.527	Base1	Clínica Novo Q
accidente_32	796.822	548.952	1345.774	Base1	Policlínico Naval
accidente_33	353.548	802.15	1155.698	Base2	Policlínico Naval
accidente_34	785.374	888.812	1674.186	Base1	Policlínico Naval
accidente_35	855.332	958.77	1814.102	Base1	Policlínico Naval
accidente_36	912.632	1313.45	2226.082	Base2	Policlínico Naval
accidente_37	1317.87	1370.543	2688.413	Base1	Clínica Santa Isabel II

accidente_38	851.386	1839.614	2691	Base2	Policlínico Naval
accidente_39	539.282	1285.232	1824.514	Base2	Policlínico Naval
accidente_40	762.726	1291.254	2053.98	Base2	Policlínico Naval
accidente_41	1697.78	466.756	2164.536	Base1	Clínica Santa Isabel II
accidente_42	521.874	1244.079	1765.953	Base1	Policlínico Naval
accidente_43	1533.028	1252.743	2785.771	Base1	Clínica Santa Isabel II
accidente_44	1533.028	1252.743	2785.771	Base1	Clínica Santa Isabel II
accidente_45	1486.305	1206.02	2692.325	Base1	Clínica Santa Isabel II
accidente_46	730.732	1364.865	2095.597	Base2	Policlínico Naval
accidente_47	929.143	1032.581	1961.724	Base1	Policlínico Naval
accidente_48	855.332	958.77	1814.102	Base1	Policlínico Naval
accidente_49	623.313	1025.108	1648.421	Base2	Policlínico Naval
accidente_50	558.036	1006.638	1564.674	Base2	Policlínico Naval

Tabla 28 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 5

Fuente: Elaboración propia

- La distancia promedio que se recorrieron las unidades del SAMU desde sus bases elegidas hasta el sitio de la emergencia es de 1,265.96 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 674.89 metros en el escenario 5.
- La distancia promedio que recorrieron las unidades del SAMU desde el sitio de la emergencia hasta las IPRESS's elegidas es de 1,037.73 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 791.44 metros en el escenario 5.
- La distancia promedio que recorrió la unidad del SAMU desde que la base elegida hasta la IPRESS elegida pasando primero por sitio de la emergencia es de 2,303.70 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 1,338.59 metros en el escenario 5.
- La distribución de bases del SAMU elegidas en los accidentes elegidos es como se muestra a continuación:

Base	Frecuencia	Porcentaje
Base1	109	36.33%
Base2	93	31.00%
Base3	98	32.67%
	300	100.00%

Tabla 29 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 5

Fuente: Elaboración propia

- La distribución de IPRESS elegidas para atender a los pacientes de los accidentes en el escenario 5 es como se muestra a continuación:

Nombre de la IPRESS	Frecuencia	Porcentaje
Clínica Santa Isabel II	10	3.33%
Instituto Nacional del Niño	8	2.67%
Policlínico Naval	105	35.00%
Clínica Oncosalud	1	0.33%
Clínica Especialidades Medicas	47	15.67%
Clínica San Borja	21	7.00%
Clínica Santa Lucia II	1	0.33%
Clínica Fleming	27	9.00%
Clínica Novo Q	41	13.67%
Clínica Continental	26	8.67%
Clínica Internacional	1	0.33%
Clínica Vesalio	12	4.00%
	300	100.00%

Tabla 30 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 5

Fuente: Elaboración propia

5.6 Escenario 6: Ruteo sin reglas actuales de IPRESS y relocalización de las IPRESS

En el presente acápite se desarrollará una propuesta de solución sin considerar las actuales reglas de las ambulancias y sus atenciones; es decir, esta opción representa una integración de la Red de Salud total y completa. Es decir, no existen restricciones sobre a dónde pueden llevar o no las ambulancias del SAMU a sus pacientes y solo se utilizará el algoritmo de relocalización en las IPRESS.

5.6.1 Consideraciones

En este caso se utilizarán las 3 bases del SAMU que se usaron en el escenario 1 y 3; es decir, San Borja, Surco y Surquillo y se aplicará el algoritmo de relocalización en las 12 IPRESS para la evaluación.

Con las 12 nuevas coordenadas de las IPRESS se procederá a correr el algoritmo de Dijkstra con los 300 puntos para evaluar este escenario.

5.6.2 Resultados escenario 6

A continuación, se muestran las nuevas coordenadas de las IPRESS relocalizadas luego de correr el algoritmo de relocalización en Python.

Nombre de la IPRESS	Latitud	Longitud
IPRESS1	-12.08595788	-77.00698466
IPRESS2	-12.08581725	-77.00210919
IPRESS3	-12.08788457	-76.98751853
IPRESS4	-12.09231641	-76.98971053
IPRESS5	-12.09031149	-76.98262859
IPRESS6	-12.09371776	-76.98453981
IPRESS7	-12.09673339	-76.98336732
IPRESS8	-12.09857132	-77.01117504
IPRESS9	-12.09728324	-77.0076494
IPRESS10	-12.09753728	-77.00414369
IPRESS11	-12.0988237	-76.99876147
IPRESS12	-12.10322386	-77.00357943

Tabla 31 IPRESS reubicadas con sus coordenadas de latitud y longitud del escenario 6

Fuente: Elaboración propia

Luego de resaltar estos puntos en el mapa de San Borja en Python se obtiene el siguiente resultado:

Leyenda:

- Bases del SAMU
- ✚ Hospitales que atienden al SAMU

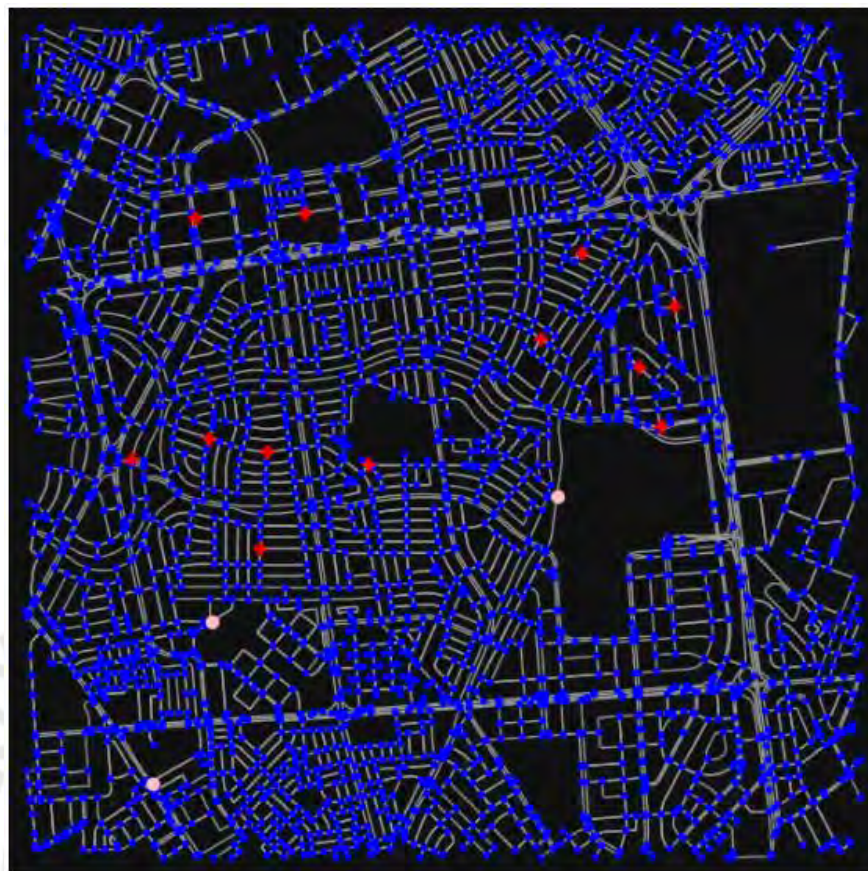


Figura 19 Mapa del distrito de San Borja con las bases del SAMU e IPRESS relocalizadas del Escenario 6

Fuente: Elaboración propia

En el escenario 3, luego de que se probaran los 300 puntos se obtuvieron los siguientes resultados, algunos de estos resultados se muestran a continuación:

accident	distance_base_accident	distance_accident_hosp	total_distance	chosen_base	chosen_hospital
accidente_1	3010.947	643.642	3654.589	San Borja	IPRESS1
accidente_2	2719.161	391.602	3110.763	San Borja	IPRESS1
accidente_3	2843.999	224.58	3068.579	San Borja	IPRESS1
accidente_4	2769.569	565.781	3335.35	San Borja	IPRESS1
accidente_5	2836.328	867.887	3704.215	Surco	IPRESS2
accidente_6	3174.447	1647.152	4821.599	Surco	IPRESS2
accidente_7	2914.582	1825.34	4739.922	Surco	IPRESS2

accidente_8	3470.517	1277.763	4748.28	Surco	IPRESS5
accidente_9	2222.471	436.316	2658.787	Surco	IPRESS3
accidente_10	1602.164	399.474	2001.638	Surco	IPRESS5
accidente_11	1349.746	19.811	1369.557	San Borja	IPRESS8
accidente_12	1626.666	276.2	1902.866	Surco	IPRESS3
accidente_13	1759.018	332.583	2091.601	Surco	IPRESS3
accidente_14	1804.284	1626.798	3431.082	Surco	IPRESS7
accidente_15	1742.064	2248.408	3990.472	Surco	IPRESS7
accidente_16	2615.267	855.761	3471.028	Surco	IPRESS2
accidente_17	3451.376	1745.501	5196.877	Surco	IPRESS2
accidente_18	2226.844	657.763	2884.607	San Borja	IPRESS2
accidente_19	2363.925	628.82	2992.745	San Borja	IPRESS1
accidente_20	785.413	584.144	1369.557	San Borja	IPRESS8
accidente_21	640.714	624.405	1265.119	San Borja	IPRESS12
accidente_22	1241.154	611.74	1852.894	Surco	IPRESS11
accidente_23	1209.016	1273.689	2482.705	Surco	IPRESS11
accidente_24	1552.379	1295.844	2848.223	Surco	IPRESS11
accidente_25	1971.025	1458.509	3429.534	Surco	IPRESS7
accidente_26	2157.042	1293.459	3450.501	Surco	IPRESS7
accidente_27	1755.967	414.712	2170.679	Surco	IPRESS3
accidente_28	3586.972	1601.444	5188.416	Surco	IPRESS5
accidente_29	3182.857	1829.39	5012.247	Surco	IPRESS2
accidente_30	1884.234	695.759	2579.993	San Borja	IPRESS9
accidente_31	2010.801	798.882	2809.683	Surco	IPRESS10
accidente_32	1542.22	942.03	2484.25	Surco	IPRESS4
accidente_33	1344.64	353.548	1698.188	Surco	IPRESS4
accidente_34	1715.943	907.928	2623.871	Surco	IPRESS4
accidente_35	1785.901	977.886	2763.787	Surco	IPRESS4
accidente_36	1856.917	849.324	2706.241	Surco	IPRESS3
accidente_37	2387.98	628.474	3016.454	Surco	IPRESS2
accidente_38	1947.8	337.839	2285.639	Surco	IPRESS3
accidente_39	1635.696	256.576	1892.272	Surco	IPRESS3
accidente_40	1833.744	534.994	2368.738	Surco	IPRESS3
accidente_41	2719.161	391.602	3110.763	San Borja	IPRESS1
accidente_42	2230.17	1372.064	3602.234	Surco	IPRESS2
accidente_43	2905.081	324.236	3229.317	Surco	IPRESS2
accidente_44	2905.081	324.236	3229.317	Surco	IPRESS2
accidente_45	2738.941	277.513	3016.454	Surco	IPRESS2
accidente_46	1827.146	467.235	2294.381	Surco	IPRESS3
accidente_47	1859.712	1051.697	2911.409	Surco	IPRESS4
accidente_48	1785.901	977.886	2763.787	Surco	IPRESS4

accidente_49	1567.598	623.313	2190.911	Surco	IPRESS4
accidente_50	1549.128	558.036	2107.164	Surco	IPRESS4

Tabla 32 Muestra del reporte obtenido del programa en Python del escenario 6

Fuente: Elaboración propia

- La distancia promedio que se recorrieron las unidades del SAMU desde sus bases elegidas hasta el sitio de la emergencia es de 1,503.10 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 591.22 metros en el escenario 6.
- La distancia promedio que recorrieron las unidades del SAMU desde el sitio de la emergencia hasta las IPRESS's elegidas es de 830.82 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 602.79 metros en el escenario 6.
- La distancia promedio que recorrió la unidad del SAMU desde que la base elegida hasta la IPRESS elegida pasando primero por sitio de la emergencia es de 2,333.92 metros, la desviación estándar muestral de estas distancias recorridas fue de 917.38 metros en el escenario 6.
- La distribución de bases del SAMU elegidas en los accidentes elegidos es como se muestra a continuación:

Base	Frecuencia	Porcentaje
San Borja	134	44.67%
Surquillo	3	1.00%
Surco	163	54.33%
	300	100.00%

Tabla 33 Distribución de bases del SAMU elegidas para atender emergencias en el escenario 6

Fuente: Elaboración propia

- La distribución de IPRESS elegidas para atender a los pacientes de los accidentes en el escenario 6 es como se muestra a continuación:

Nombre del Accidente	Frecuencia	Porcentaje
IPRESS1	13	4.33%

IPRESS2	26	8.67%
IPRESS3	21	7.00%
IPRESS4	21	7.00%
IPRESS5	13	4.33%
IPRESS6	4	1.33%
IPRESS7	34	11.33%
IPRESS8	11	3.67%
IPRESS9	34	11.33%
IPRESS10	26	8.67%
IPRESS11	58	19.33%
IPRESS12	39	13.00%
	300	100.00%

Tabla 34 Distribución de IPRESS elegidas para atender emergencias en el escenario 6

Fuente: Elaboración propia



Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

En el presente acápite se describirán las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a partir de los resultados de los 6 escenarios en comparación con la situación actual.

6.1 Conclusiones

La presente investigación contempla el problema del ruteo de ambulancias del Sistema de Asistencia Móvil de Urgencia (SAMU) en el distrito de San Borja, perteneciente a la ciudad de Lima. Para ello se analizó la problemática inicial en función a la normativa vigente, la asignación de los recursos (ambulancias) en las diferentes bases y las distancias recorridas. En función a eso se plantearon 6 escenarios que podrían ayudar a resolver la problemática actual, tres (03) que consideran la normativa vigente y las reglas de asignación de emergencias; es decir, con una baja integración del sistema de salud y sus diferentes actores involucrados y los otros tres (03) escenarios contemplan una integración completa del sistema de salud y sus diferentes actores involucrados.

El escenario 1 representa una solución a corto plazo que no involucra un cambio del sistema de salud y sus dinámicas en cuestión en este tipo de atenciones. Los cambios pueden resultar difíciles al comienzo y suelen requerir una cantidad considerable de tiempo desde que se proponen hasta que se ven realizados en su totalidad, es por eso que se planteó el escenario 1, para poder mejorar la situación actual en lo que se plantea implementar el plan de las RIS-SALUD ya mencionadas en acápites anteriores pero en un plazo considerable, ya que el escenario 1 representa una solución computarizada sobre la ruta a elegir por las unidades del SAMU desde sus bases hasta los lugares donde se suscitaron las emergencias y hasta las IPRESS que son capaces de atender emergencias de estos tipos y que pueden atender al SAMU, se puede asumir que es mejor que las distancias recorridas por las unidades basándose en los criterios de elección de ruta mencionados anteriormente. El escenario 1 es el único que puede ser aplicable en el corto a mediano plazo debido a la sencillez de su implementación.

El escenario 2 representa una solución de mediano a largo plazo, porque esto involucra la reubicación de las estaciones bases del SAMU, lo cual puede involucrar el arrendamiento o compra de terrenos, construcción, adaptaciones de uso, costos que no han sido considerados como un factor decisor dentro de la presente investigación, sin embargo, sí son decisores en la operativa real del sistema que tendrían que ser asumidos en su totalidad o parcialmente por el MINSA, ya que el SAMU pertenece a dicho ministerio. En este escenario también se respeta la operativa e integración actual del Sistema de Salud; es decir, la misma que en el escenario 1. En adición, la reubicación de las bases del SAMU hace posible que se pueda recorrer menor distancia en lo que respecta desde estas nuevas ubicaciones hasta los sitios de los accidentes. La distancia que se recorre desde los accidentes hasta las IPRESS no cambia debido a que estos siguen siendo los mismos.

El escenario 3 representa una solución de mediano a largo plazo, porque esto involucra la reubicación de las IPRESS, lo cual puede involucrar el arrendamiento o compra de terrenos, construcción, adaptaciones de uso, costos que no han sido considerados como un factor decisor dentro de la presente investigación, sin embargo, sí son decisores en la operativa real del sistema que tendrían que ser asumidos por las IPRESS en caso de ser privadas o de ESSALUD o el MINSA dependiendo del caso y a qué dependencia pertenezca la IPRESS en cuestión. En este escenario también se respeta la operativa e integración actual del Sistema de Salud; es decir, la misma que en el escenario 1. En adición, la reubicación de las IPRESS hace posible que se pueda recorrer menor distancia en lo que respecta desde los lugares de los accidentes hasta estas nuevas ubicaciones de las IPRESS. La distancia que se recorre desde las bases del SAMU hasta los lugares de los accidentes no cambia debido a que estos siguen siendo los mismos.

El escenario 4 representa una solución de mediano a largo plazo, porque esto involucra el cumplimiento del plan de las RIS-SALUD. Si bien es cierto este cambio se encuentra en ruta, puede que su despliegue total y funcional tome más tiempo del que esté calculado o presupuestado, pero se puede observar que esta integración del sistema de salud ofrece más oportunidades (IPRESS) que pueden

ser elegibles para atender las emergencias que se susciten no solo en el distrito de San Borja sino también en cualquier ciudad con cobertura del SAMU. El escenario 4, además de representar la integración del sistema de salud también implica una herramienta tecnológica que ayudará a los conductores de las unidades del SAMU a elegir la mejor ruta en cuestión de distancias. En adición, la adición de nuevas IPRESS hace posible que se pueda recorrer menor distancia en lo que respecta desde las ubicaciones de los accidentes hasta todas las IPRESS. La distancia que se recorre desde las bases del SAMU hasta los lugares de los accidentes no cambia debido a que estos siguen siendo los mismos.

El escenario 5 representa una solución de mediano a largo plazo, porque esto involucra el cumplimiento del plan de las RIS-SALUD y en adición involucra la reubicación de las bases del SAMU, lo cual puede involucrar el arrendamiento o compra de terrenos, construcción, adaptaciones de uso, costos que no han sido considerados como un factor decisor dentro de la presente investigación, sin embargo, sí son decisores en la operativa real del sistema que tendrían que ser asumidos por las IPRESS en caso de ser privadas o de ESSALUD o el MINSA dependiendo del caso y a qué dependencia pertenezca la IPRESS en cuestión. En este escenario también se considera una integración completa del sistema de salud y sus actores; es decir, la misma que en el escenario 4. En adición, la reubicación de las bases del SAMU hace posible que se pueda recorrer menor distancia en lo que respecta desde estas nuevas ubicaciones hasta los lugares de los accidentes y también desde estos sitios hasta las IPRESS, que ahora han aumentado.

El escenario 6 representa una solución de mediano a largo plazo, porque esto involucra el cumplimiento del plan de las RIS-SALUD y en adición involucra la reubicación de las IPRESS, lo cual puede involucrar el arrendamiento o compra de terrenos, construcción, adaptaciones de uso, costos que no han sido considerados como un factor decisor dentro de la presente investigación, sin embargo, sí son decisores en la operativa real del sistema que tendrían que ser asumidos en su totalidad o parcialmente por el MINSA, ya que el SAMU pertenece a dicho ministerio. En este escenario también se considera una integración completa del sistema de

salud y sus actores; es decir, la misma que en el escenario 4. En adición, la reubicación de las bases del SAMU hace posible que se pueda recorrer menor distancia en lo que respecta desde estas nuevas ubicaciones hasta los lugares de los accidentes y también desde estos sitios hasta las IPRESS, que ahora han aumentado.

Si bien es cierto, el algoritmo Dijkstra solo considera distancias, estas están estrechamente relacionadas con el tiempo que se demoren las unidades en recorrerlas. En adición, las ambulancias al ser unidades de emergencia pueden evitar el tráfico ya que cuentan con permisos de circulación especiales; es decir, siempre se debe ceder el paso a las ambulancias.

En materia de distancias recorridas, se muestra a continuación los resultados obtenidos en los seis escenarios previamente descritos.

	Base-Accidente	Dev. Estandar	Accidente-IPRESS	Dev. Estandar	Distancia Total	Dev. Estandar
Escenario 1	1503.1	591.22	1359.77	705.81	2862.86	940.45
Escenario 2	1265.96	674.89	1359.77	705.81	2625.73	1243.55
Escenario 3	1503.1	591.22	1141.48	756.55	2644.58	1056.19
Escenario 4	1503.1	591.22	1037.73	791.44	2540.83	1127.24
Escenario 5	1265.96	674.89	1037.73	791.44	2303.7	1338.59
Escenario 6	1503.1	591.22	830.82	602.79	2333.92	917.38

Tabla 35 Comparación de resultados obtenidos por los 6 escenarios contemplados

Fuente: Elaboración propia

En base a lo observado en la tabla anterior, se puede ver que hay algunos escenarios que muestran valores similares en casos en los que tienen algún parámetro similar.

En el caso de la distancia recorrida desde las bases del SAMU, sean las actuales o las propuestas, el que presenta una menor distancia recorrida es el escenario 2 y 5, esto debido a que en estos 2 escenarios se realizó la relocalización de las bases

del SAMU, por lo que se puede intuir que la distancia disminuiría si es que se relocalizaran las bases y que las ubicaciones actuales de las bases del SAMU hacen que estas distancias sean grandes.

En el caso de la distancia recorrida desde los lugares de los accidentes hasta las IPRESS, sean las actuales o las propuestas, el que presenta una menor distancia recorrida es el escenario 6, esto debido a que en este escenario se han reubicado las IPRESS y esto hace que se encuentren más cerca de las emergencias; en adición, ya que se aumentaron de 5 a 12 IPRESS las distancias disminuyen al haber más opciones para poder llevar a los pacientes, por lo que se puede intuir que a mayor cantidad de IPRESS bien ubicadas, la distancia disminuye.

En el caso de la Distancia Total recorrida de todos los escenarios, el que presenta una menor distancia recorrida es el escenario 5. Debido a que esta distancia es la suma de las dos distancias anteriormente mencionadas, se utilizará este valor para determinar el escenario ideal. El escenario 5 contempla la relocalización de las bases del SAMU actuales, con la implementación final y completa de las RIS-SALUD. El valor de distancia total del escenario 5 es de 2,303.7 metros que respecto a los 2,862.86 metros del escenario 1 representa un 80.47%; es decir, que es una mejor del 19.53%. Esta disminución en la distancia total recorrida se traduce en menos tiempo de traslado y mayores probabilidades de supervivencia del paciente.

Como se mencionó en el párrafo anterior, la mejor decisión sería la implementación del escenario 5 a la problemática actual.

En suma, el algoritmo Dijkstra desarrollado no presenta una mayor complejidad o dificultad en su uso, con una capacitación corta y un par de pruebas quedaría listo para que el personal del SAMU que contesta las llamadas lo pueda utilizar para comenzar a agilizar las operaciones que realizan en su día a día. Además, que el algoritmo es muy versátil y es capaz de incorporar más bases o IPRESS que atiendan a los pacientes según como se vayan desarrollando estos a lo largo del tiempo, además se puede usar para escenarios de 1 en 1 que es normalmente la operativa que se maneja porque emergencia que es comunicada, emergencia que

es atendida, también se puede configurar para probar una cantidad determinada de puntos o accidentes.

Si bien es cierto el algoritmo considera los vértices de la red como puntos de destino, en la vida real estos representan un cruce de calles o avenidas, no siempre son estos los sitios exactos de los accidentes, el algoritmo realiza una aproximación a la esquina o nodo más cercano incluido en su programación, esto no supone un mayor cambio en las distancias calculadas, ya que cada nodo cubre un radio de acción, el cual no representa una distancia considerable que pueda alterar los datos ya mencionados y presentados.

Adicionalmente, el algoritmo de relocalización podría ser utilizado para la construcción de posibles nuevas Bases del SAMU o posibles IPRESS que se puedan implementar en el distrito, teniendo en consideración que se deberán actualizar tanto las matrices de distancias, demanda y cobertura para dicho escenario, sin embargo, su uso no presenta mayor dificultad y el tiempo de capacitación requerido por el personal necesario para utilizar este algoritmo también sería mínimo.

La implementación de cualquiera de estos escenarios supone, como ya se mencionó y evidenció, una mejora en la distancia total recorrida, lo que se traduce como una mejora en el tiempo de respuesta de las ambulancias, lo que los acerca a los estándares internacionales establecidos para estos vehículos, que actualmente son de 8 minutos desde el reporte de la emergencia.

Esto supone también una mejora del sistema de salud en materia de emergencias y una mejor percepción del mismo no solo por la población en general sino también una mejor percepción del país en a nivel internacional, al mejorar sus operaciones con la implementación de herramientas computarizadas de desarrollo propio que podrían incluso adaptarse y mejorarse para que puedan extrapolarse a otros lugares del mundo con diferentes realidades, con mayores consideraciones y variables que deban ser tomadas en cuenta para la obtención de resultados más precisos.

6.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que se pueden realizar a partir de la elaboración del presente trabajo de investigación son las siguientes:

- El plan de la RIS-SALUD debe ser impulsado y apoyado por todos los involucrados en ellos. Tanto por parte del sector salud como por parte de la población y los diferentes organismos de soporte.
- Si bien es cierto que este caso de estudio se encuentra circunscrito al distrito de San Borja en la ciudad de Lima, la versatilidad del algoritmo permite la extrapolación del mismo a más sitios como otros distritos o como ciudades enteras, claro que, para este caso, se requeriría la incorporación de más bases del SAMU que estén dentro de este nuevo territorio considerado y más IPRESS que de la misma manera se encuentren dentro de este nuevo territorio a considerar.
- El algoritmo también puede extrapolarse para ser usado por otros vehículos de emergencia como bomberos o vehículos de la policía, esto claro supone la modificación del mismo, cambiando las bases del SAMU por las estaciones de bomberos o las comisarías y solo sería necesaria la primera parte del algoritmo que calcularía la distancia más corta desde las bases al lugar en el que se solicite el servicio. El empleo de este algoritmo en dichas organizaciones puede suponer un menor tiempo de atención de los bomberos y policías que también puede significar la diferencia entre la vida y la muerte de las personas. En adición, al ser también vehículos de emergencia son capaces de tener preferencias en temas de circulación, entre otros.
- No se han considerado otros factores que influyen en el cálculo de la ruta óptima como lo son: el tráfico, las horas picos o de mayor afluencia de vehículos en las calles, el estado de los vehículos de emergencia, el estado de las pistas, obras, desviaciones de ruta, eventos extraordinarios como conciertos, protestas, entre otros. La inclusión de lo ya señalado como variables extras harían que el modelo fuese más preciso y complejo

y podría arrojar mejores resultados, estas nuevas variables pueden suponer un factor de multiplicación de la distancia, generando una nueva distancia, que puede ser designada como una distancia equivalente que el algoritmo pueda considerar, ya que el algoritmo Dijkstra solo trabaja con distancias. Esto puede ser utilizado para un estudio posterior que puede suponer una mayor precisión, pero también supondría una mayor cantidad de información necesaria para encontrar o calcular estos factores mencionados, esto a su vez supone mayor complejidad del algoritmo una mayor capacidad de procesamiento de los equipos de computación que se tendrían que utilizar para ejecutarlos.

- Para la definición de la propuesta óptima que podría transformarse en un proyecto se tendrían que averiguar datos extras como los costos que supondrían mover estaciones o reubicar IPRESS para que la decisión que se tome sea con toda la información disponible de modo que no solo sea una solución operativamente óptima sino también económicamente factible.
- El constante mantenimiento y ajuste de los vehículos de emergencia y de la infraestructura vial es vital para que estos no supongan una complicación en la operativa diaria.
- Otra recomendación ajena a este trabajo de investigación, pero muy cercana a la realidad en la que se desarrollan los hechos es la cultura cívica vial de los conductores, si bien es cierto, los vehículos de emergencia cuentan con consideraciones especiales que se encuentran implementadas por ley, algunos conductores no respetan estos privilegios, lo cual supone demoras en el traslado de los pacientes, disminuyendo las probabilidades de supervivencia de los mismos de forma directa. Además, en una ciudad tan congestionada como lo es Lima Metropolitana en la que se incrementa el parque automotor a una mayor velocidad que la infraestructura vial para sostenerla, el respeto por los vehículos de emergencia debe ser primordial, para ayudar a aumentar las probabilidades de supervivencia de los pacientes.

Bibliografía

- [1] Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., & Orlin, J. B. (2013). *Network flows: Theory, algorithms, and applications* (2nd ed.). New York: Springer.
- [2] Akıncılar, A., & Akıncılar, E. (2019). A new idea for ambulance location problem in an environment under uncertainty in both path and average speed: Absolutely robust planning. *Computers & Industrial Engineering*, 137(106053), 106053.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106053>
- [3] Análisis de Situación de Salud del Perú 2019. Ministerio de Salud Gob.pe. Consulta: 10 de abril del 2023, de https://www.dge.gob.pe/portal/docs/asis/Asis_peru19.pdf
- [4] Aprueban la “Norma Técnica de Salud de la Atención Pre-Hospitalaria y Transporte Asistido de Pacientes con Diagnóstico o Sospecha de COVID-19” y modifican la “Norma Técnica de Salud para el Transporte Asistido de Pacientes por Vía Terrestre” y dejan sin efecto la R.M. N° 144-2020/MINSA-RESOLUCION MINISTERIAL-N° 346-2022/MINSA. (s/f). Elperuano.pe. Consulta: 2 de julio de 2023, de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-la-norma-tecnica-de-salud-de-la-atencion-pre-hospi-resolucion-ministerial-no-346-2022minsa-2067235-1/>
- [5] Bajo la RM 953-2006 MINSA se aprueba la NTS N°051-MINSA/OGDN-V.01 Norma técnica de Salud para el transporte asistido de pacientes vía terrestre. Consulta: 19 de junio del 2023, de https://www.inen.sld.pe/portal/documentos/pdf/normas_tecnicas/2006/1105_2010_NORMA_TECNICA_DE_SALUD_PARA_TRANSPORTE_ASISTIDO_DE_PACIENTES_POR_VIA_TERRESTRE.pdf
- [6] Boeing, G. 2017. OSMnx: New Methods for Acquiring, Constructing, Analyzing, and Visualizing Complex Street Networks. *Computers, Environment and Urban Systems* 65, 126-139.
- [7] Cabral, E. L. D. S., Castro, W. R. S., Florentino, D. R. de M., Viana, D. de A., Costa Junior, J. F. da, Souza, R. P. de, Rêgo, A. C. M., Araújo-Filho, I., &

- Medeiros, A. C. (2018). Response time in the emergency services. Systematic review. *Acta Cirurgica Brasileira*, 33(12), 1110–1121. <https://doi.org/10.1590/s0102-865020180120000009>
- [8] Church, R., ReVelle, C. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association* 32, 101–118 (1974). <https://doi.org/10.1007/BF01942293>
- [9] ¿Cómo funciona la categorización en establecimientos de salud? (2018). Edu.pe. Consulta: 1 de noviembre de 2023, de <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/como-funciona-la-categorizacion-en-establecimientos-de-salud>
- [10] Consejo Europeo, cronología del covid en Europa. Recuperado el 15 de mayo del 2023, de <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/coronavirus/timeline/>
- [11] CPI Research. Market Report Marzo 2022 (2022). Consulta: 1 de noviembre de 2023 de <https://cpi.pe/images/upload/paginaweb/archivo/23/poblacion%202022.pdf>
- [12] CREAN SISTEMA DE ATENCION MOVIL DE URGENCIA -SAMU. Gob.pe. Consulta: 10 de julio de 2023, de <http://www.hnhu.gob.pe/CUERPO/COMUNICACIONES/Noticias/2011/SAMU.pdf>
- [13] *Cronología de la respuesta de la OMS a la COVID-19*. (s/f). Who.int. Consulta: 2 de julio de 2023, de <https://www.who.int/es/news/item/29-06-2020-covidtimeline>
- [14] Daskin M. (2010). *Service Science*. University of Michigan. Consulta 20 de junio de 2024
- [15] Elperuano.pe (2023) SAMU atendió en primeros tres meses 66 mil llamadas, el 50% fueron malintencionadas. (s/f). Consultado el 24 de agosto de 2023, de <https://www.elperuano.pe/noticia/210044-samu-atendio-en-primeros-tres-meses-66-mil-llamadas-el-50-fueron-malintencionadas>
- [16] Formación, E. (s/f). *Máster en atención prehospitalaria y hospitalaria urgente*. European School Health Education. Consulta: 2 de julio de 2023, de

<https://www.esheformacion.com/pe/medicina/masters-online/master-en-atencion-prehospitalaria-y-hospitalaria-urgente>

- [17] GRAFOS. (s/f). Ugr.es. Consulta: 19 de octubre de 2023, de <https://ccia.ugr.es/~jfv/ed1/c++/cdrom4/paginaWeb/grafos.htm>
- [18] Guzmán, V. C., Sautto, J. M., de León Chapa, A., & Bayas, B. W. O. UN MODELO DE LOCALIZACIÓN DE MÁXIMA COBERTURA DIFUSO PARA EL DESPLIEGUE ÓPTIMO DE OVITRAMPAS PARA MONITOREAR EL AEDES AEGYPTI.
- [19] Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). Introducción a la investigación de operaciones (Novena edi). McGraw-Hill/Interamericana.
- [20] *Hospital de Emergencias José Casimiro Ulloa - Diferencia entre Urgencia y Emergencia*. Gob.pe. Consulta: 2 de julio de 2023, de <https://www.hejcu.gob.pe/diferencia-entre-urgencia-y-emergencia>
- [21] Ingolfsson A. EMS planning and management. International series in operations research & management science. In: Zaric Gregory S, editor. Operations research and health care policy, vol. 127. Springer; 2013. p. 105–28. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6507-2_6 [chapter 0].
- [22] IPE. (2021, febrero 9). *Inversión de pandemia*. Instituto Peruano de Economía. <https://www.ipe.org.pe/portal/inversion-de-pandemia-salud/>
- [23] Kemp, A., & Vidakovic, D. (2021). Ways secondary mathematics teachers apply definitions in Taxicab geometry for a real-life situation: Midset. *The Journal of Mathematical Behavior*, 62(100848), 100848. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2021.100848>
- [24] Kong, M. (2010). Investigación de operaciones. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://doi.org/10.18800/9789972429217> .
- [25] Kte, pi, B. M. (2023). Python (programming language). Salem Press Encyclopedia of Science.
- [26] Ministerio de Salud, (2006). RM N°386/2006, aprueba la NTS 042-MINSA/DGSP V.01 “Norma técnica de salud de los servicios de emergencia”. Consulta: 28 de junio del 2023, de

https://www.insm.gob.pe/departamentos/emergencia/archivos/RM386-2006_emergencias.pdf

- [27] Ministerio de Salud, (2011). Decreto Supremo N°017-2011-S.A. CREACIÓN DEL PROGRAMA NACIONAL "SISTEMA DE ATENCIÓN MÓVIL DE URGENCIA - SAMU". Consulta: 10 de julio del 2023, de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/242856>
- [28] Ministerio de Salud (2011). RM N°546/2011, aprueba la NTS 021-MINSA/DGSP V.03 "Norma técnica de salud Categorías de Establecimientos de Salud". Consulta: 16 de mayo del 2023, de https://cdn.gacetajuridica.com.pe/laley/NORMA%20T%C3%89CNICA%20DE%20SALUD%20N%C2%BA021-MINSA-DGSP-V.03_LALEY.pdf
- [29] Ministerio de Salud, (2019). SAMU lidera la atención prehospitalaria en caso de sismo de gran magnitud. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/28881-samu-lidera-la-atencion-prehospitalaria-en-caso-de-sismo-de-gran-magnitud>
- [30] Ministerio de Salud (2020) R.M. 144-2020-MINSA Protocolo para la recepción, organización y distribución de los traslados de los pacientes confirmados o sospechosos sintomáticos de COVID-19. Consulta: 23 de mayo del 2023, de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/574549/RM_144-2020-MINSA_Y_ANEXOS.PDF?v=1585945883
- [31] Ministerio de Salud, (2022). NTS 186-MINSA-DIGTEL-2022 norma técnica de salud de la atención pre hospitalaria y transporte asistido de pacientes con diagnóstico o sospecha de covid-19. Consulta: 25 de mayo del 2023, de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3101557/Norma%20T%C3%A9cnica%20de%20Salud%20N%C2%BA%20186-MINSA-DIGTEL-2022.pdf?v=1652533442>
- [32] Morales, J. (2022). Estudio de ubicación de las unidades básicas operativas del cuerpo general de bomberos voluntarios del Perú: caso Lima Metropolitana y Callao. Pontificia Universidad Católica del Perú.

- [33] Morales, A. (2021, abril 28). OpenStreetMap: la plataforma de mapas libre más grande del mundo. MappingGIS.
<https://mappinggis.com/2021/04/openstreetmap-la-plataforma-de-mapas-libre-mas-grande-del-mundo/>
- [34] MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN BORJA, LIMA, PERÚ: MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. Org.pe. Consulta: 15 de junio de 2024, de <https://www.ciudad.org.pe/wp-content/uploads/2020/11/FICHA-TECNICA-MUNICIPALIDAD-DISTRITAL-DE-SAN-BORJA.pdf>
- [35] N. A. Wassan and G. Nagy, "Vehicle routing problem with deliveries and pickups: modelling issues and meta-heuristics solution approaches," International Journal of Transportation, vol. 2, no. 1, pp. 95-110, 2014.
- [36] Olivos, C., & Caceres, H. (2022). Multi-objective optimization of ambulance location in Antofagasta, Chile. Transport, 37(3), 177–189.
<https://doi.org/10.3846/transport.2022.17073>
- [37] Proyecto de Ley N° 1734/2021. Consulta: 28 de junio del 2023, de https://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2022/Salud/files/proyectos_de_ley/proyecto_de_ley_1734.pdf
- [38] *Respuesta a la emergencia por COVID-19 en Perú.* (s/f). Paho.org. Consulta: 2 de julio de 2023, de <https://www.paho.org/es/respuesta-emergencia-por-covid-19-peru>
- [39] Ris-Salud. (s/f). Gob.Pe. Consulta: 5 de marzo de 2024, de <https://www.minsa.gob.pe/rissalud/>
- [40] Ríos Alarcón, A. S., Mariños Oré, C. F., Nepo Gamero, A. I., Cárdenas Zúñiga, J. D. A., & Ayma Quirita, V. A. (2021). Ambulancia McQueen: optimización de rutas para ambulancias a partir de la distancia entre el accidente y el centro de salud. Actas Del Congreso Internacional De Ingeniería De Sistemas, 159-171. <https://doi.org/10.26439/ciis2021.5583>
- [41] *Samu Perú.* (2022). [Página de Facebook] Consulta: 13 de setiembre de 2022, de https://www.facebook.com/SamuPeruMinsa/posts/1739625779724185/?locale=ms_MY

- [42] *Sistema de salud.* (s/f). Ministerio de Salud Gob.ar. Consulta: 15 de julio de 2023, de <https://salud.gob.ar/dels/entradas/sistema-de-salud>
- [43] *Solicitar atención médica en caso de emergencia - SAMU.* (s/f). Gob.pe. Consulta: 2 de julio de 2023, de <https://www.gob.pe/1013-solicitar-atencion-medica-en-caso-de-emergencia-samu>
- [44] Superintendencia Nacional de Salud (SUSALUD): Registro Nacional de IPRESS (RENIPRESS) (2023). Listado de establecimientos registrados en el RENIPRESS. Consulta. 1 de noviembre de 2023, de <http://renipress.susalud.gob.pe:8080/wb-renipress/inicio.htm#>
- [45] The Python Standard Library. (s/f). Python documentation. Consulta: 1 de noviembre de 2023, de <https://docs.python.org/3/library/index.html>
- [46] Tiempos de pandemia MINSA 2020-2021. Consulta: 30 de junio del 2023, de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/5485.pdf>
- [47] Torrubia, G. S., & Lozano Terrazas, V. M. (s/f). Algoritmo de Dijkstra. Un Tutorial Interactivo. Uib.es. Consulta: 16 de octubre de 2023, de https://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/procJenui/ProcWeb/actas2001/saalq22_3.pdf
- [48] Usos de Python: ¿qué ofrece este lenguaje de programación? (2023, julio 5). Universidad Europea. <https://universidadeuropea.com/blog/usos-python/>

Anexo Datos

Tabla 36 Matriz de Distancias utilizada en el algoritmo de relocalización

Fuente: Elaboración propia

	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C	6A	6B	6C
1A	0	900	1200	2200	2800	2400	1600	1800	2200	2400	2900	2900	3700	4300	4700	3000	2900	2200
1B	950	0	700	1800	2300	2000	1100	1300	1800	1900	2400	2500	3300	3800	4200	2400	2200	1700
1C	1800	750	0	1000	1600	1200	1800	1300	1500	1200	1700	1700	2500	4400	3600	3100	2900	2400
2A	2000	1200	750	0	1600	1200	2000	1400	1600	1200	1700	1800	2500	3100	3500	3200	2900	2500
2B	2800	2000	1500	850	0	350	2700	2100	2300	2000	2500	2500	3200	3500	2700	4200	3700	3300
2C	2800	2000	1500	950	500	0	2900	2200	2400	2000	2500	2600	3000	3400	2600	4200	3900	3300
3A	1000	1100	2000	2900	3000	2600	0	900	1300	1500	2600	2100	2800	3400	3600	1300	1000	1300
3B	2200	1600	1100	1500	2100	1700	1200	0	800	1000	1700	1600	2400	2800	3200	2300	2000	1700
3C	2500	1800	1400	1800	2400	2000	1500	350	0	950	2000	1500	2300	2700	3100	2800	2300	2100
4A	2300	1700	1200	1600	2200	1800	1800	1500	1100	0	900	700	1500	1900	2300	2600	2300	1900
4B	3000	2400	1800	2200	2800	2400	2300	1700	1900	1100	0	1000	1000	1300	1800	3500	3500	2800
4C	2900	2300	1700	2200	2700	2400	2100	1400	1400	750	800	0	1100	1500	2000	3000	2600	2700
5A	4000	3400	2800	3300	3800	3500	3200	2600	2800	2000	1000	1700	0	750	1100	4400	4400	3700
5B	3500	2900	2400	2800	3400	3000	2700	2100	2300	1700	1200	1200	850	0	900	3900	3600	3100
5C	3800	3200	2700	3100	3700	3300	3000	2400	2100	1600	1600	1400	1000	500	0	3500	3300	2800
6A	1700	2100	2900	3600	4200	3800	1200	2000	1800	2700	3500	2900	4000	3800	4100	0	700	1200
6B	1600	2000	2800	3500	4100	3700	1000	1900	1600	2600	3500	2700	4000	3700	4000	550	0	450
6C	2100	1700	2400	2900	3500	3100	1300	1400	1100	2100	2800	2200	3300	3100	3400	1000	450	0

	7A	7B	7C	8A	8B	8C	9A	9B	9C	10A	10B	10C	11A	11B	11C	12A	12B	12C
1A	2400	2700	3200	3000	2800	3400	2800	3100	3800	4000	3800	3900	3900	3800	4300	3800	4500	6000
1B	1900	2300	2700	2600	2400	3100	2300	2600	3300	4100	3300	3500	3400	3300	3800	3400	4000	5500
1C	1400	2200	2000	3300	3100	3800	2900	2500	2600	4700	4000	4300	3600	2900	3100	2800	3500	4900
2A	1500	2700	2100	3600	3200	4100	2900	2500	2600	5000	4100	4300	3700	3000	3100	2900	3200	4300
2B	2200	3000	2800	4300	4100	4800	3700	3300	3400	5800	5100	5300	4400	3700	3900	3600	4300	4000
2C	2300	3100	2900	4300	4100	4800	3700	3400	3400	5800	5100	5100	4500	3800	3900	4900	4800	3800
3A	1500	1900	2400	1600	1900	2000	1900	2200	2700	3100	2900	3100	2900	2900	3200	2900	3600	4500
3B	1300	2100	1900	2600	2400	3100	2400	2400	2500	4100	3400	3600	3500	2800	3000	2700	3300	1000
3C	1200	2000	1800	3000	2800	3500	2600	2300	2400	4500	3700	3900	3400	2700	2800	2600	3200	4000
4A	900	1700	1500	3000	2600	3500	2300	1900	2000	4400	3500	3900	3100	2400	2500	2300	2900	3400
4B	1800	2600	2100	3800	3800	4300	3100	2700	2500	4700	4400	4200	3700	3000	2800	2500	3100	3000
4C	1600	2100	1500	3300	3300	3800	2500	2100	1900	4100	3700	3500	3100	2400	2200	1900	2500	3000
5A	2700	3200	2500	4600	3900	5200	3500	3100	2900	5600	4900	5000	4100	3400	3200	2900	3300	2300
5B	2100	2600	2000	4100	3400	4600	2900	2600	2300	4500	4300	4000	3500	2900	2600	2400	3000	2500
5C	1800	2300	1700	3800	3000	4300	2600	2200	2000	4200	4000	3700	3200	2500	2300	2000	2600	2000
6A	2000	2000	2600	1200	2100	1700	2100	2400	2900	3100	3100	3100	3100	3100	3400	3100	3800	4600
6B	1800	1300	2100	1000	1400	1400	1400	1700	2200	2900	2300	2600	2400	2300	2600	2400	3000	3800
6C	1300	1000	1800	1200	1100	1600	1100	1300	1900	2800	2000	2200	2100	2000	2200	2100	2700	3500

	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C	6A	6B	6C
7A	2400	1800	1800	2200	2900	2500	1400	800	450	1400	2100	1500	2700	2500	2800	1700	1500	1000
7B	2600	2000	2400	2800	3400	3000	1600	1300	1000	1900	2700	2100	3200	3000	3300	1600	1100	750
7C	3300	2700	2100	2600	3100	2800	2500	1900	1500	1300	1900	1200	1800	1600	1900	2500	1900	1600
8A	2500	2500	3600	4100	4600	4300	1600	2500	2200	3300	3900	3300	4200	4200	4300	850	1000	1100
8B	2800	2400	3100	3500	4100	3700	2000	2000	1700	2800	4300	3700	3700	3500	3800	1700	1500	1100
8C	2800	3200	4000	4400	5000	4600	2400	2900	2600	3500	4300	3700	4700	4600	4800	1200	1800	1500
9A	2900	2300	2900	3300	3900	3600	1900	1900	1600	2500	3300	2600	3300	3100	3400	1900	1400	1100
9B	3200	2600	2500	3000	3500	3200	2200	2000	1600	2100	2800	2200	2900	2700	3000	2200	1700	1300
9C	3700	3100	2600	3000	3600	3200	2700	2300	2000	2100	2800	2200	2800	2500	2900	2700	2200	1900
10A	3800	4200	5000	5700	6000	5600	3300	3800	3500	4500	5300	4700	4900	4700	5200	2200	2700	2600
10B	3100	3300	4000	4500	5100	4700	2500	3000	2600	3700	4300	3700	4500	4200	4500	1900	1900	1600
10C	3600	3400	4300	4600	5200	4700	2900	3100	2800	3800	4400	3800	4600	4400	4700	2000	2300	2000
11A	3700	3000	3500	4000	4500	4200	2700	2700	2300	3200	3800	3200	3900	3700	4000	2600	2100	1800
11B	3800	3200	3000	3400	4000	3600	2900	2700	2400	2500	3300	2700	3300	3100	3400	2800	2300	2000
11C	4200	3600	3200	3600	4200	3800	3100	2900	2500	2700	3500	2900	3200	3100	3400	3100	2600	2200
12A	3800	3100	2700	3100	3700	3300	2800	2400	2100	2100	2400	2000	1900	1700	2000	2800	2300	1900
12B	4400	3800	3300	3300	4300	4000	3400	3100	2700	2900	3000	2700	2600	2400	2600	3500	2900	2600
12C	5300	4600	4100	4500	5000	4100	4200	1200	3500	3200	3300	2900	2800	2300	1500	4200	3700	3400

	7A	7B	7C	8A	8B	8C	9A	9B	9C	10A	10B	10C	11A	11B	11C	12A	12B	12C
7A	0	1300	1000	2100	1700	2600	1600	1500	1600	3400	2600	2800	2700	2000	2100	1900	2500	3300
7B	1200	0	900	1600	1100	2000	700	750	1200	2800	2100	2300	1500	1400	1600	1500	2100	2900
7C	1100	850	0	2300	2300	2800	1600	1200	1100	3500	2900	3000	2200	1500	1600	1000	1600	2400
8A	2400	1800	2400	0	1100	800	1300	1700	2200	2100	2200	2100	2100	2300	2500	2500	3100	3900
8B	1900	1100	2900	900	0	1300	450	800	1300	2100	2000	1600	1400	1400	1700	1800	2400	3200
8C	2800	2100	2900	600	1000	0	1400	1800	2000	1100	1300	1100	2000	2200	2400	2700	3300	4200
9A	1800	700	1500	1200	450	1400	0	400	900	2100	1300	1600	1000	1000	1300	1400	2000	2800
9B	1500	750	1100	1600	800	1800	400	0	500	2500	1700	2000	1200	750	900	1000	1600	2400
9C	1600	1300	1000	2100	1300	2200	900	500	0	2700	2000	2100	1300	650	800	800	1400	2300
10A	3800	2900	3500	1700	1900	1100	2300	2600	2900	0	1100	1000	1700	2400	2300	3000	3200	3700
10B	2700	1900	2600	1100	800	850	1200	1600	1800	1200	0	650	1100	1400	1800	2400	2900	3500
10C	3000	2200	2800	1500	1200	950	1500	1800	2000	1000	350	0	1200	1600	1900	2500	2700	3200
11A	2500	1500	2100	1900	1200	1600	1000	1100	1200	1900	1200	1300	0	550	1200	1800	2400	3300
11B	2000	1500	1500	2200	1400	2100	1000	750	650	2000	1800	1500	650	0	600	1200	1500	2600
11C	2200	1600	1700	2600	1700	2400	1300	900	800	2000	1800	1400	1100	600	0	1000	1300	2100
12A	1700	1300	900	2400	1800	2900	1400	1000	550	2900	2500	2300	1800	1200	1000	0	900	1700
12B	2300	2000	1500	3100	2400	2800	2000	1600	1300	2500	2400	2000	1700	1200	1000	650	0	1000
12C	3100	2800	2300	3900	3200	3900	2800	2400	2100	3600	3400	3000	2800	2300	2200	1400	1200	0

	7A	7B	7C	8A	8B	8C	9A	9B	9C	10A	10B	10C	11A	11B	11C	12A	12B	12C
1A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1C	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2C	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3A	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3C	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4A	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4C	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5A	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5B	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5C	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6A	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6B	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6C	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C	6A	6B	6C
6C	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
7A	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
7B	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
7C	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
9A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
11C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
12B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0

	7A	7B	7C	8A	8B	8C	9A	9B	9C	10A	10B	10C	11A	11B	11C	12A	12B	12C
6C	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7A	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7B	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
7C	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8A	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8B	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
8C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0
9A	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
9B	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
9C	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
10A	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
10B	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10C	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
11A	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
11B	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
11C	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
12A	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
12B	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
12C	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1