

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

Optimización del tiempo de respuesta para la atención de emergencias en caso de accidentes de tránsito en Lima Metropolitana, utilizando simulación de eventos discretos, implementado por un dispositivo vehicular

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

Sofía Chinami Shimizu Blanco

ASESOR: Ing. Jonatán E. Rojas Polo

miércoles, 26 de Mayo de 2021



DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, asimismo a mis hermanos por estar siempre presentes y brindándome su apoyo moral a lo largo de esta etapa de mi vida.



AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mi tutor de tesis, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores. Asimismo, a la Universidad, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

RESUMEN

El presente trabajo se ha desarrollado en base a una exhaustiva investigación sobre las principales causantes de muertes en el Perú, donde los accidentes de tránsito figuran como uno de las principales causas. En muchos de los estudios que se han realizado, si bien algunos han explorado que los recursos, es decir la cantidad de ambulancias no es suficiente para la cantidad de personas que se atienden, es todavía escasa la investigación que aborda un diseño y metodología de distribución de ambulancias, así como la implementación de un dispositivo vehicular que brinda la información necesaria para una atención óptima y de calidad.

Se realizó una investigación cuantitativa, donde el propósito de este estudio fue diseñar y proponer un modelo que permita optimizar el tiempo de llegada de la ambulancia al punto de emergencia ante un accidente de tránsito, a través de un dispositivo vehicular y de la localización de los diferentes centros médicos para una mejora en la atención de emergencias. Para ello, se ha utilizado el programa de Arena Simulation Software, el cual ha permitido determinar el beneficio de utilizar el modelo de propuesto.

El resultado que se mostró fue que el 58% de la atención de los accidentes de tránsito se atenderían en menos de 15 minutos, asimismo se observa una reducción del 51% en el tiempo de espera promedio para recibir dicha atención. Por otro lado, en cuanto al estudio económico realizado, queda demostrado que con el proyecto a presentar se reduce en 15% el gasto que el gobierno realiza anualmente por estos sucesos.

Las simulaciones realizadas muestran que la herramienta es efectiva para predecir y estudiar el cumplimiento del diseño de la distribución de las ambulancias, asimismo el proyecto busca generar un impacto social y económico que beneficie a muchas familias, brindándoles una atención oportuna.

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial

ALUMNO : **SOFIA CHINAMI SHIMIZU BLANCO**

CÓDIGO : 20120274

PROPUESTO POR : Ing. Jonatán E. Rojas Polo

ASESOR : Ing. Jonatán E. Rojas Polo

TEMA : Optimización del tiempo de respuesta para la atención de emergencias en caso de accidentes de tránsito en Lima Metropolitana, utilizando simulación de eventos discretos, implementado por un dispositivo vehicular

N.º TEMA :

FECHA : miércoles, 26 de Mayo de 2021

JUSTIFICACIÓN:

En la actualidad uno de los problemas sociales que más aqueja a la sociedad peruana, son los accidentes de tránsito. Según los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS¹), se estima que mueren alrededor de 1,25 millones de personas a nivel mundial cada año por este problema, lo cual representa más de 3,400 muertes por día y cabe mencionar que es la primera causa de muerte entre latinoamericanos de 15 a 29 años.

Según el Índice de Desarrollo Humano (IDH) que se da a conocer en el Informe anual del Programa de las Naciones Unidas², Perú es un país en desarrollo, ya que aún faltan muchos factores por mejorar, uno de estos es la tasa de mortalidad y como se había mencionado anteriormente los accidentes de tránsito son los más relevantes, debido a la poca atención en cuanto a la infraestructura de las vías, la falta de conciencia que se tiene acerca del uso adecuado del cinturón de protección y en general sobre la seguridad vial.

¹ Organización Mundial de la Salud (2017). Centro de prensa: Lesiones causadas por el tránsito. Recuperado el 9 de abril del 2018. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/es/>

² Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2016). Informe sobre el desarrollo humano. Recuperado el 9 de abril del 2018. http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016_SP_Overview_Web.pdf

Por otro lado, existen factores externos al accidente que influyen en la muerte de las personas heridas. Por ejemplo, la falta de conocimiento sobre los números de emergencia al cual comunicarse en estos casos, además de las dificultades que se genera en cuanto a la ruta más óptima, para la llegada al punto de accidente y el traslado del paciente hacia la unidad de emergencia más cercana; este último punto en mención es de gran consideración, ya que el tiempo de respuesta del equipo de atención prehospitalaria debe ser no mayor a 10 minutos, el cual es el tiempo máximo incluido en la hora de oro para estabilizar al paciente, mientras se dirige a un centro hospitalario y así evitar daños posteriores del mismo. Adams Cowley, cirujano militar y jefe del Centro Universitario de Traumatología de Maryland, dijo: “Existe una hora de oro entre la vida y la muerte. Si estás gravemente lesionado, tienes menos de 60 minutos para sobrevivir”³.

Ante esta problemática, el presente proyecto tratará sobre el desarrollo de un prototipo de esperanza de vida, el cual consiste en un dispositivo vehicular que contiene un sensor que se instalará en el automóvil del futuro paciente. Así, cuando se produzca un accidente, este sensor se activará y preguntará si se requiere ayuda dos veces. Si al segundo llamado el conductor o los pasajeros no contestan, se activará una alerta a la unidad de emergencia más cercana a la cual el paciente esté afiliado. Esto será de gran beneficio, puesto que ya no se necesitará llamar a la central de emergencias, ni contactarse con un operario que nos realiza cuestionarios que muchas veces se nos dificulta al responder. De esta manera, se reducirá el tiempo de auxilio que implica la ayuda eficiente y eficaz del accidentado y por ende se disminuye la tasa de mortalidad.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y proponer un modelo que permita optimizar el tiempo de llegada de la ambulancia al punto de emergencia ante un accidente de tránsito, a través de un dispositivo vehicular y de la localización de los diferentes centros médicos para una mejora en la atención de emergencias. Por consiguiente, mediante el uso de las herramientas de Investigación de Operaciones en el modelo, se busca minimizar, principalmente, el indicador de tiempo de respuesta ante estos sucesos para atender a un mayor número de personas perjudicadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar sobre las metodologías empleadas en el proceso de respuesta en caso de un accidente de tránsito que pueda ser de utilidad para el trabajo de

³ INESEM (2016). Revista digital Biosanitario. <https://revistadigital.inesem.es/biosanitario/hora-de-oro/>

investigación.

- Describir la situación actual de la atención de emergencia y la percepción de los ciudadanos que han necesitado del servicio de ambulancias.
- Proponer algoritmos y metodologías para la mejora de la situación actual en la atención de emergencias de los centros médicos.
- Realizar un análisis económico de la propuesta y verificar la viabilidad del proyecto contrastándola con las pérdidas que ocasionan los accidentes de tránsito actualmente.
- Presentar comparaciones adecuadas de los indicadores a mejorar en la situación actual y propuesta.

PUNTOS A TRATAR

a) Marco teórico

En este primer punto se desarrollará el marco conceptual donde se darán los conceptos respecto al problema, es decir, los factores que influyen en los accidentes de tránsito, atención de emergencia y el historial del paciente, además de brindar conceptos asociados a la solución del problema. Por otro lado, se realizará un estudio estratégico de la coyuntura que afronta el país en cuanto a los accidentes de tránsito.

b) Estado del arte

Se describirán diferentes investigaciones que traten sobre la optimización de rutas, así como algoritmos que ayuden a la selección de centros de emergencia más cercanos al accidente, de esta manera se podrá estudiar los modelos que puedan ayudar a nuestro proyecto.

c) Situación actual

Evaluaremos la situación actual y analizaremos sus deficiencias, tomando en cuenta un mapa de procesos de una empresa aseguradora. Además, se explicarán las herramientas y metodologías utilizadas para la mejora de la situación actual de la atención de las ambulancias en las clínicas. Por otro lado, se mencionará el alcance del proyecto, así como las limitaciones que se tendrán a tener en cuenta.

d) Propuesta de mejora

Se explicarán las consideraciones principales a tener en cuenta en el desarrollo del algoritmo seleccionado, así como la descripción del mismo y del modelo a

implementar. Luego, se desarrollará el algoritmo y modelo seleccionado y se construirá el diseño a utilizar para la mejora de la atención de emergencias en las clínicas.

e) Análisis de resultados y evaluación económica de la propuesta

Se realizará un análisis cuantitativo de la implementación del algoritmo y el modelo a desarrollar, para finalmente realizar una evaluación económica del proyecto y evaluar su viabilidad, realizando una comparación con los gastos generados por los accidentes de tránsito.

f) Conclusiones y recomendaciones



CONTENIDO

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	1
1.1. Conceptos relacionados a los accidentes de tránsito.....	1
1.1.1. Factores en los accidentes de tránsito.....	1
1.1.2. Atención de emergencia.....	4
1.1.3. Historial del paciente.....	4
1.2. Conceptos relacionados a la solución de los accidentes de tránsito	5
1.2.1. Problema difuso de máxima ubicación	5
1.2.2. Sistema Mayday	12
1.2.3. Sistema de información geográfica (SIG).....	13
1.2.4. Algoritmo de detección de accidentes.....	14
1.2.5. Notificación automática avanzada de colisión (AACN, Advanced Automatic Collision Notification).....	15
1.2.6. Sistema eCall	17
1.2.7. Experiencias en Japón	19
1.3. Factores afectados a causa de los accidentes de tránsito	21
1.3.1. Factores sociales.....	21
1.3.2. Factores económicos	22
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	23
2.1. Casos de estudio	23
2.1.1. Caso: Dynamic ambulance reallocation for the reduction of ambulance response times using system status management	23
2.1.2. Caso: Dynamic Ambulance Deployment to Reduce Ambulance Response Times using Geographic Information Systems: A Case Study of Odunpazari District of Eskisehir Province, Turkey	26
2.1.3. Caso: Dispatch of helicopter emergency medical services via advanced automatic collision notification	29
2.2. Conclusiones sobre el estado del arte	33
CAPÍTULO 3. SITUACIÓN ACTUAL.....	34
3.1. Estadística sobre los accidentes de tránsito en Lima Metropolitana.....	34
3.2. Mapa de procesos del funcionamiento de las ambulancias	37
3.3. Análisis de las dificultades del mapa de procesos.....	37
3.4. Herramientas y métodos	38
3.5. Alcance y Limitaciones:	39
CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA	41
4.1. Explicación de la propuesta de mejora	41
4.2. Levantamiento de información	41

4.2.1.	Cantidad de hospitales, ambulancias y accidentes	42
4.2.2.	Análisis de los datos de seguro Pacífico	63
4.3.	Presunciones realizadas para establecer el modelo	80
4.4.	Desarrollo del modelo propuesto	81
4.4.1.	Desarrollo del modelo de la política 1	81
4.4.2.	Desarrollo del modelo de la política 2	82
4.4.3.	Desarrollo del modelo en Arena Simulation Software	83
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA.....		87
5.1.	Indicadores de resultados	87
5.2.	Comparación de resultados	87
5.3.	Evaluación económica de la propuesta	92
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		94
CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		96



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Infraestructura Vial del SINAC, según superficie de rodadura 2015</i>	4
<i>Tabla 2. Comparación de tiempos, proporciones de cobertura y la utilización del sistema, bajo estrategias de reasignación dinámica y estática</i>	25
<i>Tabla 3. Herramientas y métodos utilizados para el modelo planteado</i>	39
<i>Tabla 4. Herramientas</i>	43
<i>Tabla 5. Ubicación de puntos de los centros médicos</i>	44
<i>Tabla 6. Lima Centro</i>	45
<i>Tabla 7. Lima Este</i>	46
<i>Tabla 8. Lima Sur</i>	46
<i>Tabla 9. Lima Norte</i>	46
<i>Tabla 10. Cantidad de accidentes fatales por rangos</i>	47
<i>Tabla 11. Cantidad de accidentes no fatales por rangos</i>	47
<i>Tabla 12. Cantidad de ambulancias por rangos</i>	48
<i>Tabla 13. Cantidad promedio de ambulancias por rangos</i>	49
<i>Tabla 14. Cantidad de ambulancias, accidentes y hospitales distribuidas por distritos y zonas</i>	57
<i>Tabla 15. Escenarios propuestos</i>	58
<i>Tabla 16. Intervalo de ocurrencia de accidente</i>	62
<i>Tabla 17 Rango de cobertura</i>	62
<i>Tabla 18. Conjunto de variables aleatorias a emplear para la simulación</i>	64
<i>Tabla 19. Cantidad de llamadas ocurridas por día de la semana y turno</i>	65
<i>Tabla 20. Tamaño de población para las variables aleatorias</i>	65
<i>Tabla 21 Cálculo del tamaño de muestra para las 12 variables</i>	66
<i>Tabla 22. Tamaño de muestra para cada variable aleatoria</i>	67
<i>Tabla 23. Resumen de las distribuciones a emplea para cada variable</i>	79
<i>Tabla 24. Comparación de modelo actual y propuesto de número de muerte 2018 en Lima Metropolitana</i>	92
<i>Tabla 25. Tasa de accidentados sobre los accidentes de tránsito</i>	92
<i>Tabla 26. Costo económico con respecto al número de muertos – Perú 2018</i>	93
<i>Tabla 27. Costo económico de accidentes de tránsito – Perú 2015</i>	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Accidentes de tránsito 2011-2018.....	1
Figura 2. Causas de accidentes de tránsito – Año 2017.....	2
Figura 3. Muertes y heridos por accidentes de tránsito en Perú 2011-2017.....	3
Figura 4. Radio principal y exterior.....	7
Figura 5. Intersección del número difuso del hombro derecho que representa un radio difuso y un número difuso triangular que es un número difuso de distancia entre ubicaciones.....	8
Figura 6. PSO – método.....	11
Figura 7. Solución para el problema con los parámetros de entrada.....	11
Figura 8. Sistema Mayday.....	12
Figura 9. El principio básico de SIG.....	13
Figura 10. Datos Geográficos – función de SIG.....	14
Figura 11. Fusión de sensores para el algoritmo de detección de colisiones de vehículos de carretera.....	15
Figura 12. Protocolo Avanzado automático de notificación de colisión.....	17
Figura 13. Esquema funcional del sistema de eCall.....	18
Figura 14. Esquema funcional del servicio HELPNET (Japón).....	20
Figura 15. Comparación de tiempos de atención del accidente para el servicio HELPNET (Japón).....	20
Figura 16. Evolución del parque automotor, población, y de la red vial nacional.....	21
Figura 17. Polígonos de tiempo de viaje que muestran áreas de cobertura para: (a) un despliegue de 10 ambulancias; y, b un despliegue de 12 ambulancias (leyenda: los umbrales de tiempo de viaje en minutos se refieren a tiempos de viaje ideales sin retrasos de tráfico).....	25
Figura 18. Estadísticas para el análisis de HotSpot: (a) fines de semana; (b) días laborables horas sin trabajo (6: 00 p.m.-8: 00 a. m.); y, (c) días laborables horas (8:00 a. m.-6:00 p. m.).....	26
Figura 19. Protocolo de activación de servicios médicos de emergencia para helicópteros utilizando el sistema avanzado de notificación automática de colisiones. 119 corresponde al 911 en los Estados Unidos, AACN = notificación de colisión automática avanzada, HEMS = servicios médicos de emergencia en helicóptero, MAIS3 + = puntuación máxima de lesión abreviada 3 o más en 6 rangos. 31	
Figura 20. La pantalla de la información avanzada automática de notificación de colisión. AACN = notificación automática de colisión avanzada; TC = centro de trauma.....	32
Figura 21. (A) Flujo de alerta de servicios médicos de emergencia de helicóptero (HEMS) a través de notificación automática avanzada de colisión (AACN). (B) Flujo de alerta HEMS por el técnico de emergencias médicas (EMT) en la escena. FD = departamento de bomberos. 119 corresponde al 911 en Estados Unidos. H = hospital.....	32
Figura 22. Casos de accidentes de tránsito por distritos en Lima Metropolitana 2008 – 2010.....	35
Figura 23. Mapa de accidentes de tránsito no fatales por cada 1000 habitantes en Lima Metropolitana y Callao, 2015.....	36
Figura 24. Mapa de accidentes de tránsito fatales por cada 1000 habitantes en Lima Metropolitana y Callao, 2015.....	36
Figura 25. Mapa de hospitales y clínicas que atienden emergencias.....	37
Figura 26. Flujograma de la atención de ambulancias.....	38
Figura 27. Elaboración Raster.....	43
Figura 28. Hospitales por distritos.....	45
Figura 29. Rango mínimo de Lima Este.....	50
Figura 30. Rango máximo de Lima Este.....	50
Figura 31. Rango promedio de Lima Este.....	51
Figura 32. Rango mínimo de Lima Centro.....	51
Figura 33. Rango máximo y promedio de Lima Centro.....	52
Figura 34. Rango mínimo de Lima Norte.....	52
Figura 35. Rango máximo de Lima Norte.....	53
Figura 36. Rango promedio de Lima Norte.....	53
Figura 37. Rango mínimo de Lima Sur.....	54
Figura 38. Rango máximo y promedio de Lima Sur.....	54
Figura 39. Ubicación de ambulancias por distrito.....	55
Figura 40. Ubicación de accidentes por distrito.....	56

Figura 41. (A) Escenario optimista del rango mínimo. (B) Escenario neutro del rango mínimo	59
Figura 42. Escenario pesimista del rango mínimo	59
Figura 43. (A) Escenario optimista del rango máximo. (B) Escenario neutro del rango máximo	60
Figura 44. Escenario pesimista del rango máximo	60
Figura 45. (A) Escenario optimista del rango promedio. (B) Escenario neutro del rango promedio.....	61
Figura 46. Escenario pesimista del rango promedio	61
Figura 47. Cobertura de centros médicos	63
Figura 48. Análisis de varianza para determinar si el tiempo entre ocurrencia de siniestros depende del rango de horas y del día de la semana	64
Figura 49. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00	68
Figura 50. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre 15:00 y las 19:00	69
Figura 51. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes entre las 19:00 y las 21:00	70
Figura 52. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00	71
Figura 53. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días sábado 07:00 a 15:00 pm	72
Figura 54. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre las llamadas los días sábados entre las 15:00 y las 19:00	73
Figura 55. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días sábado entre las 19:00 y las 21:00	74
Figura 56. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días sábados entre 21:00 y las 07:00	75
Figura 57. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingos entre las 07:00 y las 15:00	76
Figura 58. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre los días domingo entre las 15:00 y las 19:00	77
Figura 59. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingo entre las 19:00 y las 21:00	78
Figura 60. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingo entre las 21:00 y las 07:00	79
Figura 61. Propuesta de la política 1	82
Figura 62. Política 2	83
Figura 63. Elementos del modelo en Arena Simulation Software	84
Figura 64. Modelo propuesta 1 y propuesta 2 en Arena Simulation Software	85
Figura 65. Modelo propuesta 1 y propuesta 2 en Arena Simulation Software	85
Figura 66. Modelo propuesta 1 en Arena Simulation Software	86
Figura 67. Modelo propuesta 2 en Arena Simulation Software	86
Figura 68. Datos de la comparación de ambas políticas para el cumplimiento menor o igual a 10 minutos	88
Figura 69. Comparación de las políticas en cuanto a intervalos y rangos para el cumplimiento menor o igual a 10 minutos	88
Figura 70. Datos de la comparación de ambas políticas para el cumplimiento menor o igual a 15 minutos	89
Figura 71. Comparación de las políticas en cuanto a intervalos y rangos para el cumplimiento menor o igual a 15 minutos	89
Figura 72. Datos de comparación de las dos políticas para el tiempo de espera	90
Figura 73. Comparación de las políticas en cuanto a intervalos y rangos para el tiempo promedio de espera	90
Figura 74. Resumen de las comparaciones	91

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

Se desarrollarán los conceptos respecto al problema, es decir, los factores que influyen en los accidentes de tránsito, atención de emergencia y el historial del paciente, además de brindar conceptos asociados a la solución del problema. Por otro lado, se realizará un estudio estratégico de la coyuntura que afronta el país en cuanto a los accidentes de tránsito.

1.1. Conceptos relacionados a los accidentes de tránsito

De acuerdo a la información brindada, existen 3 factores principales que producen los accidentes de tránsito y que se desarrollan en líneas posteriores, ya que de esta manera se podrá analizar la magnitud de estos (Investigación de accidentes de tráfico de la Guardia Civil de España, 1988). Sin embargo, para esta tesis no se realizará ningún tipo de cambio respecto a los factores que se explicarán.

1.1.1. Factores en los accidentes de tránsito

Los accidentes de tránsito son un factor que limita el desarrollo de nuestro país, puesto que la mayor parte de muertes se muestra en la población económicamente activa, por ello, el gobierno gasta cerca del 3% del PBI para estos sucesos, según la Organización Mundial de la Salud (OMS,2018).

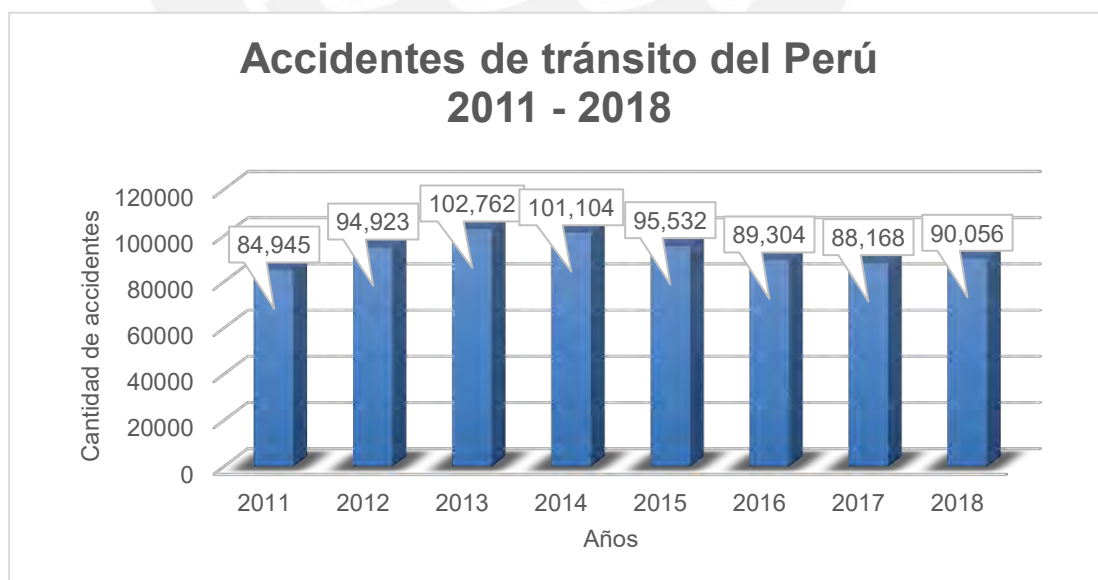


Figura 1. Accidentes de tránsito 2011-2018

Fuente: Ministerio de Salud – Centro Nacional de epidemiología, prevención y control de enfermedades

i. Factor humano

Los problemas de accidentes viales están vinculados a la psicología de tránsito, la cual trata sobre la evaluación de los conductores, como la educación y formación de estos, así como también las actitudes de los usuarios en las vías de tránsito, tal como se explica en el último análisis realizado por la Dirección Ejecutiva de tecnología de información y comunicaciones (2017), donde hace mención que el 81.6% son causados por el factor humano. Los conductores cumplen un rol muy importante en la reducción de estos accidentes, ya que factores como el sueño, la fatiga, el consumo de bebidas alcohólicas, las emociones negativas de los conductores y, sobre todo, el uso de celular mientras se produce la conducción, afectan en la percepción y atención auditiva.

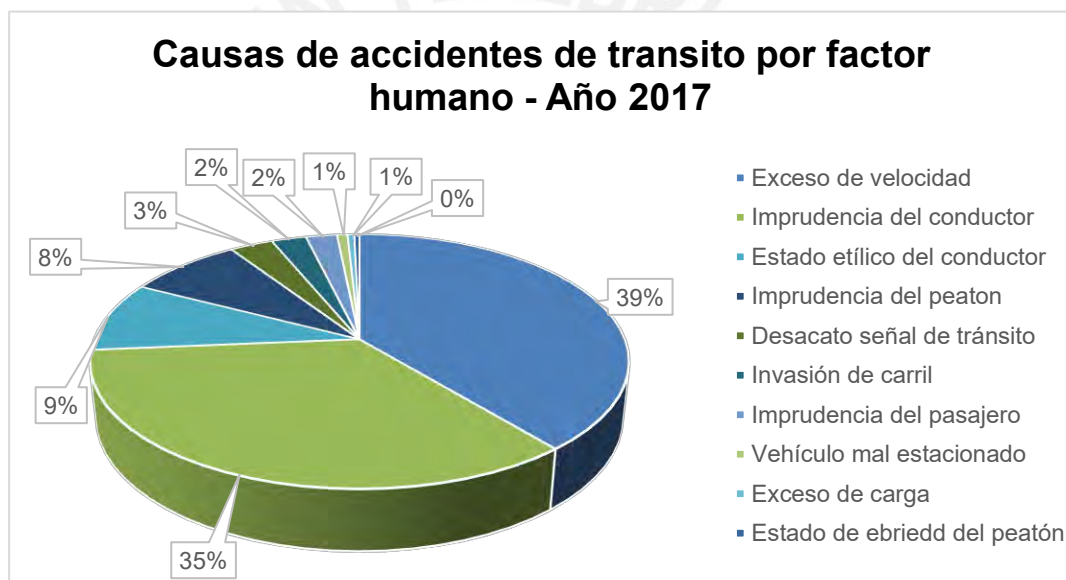


Figura 2. Causas de accidentes de tránsito – Año 2017

Fuente: Dirección Ejecutiva de Tecnología de información y Comunicaciones PNP 2016

ii. Factor vehículo

El departamento con mayor índice de accidentes de tránsito en Perú es Lima, según Instituto Nacional de Estadística e Informática (VI Censo Nacional de Comisarías, 2017), tomando en cuenta que la causa principal de esta clase de accidentes se debe a colisiones por motivo de exceso de velocidad, siendo los automóviles el principal vehículo involucrado. Este análisis permite darnos cuenta que muchas veces el factor humano se debe acoplar al comportamiento del vehículo, por ello es muy importante tener la revisión técnica que por ley corresponde para poder revisar la infraestructura del mismo y confirmar que esta tenga las especificaciones técnicas

adecuadas, caso contrario como se muestra en la Figura 3, puede terminar en finales devastadores, como en el año 2018 donde surgieron más de 61,512 heridos y 3,244 muertos (Policía Nacional del Perú – Dirección de Seguridad Vial, 2018).

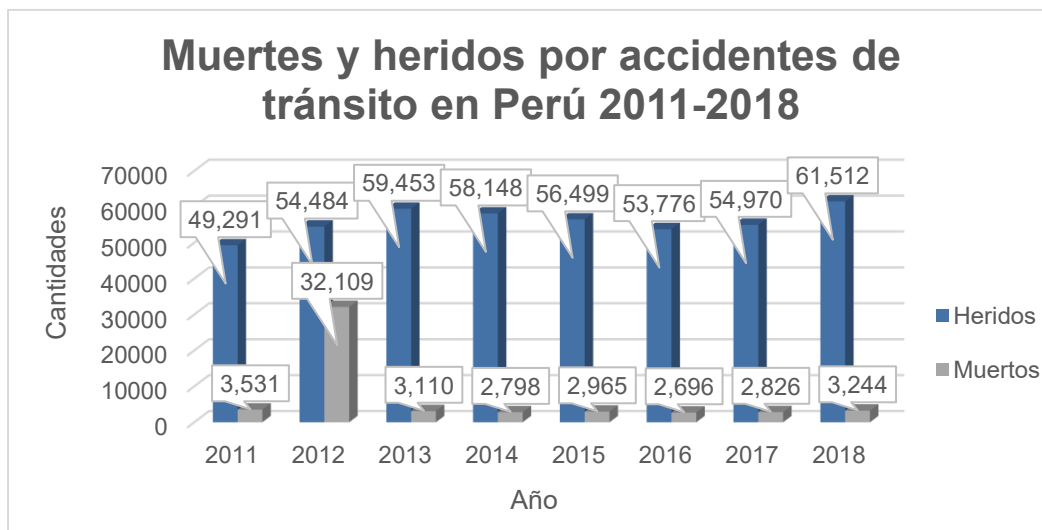


Figura 3. Muertes y heridos por accidentes de tránsito en Perú 2011-2017
Fuente: Policía Nacional del Perú – Dirección de Seguridad Vial

iii. Factor vía

El sector de transportes y comunicaciones es muy importante en este proyecto, puesto que cumple el rol de la calidad de traslado de pasajeros en una situación crítica que vive la población peruana, por el colapso de las vías, las malas señalizaciones y las zonas no pavimentadas.

Según el SINAC (Sistema Nacional de Carreteras, 2015), el Perú tiene una longitud total de 171 386,6 Km. El 96,5% es red vial existente y 3,5% es red vial proyectada. De la red vial existente el 14,4% son carreteras pavimentadas, y el 85,6% son consideradas como carreteras no pavimentadas, tal como se menciona en la Tabla 1

Tabla 1. Infraestructura Vial del SINAC, según superficie de rodadura 2015

SUPERFICIE DE RODADURA	(Kilómetros)				
	TOTAL	SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS			
		NACIONAL	DEPARTAMENTAL	VECINAL	
TOTAL	171 386.6	28 072.9	28 554.0	114 759.7	
	100%	15.4%	16.7%	67%	
1. RED VIAL EXISTENTE	165 372.0	96.5%	26 436.1	24 287.4	114 648.5
Pavimentada	23 769.2	14.4%	18 420.1	3 459.0	1 890.1
No pavimentada	141 602.7	85.6%	8 016.0	20 828.4	112 758.3
2. PROYECTADA	6 014.7	3.5%	1 636.9	4 266.6	111.2

Fuente: MTC-OGPP-Oficina de Estadística

1.1.2. Atención de emergencia

En Perú la atención pre-hospitalaria abarca la atención del paciente desde el punto del accidente hasta el transporte hacia algún establecimiento de salud más cercano. Sin embargo; este proceso no cuenta con las condiciones adecuadas de oportunidad y calidad. Si bien se vienen realizando esfuerzos importantes para prevenir y reducir los problemas de atención y acceso en los servicios de atención inter-hospitalaria, es necesario desarrollar modelos que garanticen una mejor accesibilidad a los servicios de emergencia o urgencia, de esta manera se asegurará la atención oportuna y adecuada como estrategia para disminuir la tasa de mortalidad relacionada con ellas. Por otro lado, es importante identificar la diferencia entre emergencia y urgencia, puesto que, en una emergencia, lo ideal es que consiga una atención rápida que salve la vida del paciente; sin embargo, en una urgencia pueden esperar y así se puede ayudar a otros pacientes para que sean atendidos pronto, de acuerdo a las definiciones brindadas por (ABC de seguros – Pacífico Seguros, 2020)

1.1.3. Historial del paciente

Los pacientes hospitalizados tanto como ambulatorios generan información médica y administrativa sobre los mismos. La información se registra en varios documentos, siendo el conjunto de estos la historia clínica del paciente. Tiene como función ser única, integrada y acumulativa para cada paciente en el lugar de

atención. Por otro lado, en el caso de los accidentes de tránsito, permite obtener estadísticas reales de la dimensión e implicaciones de los accidentes de tránsito y su impacto en la salud pública.

El contenido mínimo del formato de atención de emergencia según el Ministerio de Salud del Perú (MINSA, 2005) es:

- Fecha y hora de atención
- Filiación
- Enfermedad actual, motivo principal de la emergencia
- Antecedentes
- Examen físico
- Exámenes auxiliares
- Diagnóstico presuntivo
- Plan de trabajo
- Terapeuta y seguimiento
- Firma, sello del médico tratante

1.2. Conceptos relacionados a la solución de los accidentes de tránsito

Para poder tener una perspectiva mas amplia sobre los diferentes recursos que se tiene para desarrollar la problemática de esta tesis, se brindarán algunos conceptos básicos necesarios para analizar la solución final de los accidentes de tránsito.

1.2.1. Problema difuso de máxima ubicación

De acuerdo al paper “New Model Of Maximal Covering Location Problem With Fuzzy Conditions” (2016) se desarrolló el problema difuso propuesto de máxima ubicación, FMCLP (Fuzzy maximum location problem), tomando como referencia el problema de ubicación de cobertura máxima, MCLP (Maximal Covering Location Problem) el cual fue introducido por Church y el ReVelle en 1974, desde entonces, se han propuesto muchas variantes del mismo. MCLP, utiliza valores fijos dados previamente para cubrir el radio o el viaje en el tiempo, pero en el modelado de problemas reales de este enfoque no es totalmente exacto. Los problemas reales contienen un cierto grado de incertidumbre, por ejemplo, cubrir el radio de un accidente es de aproximadamente 5 kilómetros o el tiempo de viaje es de entre 8 y 10 minutos. Para modelar problemas con condiciones indefinidas donde se utilizan variables difusas, se aplica la modificación de MCLP, conocida

como problema difuso de máxima ubicación (FMCLP) y la que fue descrita por Davari et al (2016). El método difuso propuesto no se estudia en lugares que están cubiertos parcialmente con varias instalaciones, asimismo, hay dos clases de problemas que se utilizan para describir una cobertura parcial. La primera clase consiste en un problema donde se permite sumar la cobertura de ubicaciones parcialmente cubiertas. Por ejemplo, cada fuente de luz tiene un radio de iluminación completa y otro radio externo donde la iluminación disminuye. Para los lugares que se encuentran en dos o más radios externos, la iluminación total se calcula como la suma de todas las iluminaciones parciales. La segunda clase consiste en problemas donde no es posible sumar los grados de coberturas parciales. Hay una gran cantidad de problemas de este tipo, todos los problemas de MCLP con respecto a la ubicación de edificios pertenecen a esta clase. Esto significa que, si alguna ubicación está parcialmente cubierta por más instalaciones, la calidad de la solución no va a aumentar. Por ejemplo, cada edificio (tienda, unidad de emergencia, etc.) tiene un radio principal de cobertura y todos los lugares del radio principal tienen una cobertura total. El segundo parámetro es el radio externo, donde el grado de cobertura disminuye. Si algún lugar está parcialmente cubierto por más instalaciones, debe estar asociado con la ubicación más cercana.

Consideraciones del modelo matemático

- La incertidumbre se representa como el radio de la cobertura difusa (tiempo difuso de viaje) y depende de dos parámetros, los cuales son el radio y la distancia entre ubicaciones:

a) Radio:

El radio principal R representa el radio de cobertura total y el radio externo r , representa un radio de cobertura parcial. Si la distancia entre las localizaciones es menor que el radio principal, entonces está completamente cubierto y su grado de cobertura es igual a 1. Si la ubicación es entre radio principal y externa, su grado de cobertura es un valor entre 0 y 1, y si la ubicación se encuentra fuera del radio externo no está cubierto y su grado es 0. En la Figura 4, se puede mostrar un problema de localización de ambulancias, en donde hay 7 lugares completamente cubiertos y 6 lugares parcialmente cubiertos. Además, la significancia de los radios se puede explicar como la cobertura de tiempo, por ejemplo, el radio principal puede tener una cobertura de 5 minutos, que significa que el paciente seguramente sobrevivirá si la ambulancia llega en menos de este tiempo, por otro

lado, el radio exterior podría ser de 5 a 10 minutos, en la cual el paciente también tendría la oportunidad de sobrevivir; sin embargo, si llega más de 15 minutos, las posibilidades de supervivencia son mínimas.

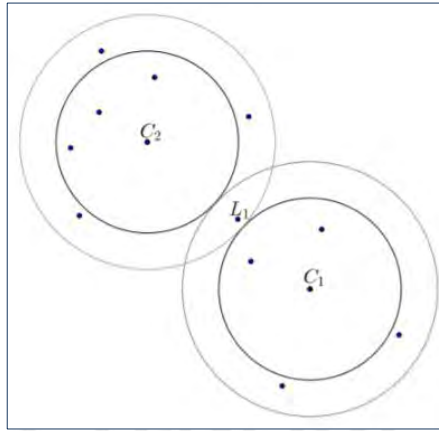


Figura 4. Radio principal y exterior
Fuente: Paper: "New Model of Maximal Covering Location Problem With Fuzzy Conditions" (2016)

b) Distancia entre ubicaciones:

Las distancias entre los lugares, en ocasiones, no pueden ser precisamente definidas, muchas de las condiciones externas influyen en la distancia; por ejemplo, el tráfico intenso, tráfico ligero y la velocidad de los vehículos de emergencia. Por esta razón, la distancia entre dos lugares tiene un valor aproximado de cinco minutos más un minuto.

Existen tres parámetros importantes a tomar en consideración: El radio difuso se define como un número difuso del hombro derecho, el número difuso triangular se utiliza para representar valores de distancias difusas, y el grado de ubicación de la cobertura se define como la intersección de estos números difusos.

En la Figura 5, el eje X representa las distancias (o tiempos de viaje) entre los puntos de ubicación y el eje Y representa el grado de cobertura de la ubicación. Por lo tanto, la intersección del número difuso del hombro derecho y número difuso triangular se define como la media aritmética de los valores difusos de puntos de S_1 y S_2 .

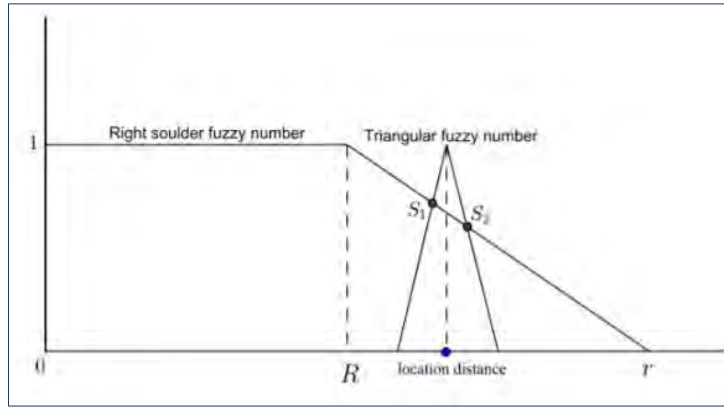


Figura 5. Intersección del número difuso del hombro derecho que representa un radio difuso y un número difuso triangular que es un número difuso de distancia entre ubicaciones
Fuente: "New Model Of Maximal Covering Location Problem With Fuzzy Conditions" (2016)

Modelo matemático

En primer lugar, es necesario introducir los parámetros del problema y las variables de decisión. La siguiente notación se da:

- I : conjunto de todos los lugares
- J : conjunto de todos los sitios de instalaciones
- $R + f_r$: radio difusa de cobertura [número difuso del hombro derecho]
- $d_{ij} \pm f_t$: distancia difusa (tiempo de viaje) entre ubicaciones i y j [número difuso triangular]
- $x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si la instalación se asignó en la ubicación } j \\ 0 & \text{De otra manera} \end{cases}$
- $y_i \in [0,1]$ Grado de cobertura de ubicación i
- c_{ij} : Grado de cobertura de la ubicación i por la instalación situada en el sitio j , dado por la fórmula

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq R \\ 0 & d_{ij} > R + f_r \\ \frac{1}{2}(\mu(v_1) + \mu(v_2)) & \text{De otra manera} \end{cases}$$

Donde: $\mu(v_i)$ representa la intercepción de valores difusos $R + f_r$ y $d_{ij} \pm f_t$

- p : Número de instalaciones que se encuentran

En segundo lugar, el modelo se define de la siguiente manera:

$$\max \sum y_i \quad (1)$$

$$\sum x_i = p \quad (2)$$

$$\max x_j \cdot c_{ij} \geq y_i, \forall j \quad (3)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad (4)$$

$$x_j \in [0,1] \quad (5)$$

El objetivo de FMCLP es la maximización de la función objetivo (1). La condición (2) establece que la solución tiene exactamente p instalaciones. La restricción (3) dispone que la ubicación i alcanza su máximo grado de cobertura y las limitaciones de (4) y (5) determinar los rangos de variables descritas X_i y Y_i

Método de enjambre de partículas (PSO, Particle Swarm Optimization Algorithm)

El método de optimización por enjambre de partículas (PSO) se utiliza para resolver el modelo FMCLP propuesto. Es un método metaheurístico, introducido por Kennedy y Eberhart (2016). Este método se inspira en el comportamiento social de las partículas en enjambres, como pájaros en bandadas. La idea principal es crear varios casos de solución (partículas) que se muevan a través del espacio con cierta inteligencia dada. Cada partícula conoce su mejor posición hasta el momento y la de su vecindario, y actualiza su propia posición utilizando esta información. El método original PSO se desarrolla para problemas con variables continuas, pero Kennedy y Eberhart desarrolló una versión discreta de este método, conocido como optimización discreta por enjambre de partículas (DPSO).

DSPO considera un tamaño de enjambre S que contiene n partículas. Cada partícula está representada por su posición en el espacio de solución binaria dimensional como vector $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$. Cada partícula tiene su propio vector de velocidad $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$ en el espacio continuo dimensional R^d . El vector x_i representa una solución del problema, mientras que el vector de velocidades representa un cambio de posición de la partícula en la siguiente interacción. Con la notación dada, la posición de la partícula i en la interacción k^{th} es $x_i^k = x_i^{k-1} + v_i^k$.

Como se mencionó antes, la velocidad de partícula determina su posición en la siguiente interacción y depende de dos parámetros: su mejor posición hasta el

momento (b_i) y la mejor posición (c_i) de su vecindario $N(i) \subseteq S$. Vector de velocidad se calcula con la fórmula de Kennedy y Eberhart:

$$v_i^k = v_i^{k-1} + c_1 \varepsilon_1 (b_i - b_i^{k-1}) + c_2 \varepsilon_2 (g_i - x_i^{k-1}) \quad (6)$$

Donde:

- c_1 y c_2 representan los grados de confianza de partícula i en las diferentes posiciones que influyen en su dinámica.
- ε_1 y ε_2 son variables aleatorias independientes generados en cada iteración con distribuciones uniformes en el intervalo $[0,1]$

Los valores de velocidad son limitados, es decir,

$$|v_{ij}| < Vmax \quad (7)$$

Donde:

- V_{max} por lo general tiene un valor cercano a 6, esta configuración evita que la probabilidad sea demasiado baja o alta.

En DSPO, el vector de velocidad se refiere a una probabilidad de que la variable j^{th} binaria en la suposición x^{th} obtenga un valor 0 o 1 en la siguiente iteración. Cada variable de posición X_{ij} de la partícula i obtiene el valor 1 si un valor aleatorio es menor que la función sigmoidea:

$$\frac{1}{1 + \exp(-v_{ij})} \quad (8)$$

El algoritmo de FMCLP utilizando PSO, funcionaria de la siguiente manera:

```

Algoritmo: PSO
Input: Ubicaciones con distancias, número de instalaciones,
radio de cobertura difusa, valor de distancia difusa, número
máximo de iteraciones
Output: mejor posición para las distancias y grado de
cobertura

For cada partícula do

Los mejores vectores de velocidad y posición de la partícula
inicial con valores aleatorios
La mejor posición de la partícula inicial
Endfor
Calcular la mejor posición global
While not máxima iteración do
    For cada partícula do
        Actualiza la posición y la velocidad de la
partícula
        Calcula el resultado de la partícula (grado de
cobertura de las ubicaciones)
        If resultado actual > el mejor resultado de la
particular do
            Mejor resultado de la partícula = resultado actual
        Endif
        If resultado actual > el mejor resultado global do
            Mejor resultado global = resultado actual
            Solución = posición de la partícula actual
        Endif
    Endwhile
Endwhile

```

Figura 6. PSO – método

Fuente: "New Model of Maximal Covering Location Problem with Fuzzy Conditions" (2016)

Ejemplo de solución:

El algoritmo se ha ejecutado dos veces en la misma instancia con diferentes parámetros de entrada. Las ubicaciones se colocan en una red de 30 x 30 y se hace la búsqueda de las mejores posiciones de 10 instalaciones. Parámetros de entrada $n = 90$, $p = 10$, $R + fr = 5 + 0$, 5 , $ft = 0$, 1

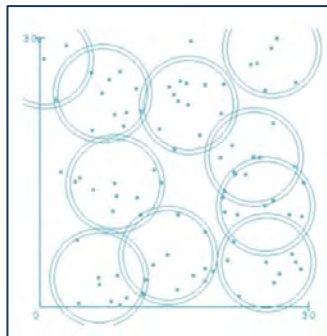


Figura 7. Solución para el problema con los parámetros de entrada

Fuente: "New Model of Maximal Covering Location Problem with Fuzzy Conditions" (2016)

1.2.2. Sistema Mayday

Es un dispositivo superinteligente que utiliza la máquina de aprendizaje básico para determinar si el sistema está fallando generando alertas (Phoenix regional Standard Operating Procedures, 2010) de acuerdo a los procedimientos desarrollados en la Figura 8.

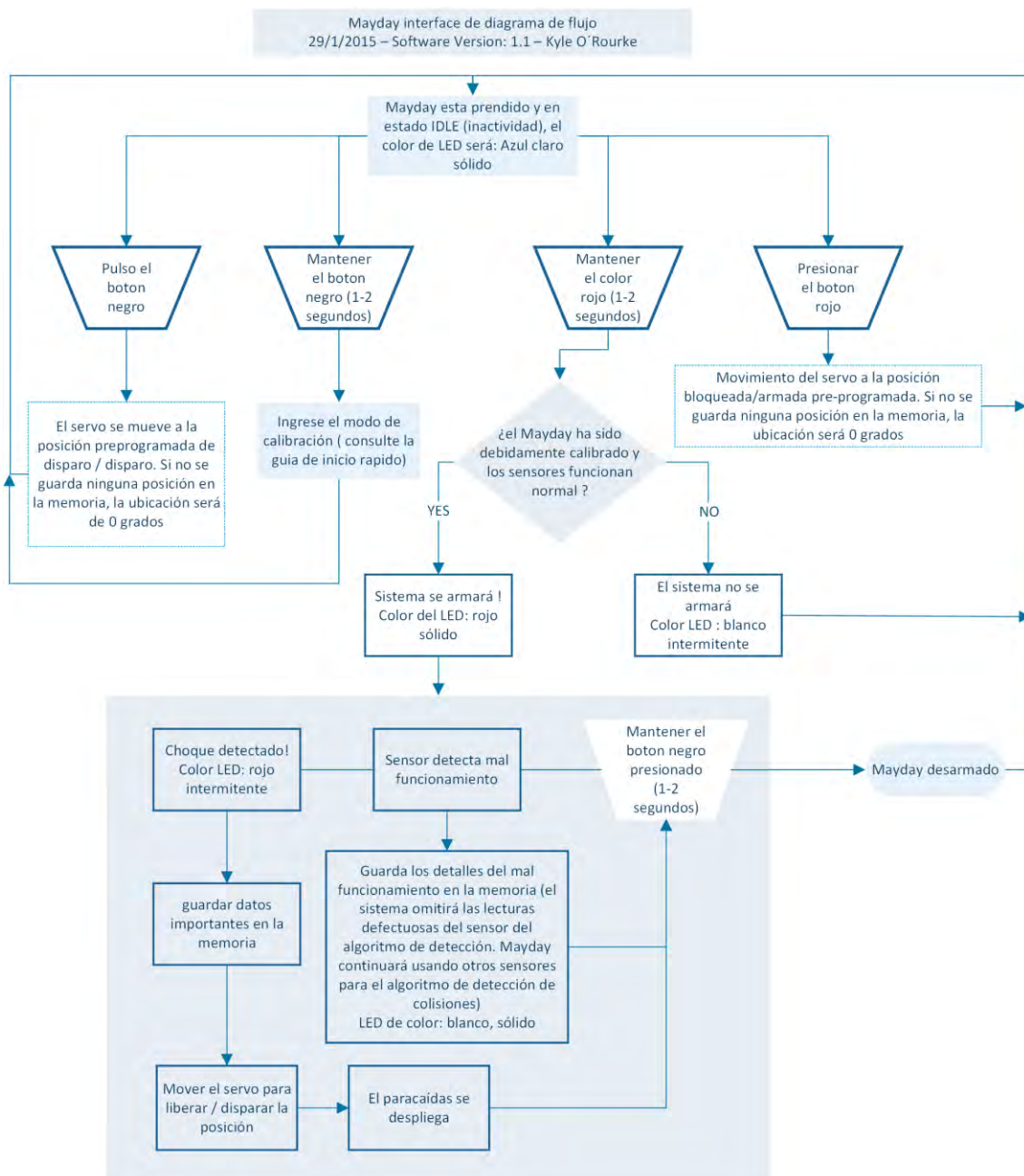


Figura 8. Sistema Mayday

Fuente: Dronestore. Mayday – sistema de activación de paracaídas automático. (ultima revision: 11 junio del 2018). <https://dronestore.cl>

1.2.3. Sistema de información geográfica (SIG)

El sistema de información geográfica (llamado SIG en español y GIS en inglés) de acuerdo a Geoinnova Formación SIG y medio Ambiente es “un conjunto de componentes específicos que permiten a los usuarios finales crear consultas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio” (Geoinnova Formación SIG y Medio Ambiente, 2018). SIG gestiona los datos en una película llamada capa. La capa consiste en información de posición y de atributos, como se muestra en la Figura 9. SIG constituye un modelo del mundo real mediante la superposición de capas, que revela la distribución geográfica y los datos geográficamente relacionados. Los datos utilizados en SIG llamados datos geoespaciales se basan en los llamados Big Data con una variedad de funciones.

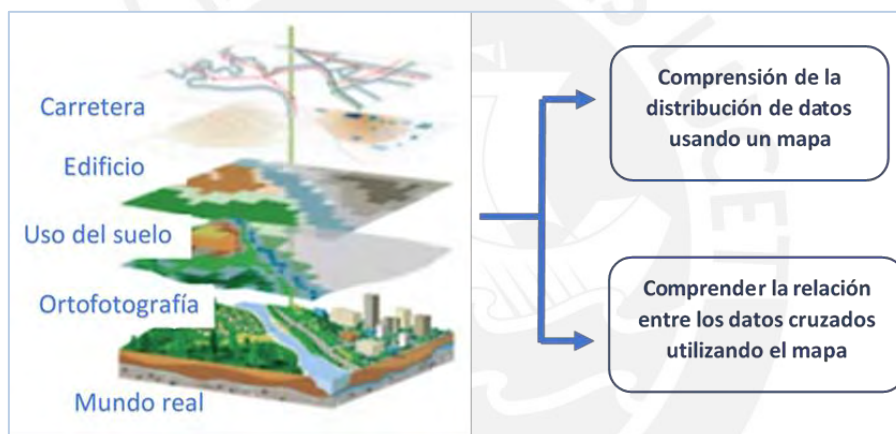


Figura 9. El principio básico de SIG
Fuente: ESRI (2016)

Características típicas y geoespaciales

- El modelo de superficie digital (DSM) considera la altura de los árboles y edificios.
- El modelo digital de elevación (DEM) representa la superficie de la tierra en detalle.
- La función rastreo controla la trayectoria de la información de posición adquirida por GPS.
- Las funciones de estadísticas espaciales agregan los objetos en la vista.
- La geo codificación se encarga de codificar la dirección de texto.
- La función 3D maneja los datos tridimensionales.
- La función de análisis de redes realiza el análisis de los datos de la red.

- La función de análisis espacial simula los eventos que podrían ocurrir en el área de destino, por ejemplo, simulando un tsunami.

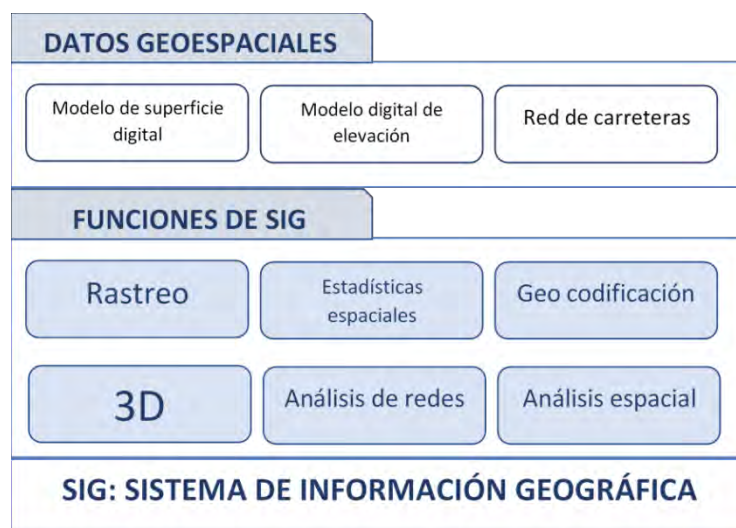


Figura 10. Datos Geográficos – función de SIG
Fuente: ESRI, (2016)

1.2.4. Algoritmo de detección de accidentes

El algoritmo de detección de accidentes se encuentra en el núcleo del sistema eCall y tiene como objetivo proporcionar los medios para detectar automáticamente los choques de vehículos e identificar correctamente el vehículo accidentado. El sistema debería detectar tanto las colisiones como los vuelcos. Las colisiones de los vehículos producen ciertos valores de aceleración que pueden usarse para predecir la gravedad de las lesiones infligidas a los pasajeros. Para ello tendremos que hablar sobre el índice de severidad de aceleración (ASI), que se utiliza para evaluar el potencial de riesgo de los ocupantes. La aceleración generada durante el choque de un vehículo es estudiada por varios autores y el valor acordado se establece en 4g ($g = 9.8 \text{ m / s}^2$) (eNOTIFY, 2011), en la cual si se pasa este límite se considera un choque al vehículo. Por lo tanto, utilizamos el valor 4g junto con la métrica ASI, es decir, el valor de 4g evalúa si ocurre una colisión de automóvil y la métrica de ASI proporciona una estimación de su gravedad.

Interfaz de programación de aplicaciones (API, Application Programming Interface)

Para poder utilizar este programa se utiliza un acelerómetro y datos de un magnetómetro. El resultado de este método proporciona datos con ruido de alta

frecuencia, debido al magnetómetro. Para eliminar el ruido, se aplica un filtro de paso bajo. Por otro lado, el algoritmo del sensor se utiliza para obtener datos del giroscopio. Esta información se multiplica por el intervalo de muestreo para determinar el incremento de rotación. La orientación resultante es la suma de los componentes de baja frecuencia de la orientación del acelerómetro y magnetómetro y el componente de alta frecuencia de la orientación del giroscopio. Para un mejor entendimiento, en la Figura 11 se muestra el proceso explicado anteriormente.

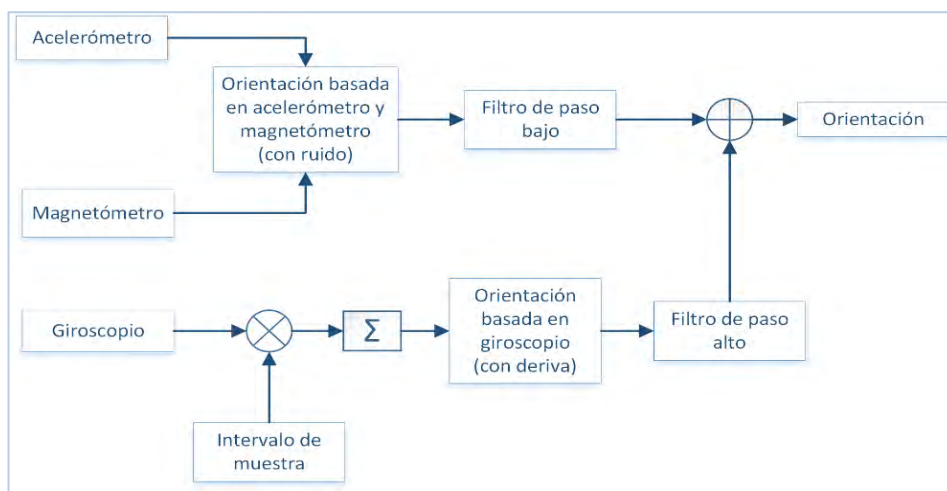


Figura 11. Fusión de sensores para el algoritmo de detección de colisiones de vehículos de carretera

Fuente: Detección automática de accidentes con sistema de alerta multimodal implementación para ITS

1.2.5. Notificación automática avanzada de colisión (AACN, Advanced Automatic Collision Notification)

Durante las reuniones del panel nacional de expertos sobre triaje de campo, los miembros discutieron sobre el potencial de la telemática vehicular para guiar con mayor precisión las decisiones de triaje de trauma. La telemática se define como la combinación de telecomunicaciones e informática. Los sistemas telemáticos para vehículos se combinan e integran directamente en la arquitectura eléctrica del vehículo, como la tecnología de comunicaciones celulares, la capacidad de localización satelital del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y el sistema sofisticado de reconocimiento de voz.

Si bien la telemática vehicular brinda una amplia gama de servicios, la Notificación Automática Avanzada de Colisión (AACN) fue el servicio telemático que desarrolló un particular interés para los miembros del Panel Nacional de Expertos. AACN es

el sucesor de Automatic Crash Notification (ACN) y se encuentra en una cantidad de vehículos motorizados. Actualmente, AACN está instalado en aproximadamente 5 millones de vehículos en los Estados Unidos y Canadá. AACN alerta a los servicios de emergencia de que se ha producido un choque vehicular y convoca automáticamente asistencia. Cuando se produce un bloqueo (determinado por varios sensores, despliegue del airbag o pretensores del cinturón de seguridad), el sistema AACN inicia una llamada inalámbrica de emergencia a un proveedor de servicios telemáticos (OnStar, ATX, etc.) para entregar la ubicación del GPS del vehículo y los datos relacionados con los choques, y abre un canal de comunicaciones de voz al centro de llamadas de emergencia. AACN mejora los datos enviados desde la versión de ACN al incluir datos de gravedad de choque recopilados por los sensores del vehículo.

Telemática de vehículos coherente con alto riesgo de lesiones

En el esquema de decisión que se observa en la Figura 12, se muestran las características del choque vehicular en la evaluación de la decisión de la clasificación prehospitalaria. Esto incluye la alta velocidad del vehículo, deformidad del vehículo mayor a 20 pulgadas e intrusión menor a 12 pulgadas para ocupantes sin cinturón como criterio de mecanismo de lesión. Los datos del Sistema Nacional de Datos de Crashworthiness del Sistema de Muestreo Automotriz (NASS-CDS) indican que el riesgo de lesión, la dirección del impacto y el aumento de la gravedad del choque están relacionados.

Un análisis de 621 accidentes automovilísticos australianos indicó que los impactos de alta velocidad (mayor 60 km / h) se asociaron con lesiones graves, definidas como puntaje de gravedad de lesiones [ISS > 15] (Brazilian Journal of Anesthesiology, 2013). Anteriormente, la utilidad de la velocidad del vehículo había sido limitada debido a los desafíos al personal de EMS en la estimación de la velocidad de impacto con precisión. La nueva tecnología AACN instalada en algunos automóviles puede identificar la ubicación del vehículo, medir el cambio en la velocidad ("delta V") y detectar la dirección de fuerza principal del choque, el despliegue del airbag, el vuelco y la ocurrencia de colisiones múltiples.

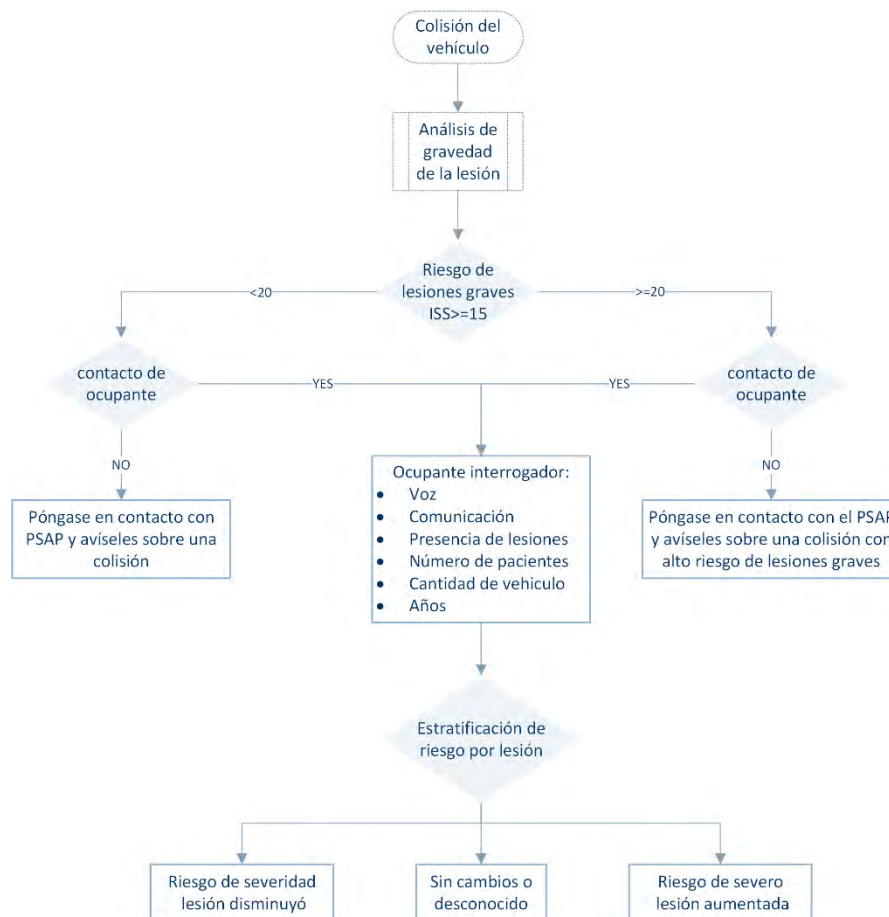


Figura 12. Protocolo Avanzado automático de notificación de colisión
 Fuente: Centros de control y prevención de enfermedades,
 Centro nacional de prevención y control de lesiones, división de respuesta al perjuicio.

1.2.6. Sistema eCall

Anualmente se producen en Europa más de 1,2 millones de accidentes que requieren asistencia médica (Organización Panamericana de la salud, 2013). Muchos de los casos fatales, se producen por la llamada tardía de la ambulancia, el cual se debe a que el paciente o las personas cercas al accidentes se encuentran psicológicamente incapaces de comunicarse con los paramédicos. Es por ello, que el sistema eCall, permite reducir la respuesta en la prestación de los servicios de emergencia, permitiendo salvar un gran numero de vidas. eCall es un proyecto de la Comisión Europea basada en un sistema que, ante la detección de un accidente de transito por medio de los sensores colocados en el vehículo, se realiza la conexión de la llamada al centro de emergencias (E112) enviando la posición del vehiculo y la información codificada del paciente, las cuales son

elementos esenciales para una atención rápida y eficiente, tal como se muestra en la Figura 13.

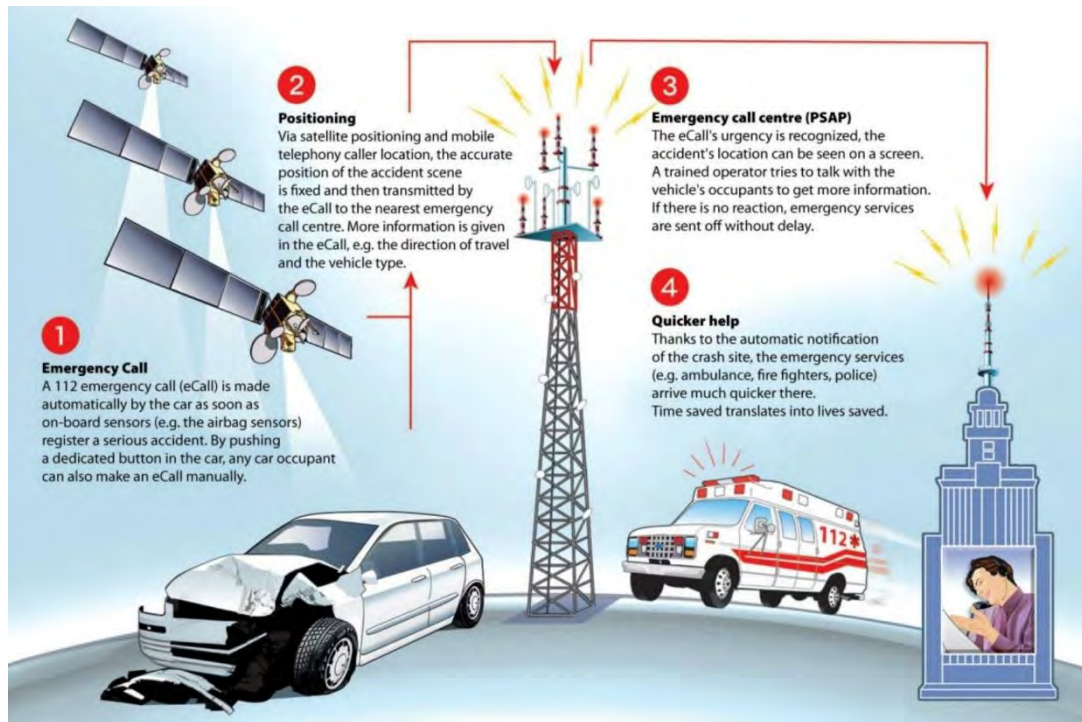


Figura 13. Esquema funcional del sistema de eCall
Fuente: Centros de control y prevención de enfermedades,
Centro nacional de prevención y control de lesiones, división de respuesta al perjuicio

Elementos que integran eCall

El funcionamiento del servicio eCall implica la actuación de distintos agentes y/o dispositivos en la ejecución y atención de la llamada. A continuación, se detallará cada uno de ellos:

- **Vehículo:** El sistema de ayuda puede ser detectado manualmente al presionar el botón de eCall ubicado en el vehículo o de manera automática mediante los sensores del dispositivo al momento del impacto. La información es enviada posteriormente al IVS (invehicle system).
- **IVS:** Esta compuesta esencialmente por cuatro partes (dispositivo GNSS, NAD (Network Access Device), procesador y HMI) y es la encargada de la activación de eCall, la ubicación, dirección de viajes, etc. Luego, esta información es enviada al IVS2MNO.

- **IVS2MNO:** es una interfaz que permite la transferencia de la voz de eCall al paciente.
- **MNO:** El objetivo principal es el transporte de la voz a través de la red, utilizando GMS
- **MNO2PSAP:** Este dominio es la interfaz entre el MNO y PSAP. A consecuencia del número elevado de sistemas eCall en la Unión Europea, es importante que la transmisión de voz y MSD se haga de forma estandarizada.
- **PSAP:** Cuando la voz y MSD se entregan al PSAP, el dominio de PSAP se centra en conseguir voz y MSD para el operador del mismo PSAP. Después, el operador se encargará de la eCall en una forma adecuada que cumpla con los procedimientos operativos para los PSAP.

Beneficios del programa

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2006), uno de los principales beneficios que el sistema eCall ofrece en términos de seguridad vial, es la reducción de los tiempos de respuesta de servicios de emergencia en un 50% en zonas rurales y 40% en zonas urbanas, asimismo se demostró que puede salvar hasta 1500 vidas al año en Europa.

Por otro lado, es esencial tomar en consideración las otras ventajas que posee el sistema eCall en cuanto a las consecuencias de los accidentes de tránsito, como lo es la reducción de los tiempos de congestión de tránsito, consumo de combustible por parte de las ambulancias y la disminución de la emisión de gases. Asimismo, se permitirá obtener una reducción de 20,000 millones de euros con respecto a los 160,000 millones de pérdida económicas que se generan por estos accidente de tránsito en Europa.

1.2.7. Experiencias en Japón

El servicio HELPNET esta compuesta de un dispositivo que se encuentra instalado en el interior del vehículo el cual es capaz de enviar una señal al centro de operaciones HELP (Plataforma Tecnológica española de la carretera, 2011) de manera manual o automática en caso de un accidente de tránsito, donde se comunica la localización de lo sucedido para iniciar el proceso de atención al

paciente. En la Figura 14, se muestra el funcionamiento de este dispositivo, el cual es similar al sistema eCall.



Figura 14. Esquema funcional del servicio HELPNET (Japón)
Fuente: Cuaderno tecnológico de la PTC

Los estudios realizados sobre este sistema permiten reducir considerablemente el tiempo de atención de un accidente de tránsito, logrando poder realizar una tencion en los primeros minutos del accidente, permitiendo que se salven una mayor cantidad de pacientes. La Figura 15, muestra es estudio comparativo entre un evento normal y un evento utilizando el sistema HELPNET.

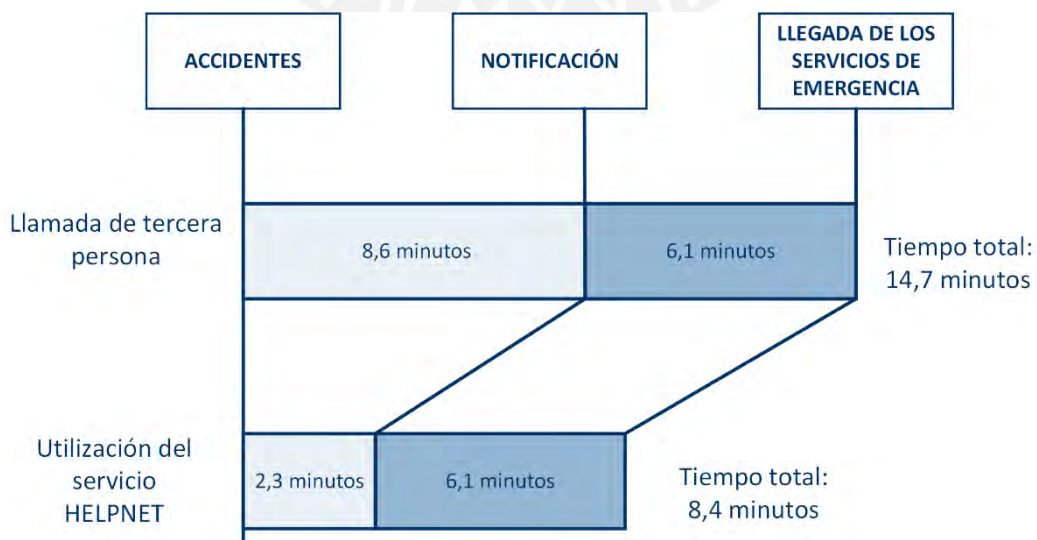


Figura 15. Comparación de tiempos de atención del accidente para el servicio HELPNET (Japón)
Fuente: Cuaderno tecnológico de la PTC

1.3. Factores afectados a causa de los accidentes de tránsito

Los accidentes de tránsito se han convertido en un problema de salud pública, generando un impacto en la sociedad y a nivel económico. Por ello, es materia de análisis de los factores que ocasionan este problema.

1.3.1. Factores sociales

Las condiciones de vida colectiva y las llamadas “enfermedades sociales” representan factores de riesgos las cuales son la iniciadoras de los accidentes de tránsito. Las condiciones ambientales en las que vive la población peruana tienden a la necesidad de reformular los objetivos que se tiene para un desarrollo de la mejora del sistema de salud, la cual debe ser considerada como un sistema integral que esta dentro de un ambiente cambiante. Los continuos cambios de innovación con respecto al transporte, ha permitido lograr una movilidad accesible para las arear unbanas e intraurbanas, sin embargo el gran crecimiento poblacional y vehicular son los motivos principales del incremento de los accidentes de tránsito. Asimismo, los insuficientes recursos que se tienen, no permiten atender la demanda que se presenta anualmente, siendo este tema, responsabilidad directa del gobierno en cuanto a un servicio de calidad y de acceso igualitario para resguardar los principios del desarrollo humano.

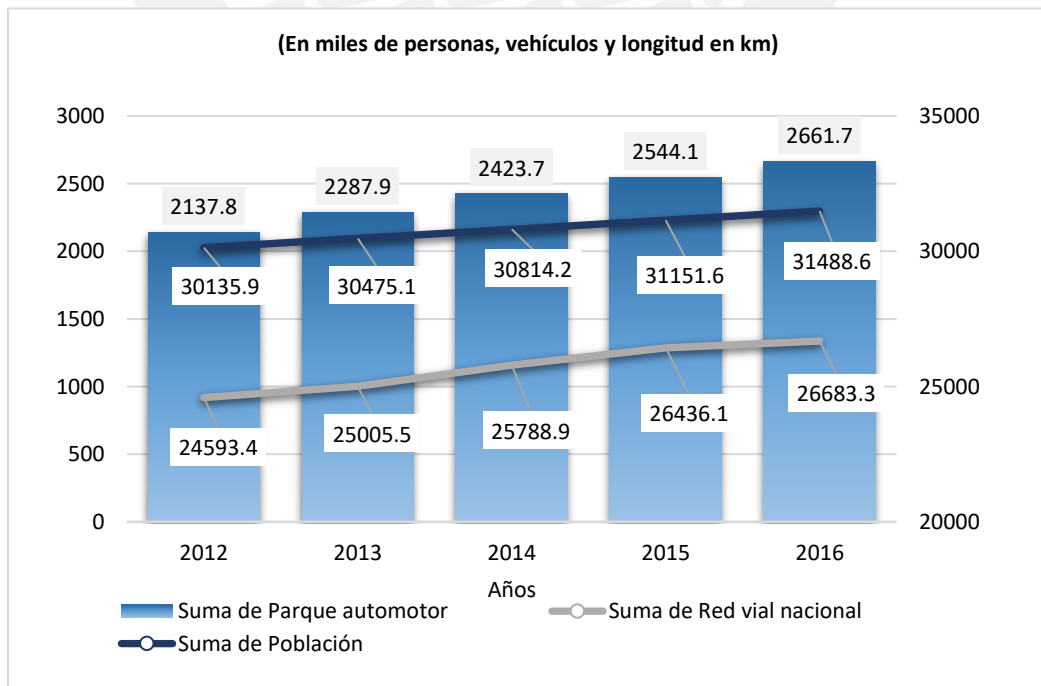
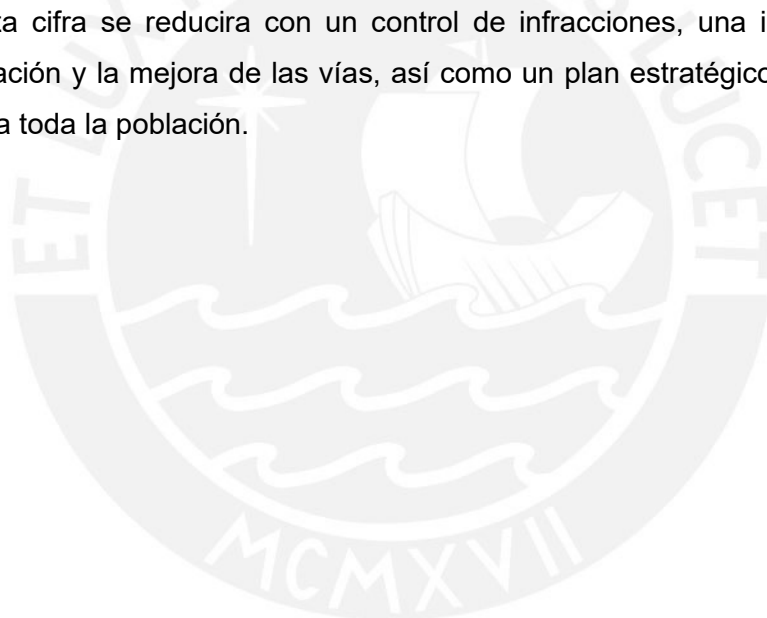


Figura 16. Evolución del parque automotor, población, y de la red vial nacional
Fuente: MTC – OGPP – Oficina de estadística

En la Figura 16, se muestra la evolución de la población, parque automotor y la red vial nacional, los cuales contribuyen al incremento de los accidentes de tránsito como se explico anteriormente.

1.3.2. Factores económicos

En el Perú, la inseguridad vial es uno de los factores que ha generado más de 50,000 afectados anuales, entre muertos, heridos y lesionados, cifra mayor a la generada por la inseguridad ciudadana. En el 2006, murieron 2,700 personas, aproximadamente 8 por día (Andina- Agencia Peruana de Noticias, 2017). Con el pasar de los años, estos accidentes se han incrementado y por ende se ocasionan millonarias pérdidas económicas de aproximadamente 19 mil millones de soles, equivalente 3% del PBI (Consultora Alauda, 2015). De acuerdo con el presidente del Consejo Nacional de Seguridad Vial, Omar Revolledo en el 2017, menciona que esta cifra se reducira con un control de infracciones, una inversión en la señalización y la mejora de las vías, así como un plan estratégico de educación vial para toda la población.



CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

Se describirán diferentes investigaciones que traten sobre la optimización de rutas, así como algoritmos que ayuden a la selección de centros de emergencia más cercanos al accidente, de esta manera se podrá estudiar los modelos que puedan ayudar a nuestro proyecto.

2.1. Casos de estudio

Se analizará cada uno de los casos, para definir qué metodologías y herramientas ayudarán para la implementación del proyecto a realizar.

2.1.1. Caso: *Dynamic ambulance reallocation for the reduction of ambulance response times using system status management*

Autores: Lam SS, Zhang J, Zhang ZC, Oh HC, Overton J, Ng YY, Ong ME.

Objetivos:

Los objetivos de este estudio fueron para modelar los planes de asignación dinámica de ambulancias en Singapur basado en la estrategia System Status Management (SSM) y para evaluar los planes de despliegue dinámicos utilizando un modelo de simulación de eventos discretos (DES).

Sistema médico en Singapur

El sistema de Singapur opera con una flota de 46 ambulancias para responder aproximadamente 280 a 320 llamadas de emergencia al día. Al ocurrir el accidente, la ambulancia más cercana es enviada a responder a una llamada de emergencia recibida por el sistema de despacho centralizado. Posteriormente, se les asigna un estado de triaje basado en la gravedad de los pacientes en categoría escala (escala PAV). Todos los pacientes son derivados a los hospitales más cercanos a la escena del accidente, excepto los pacientes pediátricos o de maternidad que son trasladados a un hospital especializado. Después de que los pacientes son trasladados al hospital, la ambulancia vuelve a su estación original.

Indicadores actuales:

- El tiempo de respuesta: Se utiliza a menudo como un indicador de rendimiento de los procesos clave y de referencia de la industria para un

sistema de emergencias médicas. Para este estudio se definió el tiempo de respuesta como el intervalo de tiempo entre el envío y la llegada de la ambulancia en el lugar de siniestro. La importancia de este indicador es impulsada por la necesidad de tratar condiciones médicas sensibles al tiempo sin demora.

Protocolo de estudio:

Para desarrollar el análisis se utilizó lo siguiente:

- Tiempos de llamada
- Los tiempos de despacho
- Tiempos de llegada de escena
- Tiempos de conducción de los hospitales
- Tiempos de retorno de base
- Localizaciones de las escenas de incidentes

El estado del sistema de gestión (SSM)

El término SSM, describe el proceso de reconocimiento al figurar despliegues de ambulancias, para equilibrar la disponibilidad y la demanda de las mismas a través del tiempo y el espacio. Esta estrategia se ha utilizado para mejorar el rendimiento del tiempo de respuesta, sin la necesidad de desplegar más ambulancias y establecer nuevas ubicaciones de bases de estas.

Sistema de información geográfica

La tecnología de sistema de información geográfica se ha utilizado para analizar la heterogeneidad espacio-temporal de los volúmenes de llamadas de emergencia para diferentes propósitos. Al ser un sistema que es capaz de capturar, analizar y presentar datos que se asocia con ubicaciones geográficas, permite el mapeo preciso y visualización de volúmenes de llamadas de emergencia. Además, facilita la estimación de los tiempos de viaje a través de las redes de carreteras existentes. El sistema de información geográfica puede proporcionar una base más rigurosa para la construcción de los planes de despliegue.

Enfoque de programación matemática

La programación matemática es un enfoque cuantitativo más riguroso para determinar los lugares de despliegue de ambulancias de acuerdo con las

demandas proyectadas y los recursos disponibles, basado en un programa de número entero.

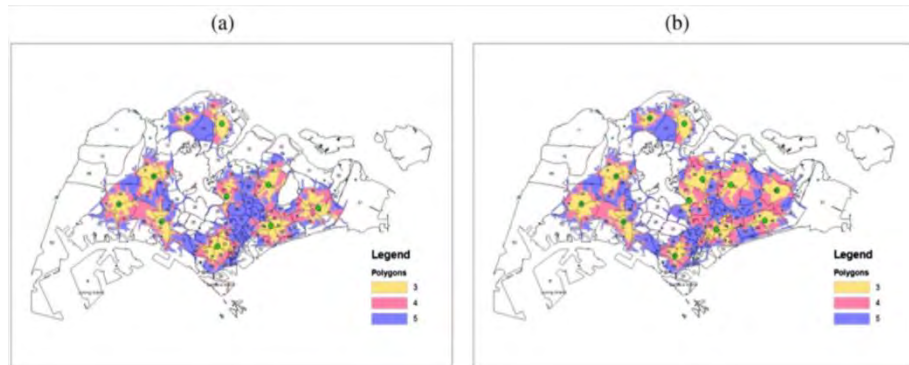


Figura 17. Polígonos de tiempo de viaje que muestran áreas de cobertura para: (a) un despliegue de 10 ambulancias; y, b un despliegue de 12 ambulancias (leyenda: los umbrales de tiempo de viaje en minutos se refieren a tiempos de viaje ideales sin retrasos de tráfico)

Fuente: Wei Lam et.al, (2016)

Simulación de eventos discretos

Se utilizó para comparar el rendimiento de la estrategia SSM (estado de sistema de gestión), utilizando el análisis basado en el SIG y el enfoque MP. Las comparaciones entre la política de asignación estática y la estrategia SSM se hicieron a través de las siguientes medidas de resultado: tiempo de respuesta, sistemas de utilización y las proporciones de cobertura.

Tabla 2. Comparación de tiempos, proporciones de cobertura y la utilización del sistema, bajo estrategias de reasignación dinámica y estática

Comparison of response times, coverage proportions, and system utilization performance under dynamic and static reallocation strategies									
Reallocation strategy	Allocation method	Compliance rates	Response time (min)		Percentage of ambulance calls covered (coverage proportions) under different time thresholds				Unit hour utilization
			Median	90th percentile	8 min	9 min	10 min	11 min	
Dynamic SSM	SSPs based on GIS analysis	100%	6.87	12.66	63.08%	71.90%	78.59%	83.65%	0.313
		80%	6.88	12.73	62.44%	71.47%	78.25%	83.57%	0.311
		60%	7.08	13.00	60.33%	69.43%	76.44%	82.63%	0.313
	SSPs based on MP	100%	6.34	11.31	68.89%	77.63%	83.91%	88.89%	0.315
		80%	6.42	11.37	68.53%	76.75%	83.08%	87.60%	0.316
		60%	6.69	12.03	64.88%	73.62%	80.87%	86.18%	0.318
	SSPs based on MP with delays	100%	6.35	11.58	68.56%	76.86%	83.41%	88.04%	0.315
		80%	6.44	11.66	68.28%	75.40%	82.30%	86.81%	0.315
		60%	6.72	12.24	64.65%	73.47%	79.88%	85.36%	0.317
Static policy based on the e-LEH approach [13]		7.08	12.69	60.47%	69.72%	77.28%	82.98%	0.328	

Fuente: Wei Lam et.al, (2016)

Resultados:

Estrictamente, el modelo DES demostró que el sistema de información geográfica, tuvo una reducción de aproximadamente 13 segundos en los tiempos de respuesta, en comparación con la política de reasignación estática, mientras que la programación matemática dio lugar a aproximadamente una reducción de 44 segundos. Los tiempos de respuesta y la cobertura siguen siendo mejor que la política estática cuando ocurrieron las reasignaciones de solo el 60% de todos los movimientos recomendados.

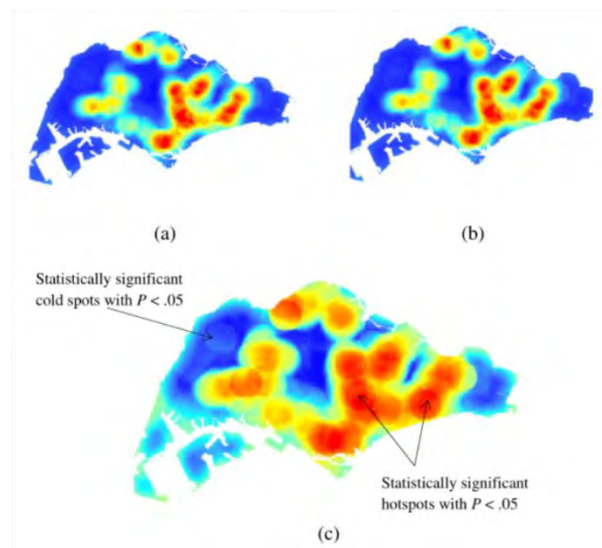


Figura 18. Estadísticas para el análisis de HotSpot: (a) fines de semana; (b) días laborables horas sin trabajo (6: 00 p.m.-8: 00 a. m.); y, (c) días laborables horas (8:00 a. m.-6:00 p. m.)

Fuente: Wei Lam et.al, (2016)

Conclusiones:

Basado en un modelo DES virtual, la estrategia SSM tiene el potencial de salvar vidas a través de la mejora del rendimiento del sistema de emergencias médicas. La estrategia SSM se encuentra para dar tiempos de respuesta y rendimiento superiores en comparación con la cobertura de las políticas de reasignación estáticas, incluso bajo escenarios de cumplimiento incompleto.

2.1.2. Caso: *Dynamic Ambulance Deployment to Reduce Ambulance Response Times using Geographic Information Systems: A Case Study of Odunpazari District of Eskisehir Province, Turkey*

Autores: Masoud Swalehe, Semra Gunay Aktas

Objetivos:

El objetivo del estudio era encontrar estaciones óptimas para desplegar ambulancias a fin de reducir los tiempos de respuesta de ambulancia y aumentar las posibilidades de supervivencia del paciente como consecuencia de ello.

Sistema médico:

El EMS (Sistema médico de emergencias) del distrito Odunpazari es gestionado por el Ministerio de Salud de Turquía bajo la dirección de salud de la provincia de Eskisehir, que opera el servicio nacional de teléfono "112" de emergencia. El sistema es atendido por una unidad de despacho centralizado que utiliza protocolos asistido por un ordenador médico, sistemas de localización automática de vehículos basados en satélites de posicionamiento global, y sistemas de control de tráfico. El sistema cuenta con una flota de 17 ambulancias que responden a aproximadamente 20 260 llamadas al año. Operativamente, la ambulancia más cercana disponible siempre se distribuye a responder a una llamada de emergencia recibida por el sistema de despacho centralizado.

Indicadores actuales:

- *Tiempo de respuesta de la ambulancia:* Es el período entre el momento de grabación de una llamada de emergencia y el tiempo de la primera ambulancia que llega a la escena en un evento que amenaza la vida para proveer de asistencia médica hospitalaria.

Técnicas y modelo:

Para reducir los tiempos de respuesta de ambulancias para el distrito de Odunpazari, el estudio empleó la técnica de estado del sistema de gestión empleado y modelo de optimización del problema de ubicación de cobertura máxima, para desplegar las ambulancias de acuerdo a la demanda y garantizar la cobertura del accidente, utilizando un número pequeño de la flota de ambulancias.

Herramienta:

Red ArcGIS: La herramienta de asignación de ubicación del analista se utilizó para encontrar estaciones de ambulancia óptimas desde donde se puede llegar a las áreas de demanda de ambulancia, dentro de los cinco minutos de tiempo de conducción. Se modelaron cuatro planes diferentes de despliegue de ambulancia por períodos que van desde las 00:00 hasta las 06:00 h, 06:00 a 12:00 h, 12:00 a 18:00 h y de 18:00 a 24:00 h.

Distribución en tiempo geoespacial de las llamadas de emergencia de ambulancia

Ha sido utilizada con éxito como base para el despliegue de ambulancias óptimo para reducir los tiempos de respuesta de la ambulancia y maximizar la eficacia de

la implementación de la ambulancia. La razón principal de por qué se propusieron cuatro planes de despliegue de ambulancias en función del tiempo era para atender a las zonas de alta demanda de llamadas desde los lugares de acuerdo a las diferentes horas del día. Por lo tanto, el estudio propone que más ambulancias deben ser colocadas cerca de las áreas residenciales por la noche que en los lugares de trabajo y más ambulancias deben ser desplegadas cerca de los lugares de trabajo durante las horas del día.

El estado del sistema de gestión

Es una técnica para hacer coincidir el movimiento de ambulancias en previsión de donde serán necesarios próximamente, mediante el uso de datos históricos, respuesta de ambulancia temporal y geográfica. SSM es un sistema basado en un ordenador en el que se utilizan datos de las llamadas históricas para desplegar la flota de ambulancias para el tiempo de respuesta óptimo ambulancia y predecir dónde es probable que se produzca el siguiente grupo de llamadas. SSM se ha convertido en la estrategia más ampliamente aceptada para la gestión de los recursos EMS y se ha utilizado para mejorar el rendimiento del tiempo de respuesta de la ambulancia sin la necesidad de desplegar más ambulancias y establecer nuevas ubicaciones de base ambulancia.

Problema de ubicación de cobertura máxima (MCLP)

Es un modelo de optimización de la ubicación donde su estrategia consiste en el despliegue de ambulancias, tomando en cuenta la maximización de la cobertura de las áreas de demanda con un número limitado de los recursos de ambulancias. MCLP no implica costes adicionales de expansión de la flota de ambulancias ya que garantiza la máxima demanda con una flota pequeña. El modelo de optimización MCLP fue adoptado para encontrar estaciones óptimas donde las ambulancias del distrito Odunpazari pueden ser desplegados con el fin de llegar a las zonas de demanda dentro de los cinco minutos de tiempo de conducción.

Resultados:

La flota de 17 ambulancias de Odunpazari se desplegó de manera diferente por cada seis horas; entre las 00:00 a 06:00 h, 6:00 a 12:00 h, 12:00 a 18:00 h y 18:00 a 24:00 h para que coincida con la demanda y, como resultado, el 77,6% de la demanda se atendió dentro de los cinco minutos de tiempo de viaje desde la estación de la ambulancia más cercana.

2.1.3. Caso: Dispatch of helicopter emergency medical services via advanced automatic collision notification

Autores: Matsumoto H, Mashiko K, Hara Y, Yagi T, Hayashida K, Mashiko K, Saito N, Iida H, Motomura T, Yasumatsu H, Kameyama D, Hirabayashi A, Yokota H, Ishikawa H, Kunimatsu T.

Objetivos:

El propósito de este estudio fue validar la viabilidad de los primeros servicios médicos de emergencia en helicóptero de despacho vía AACN (American Association of Critical-Care Nurses)

Indicador actual:

- Tiempo de respuesta de la ambulancia: Es el período entre el momento de grabación de una llamada de emergencia y el tiempo de la primera ambulancia que llega a la escena en un evento que amenaza la vida, para proveer de asistencia médica hospitalaria.

Métodos:

Se realizó un estudio de validación a gran escala. Un coche equipado de AACN fue hecho para chocar con una pared. Inmediatamente después de la colisión, los dobladillos fueron alertados directamente por el centro de la operación, que recibió la información de AACN. Se registraron los tiempos transcurridos y se compararon con los deducidos del proceso de solicitud de emergencia normal en los dobladillos del mundo real.

Sistema japonés HEMS (Helicopter Emergency Medical Service):

Como proyecto nacional bajo la dirección del Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar, el sistema HEMS japonés se desarrolló con base en ADAC en Alemania, REGA en Suiza y el HEMS de Londres en el Reino Unido. Desde el 2001, el sistema HEMS se ha establecido en 47 bases en todo Japón; sin embargo, la cobertura nacional aún no se ha logrado. En este sistema, un helicóptero está configurado especialmente para EMS (Emergency Medical Service), y el personal del helicóptero incluye un médico y una enfermera a bordo. El personal del helicóptero es alertado por una llamada directa desde el centro de despacho en el departamento de bomberos (FD) o por un técnico de emergencias médicas (EMT) en la escena, y el helicóptero está en el aire dentro de unos

minutos después de recibir la llamada. El helicóptero aterriza en la escena o en un helipuerto temporal designado, como un parque público, un campo de atletismo o el patio de la escuela más cercano a la escena. El médico y la enfermera de vuelo realizan la administración de la vía aérea, la reanimación con líquidos, la administración de medicamentos y algunas intervenciones quirúrgicas en la escena o en una ambulancia estacionada en el helipuerto temporal. Luego, el paciente es transportado al hospital en helicóptero o ambulancia.

Car Crash Test

Se realizó una prueba de choque de vehículos a gran escala con el uso de HEMS y un auto de prueba equipado con un sistema AACN para desarrollar un nuevo enfoque para un sistema de alerta de HEMS, de acuerdo con el flujo experimental que se muestra en la Figura 20. El estudio se planificó y realizó en colaboración con la organización sin fines de lucro especificada de la Red médica de emergencia de helicópteros y hospitales (HEM-Net); Toyota Motor Corporation; el Instituto de Investigación del Automóvil de Japón (JARI) para realizar la prueba de choque; el Tsukuba FD ubicado cerca de JARI; y HELPNET, un centro privado de llamadas de emergencia. El centro de traumatología de las instalaciones del autor es un hospital para la base de HEMS y recibe aproximadamente 1.200 solicitudes al año. El automóvil (Toyota Crown Majesta) equipado con un sistema AACN colisionó frontalmente contra una pared a 50 km / h en la instalación de prueba de choque de JARI. Dos maniqués (HYBRID-III AM50 como pasajero con cinturón de seguridad y HYBRID-III AF05 como conductor sin cinturón de seguridad) se sentaron en el vehículo. Inmediatamente después de la colisión, se alertó al helicóptero con un médico a bordo y una enfermera en espera en la base HEMS a través del centro de operaciones de HELPNET en función de la información de la AACN (Figura 21). El algoritmo de AACN desarrollado por Toyota Motor Corporation en colaboración con Wake Forest University fue adoptado para predecir la gravedad de la lesión de los ocupantes. El helicóptero despegó del hospital base mientras que el personal de Tsukuba FD fue enviado a la escena y transportó al paciente (un maniquí) a un helipuerto temporal que se preparó cerca de la instalación de prueba de choque en JARI. El helicóptero aterrizó después de que el FD garantizara la seguridad del sitio, y el personal médico comenzó el tratamiento en la ambulancia antes de transportar al paciente al hospital base en helicóptero (Figura 22. A).

Los tiempos reales se registraron para cada segmento de Tsukuba FD y la respuesta HEMS. Los tiempos estimados (tiempos promedio típicos en la vida

real) se establecieron en cinco minutos para la notificación del FD y en siete minutos para la llegada del personal de EMT a la escena de la colisión. Estos tiempos se basaron en casos de emergencia de rutina en los que se solicitó el HEMS a través del FD sin el uso de AACN (Figura 22. B). Luego, el tiempo transcurrido registrado desde la prueba se comparó con el tiempo estimado después de la prueba de escala completa.

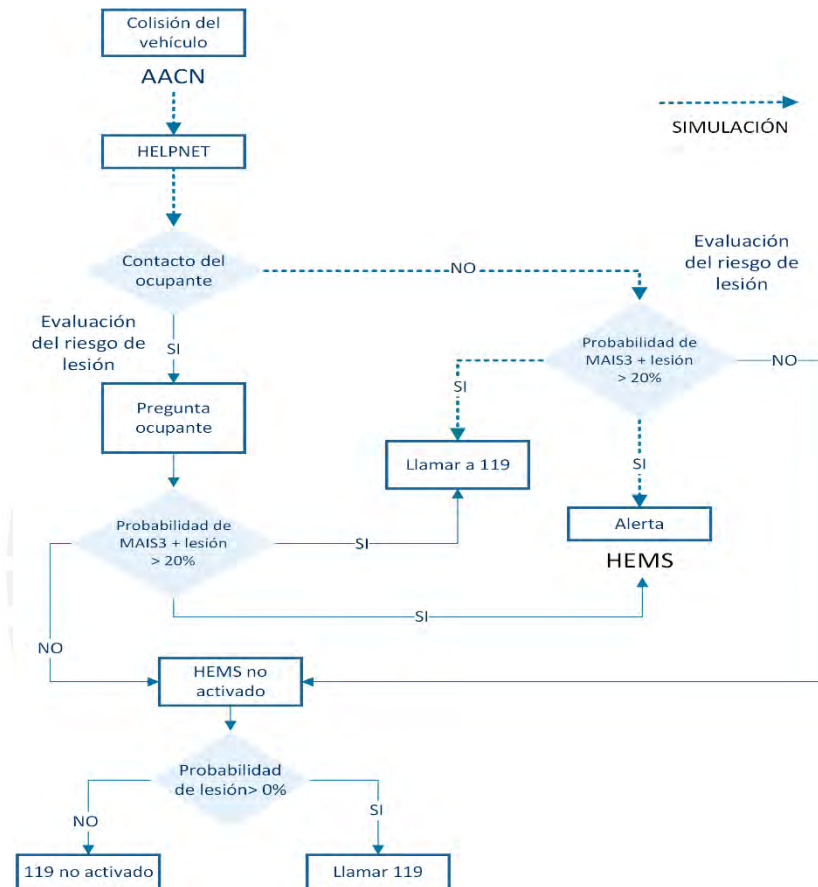


Figura 19. Protocolo de activación de servicios médicos de emergencia para helicópteros utilizando el sistema avanzado de notificación automática de colisiones. 119 corresponde al 911 en los Estados Unidos, AACN = notificación de colisión automática avanzada, HEMS = servicios médicos de emergencia en helicóptero, MAIS3 + = puntuación máxima de lesión abreviada 3 o más en 6 rangos.

Fuente: Matsumoto et.al, (2015)

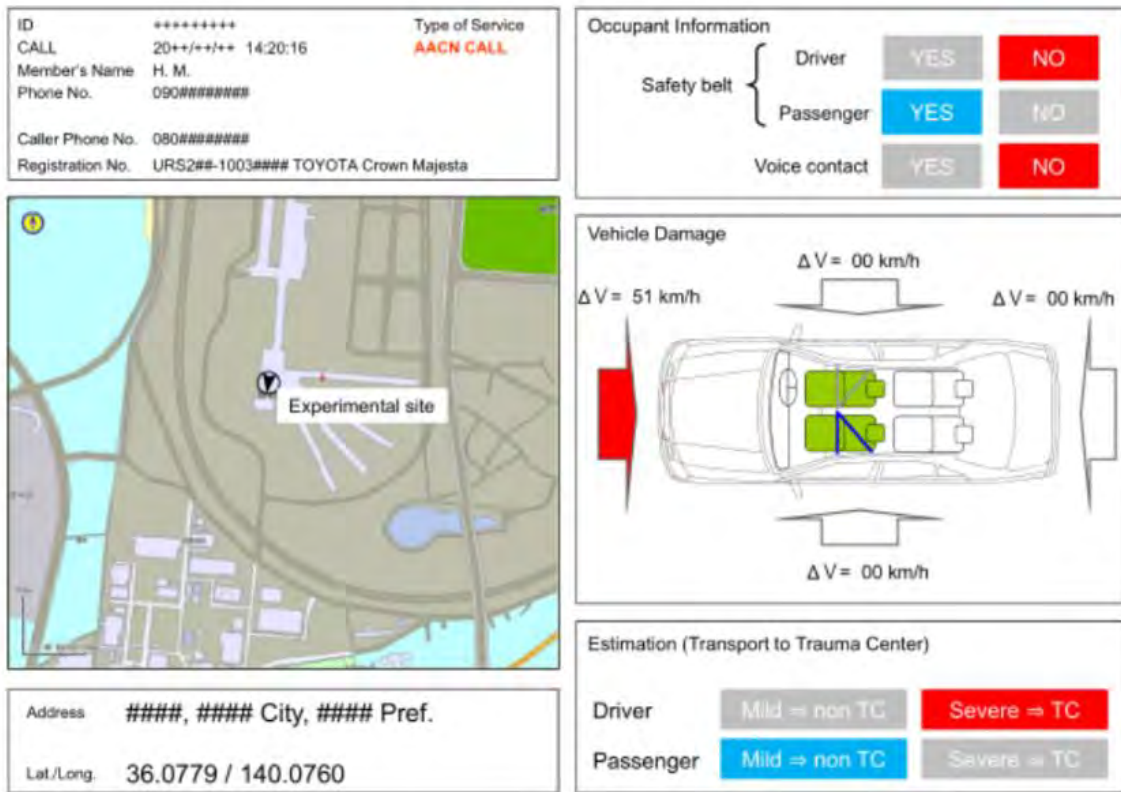


Figura 20. La pantalla de la información avanzada automática de notificación de colisión. AACN = notificación automática de colisión avanzada; TC = centro de trauma
Fuente: Matsumoto et.al, (2015)

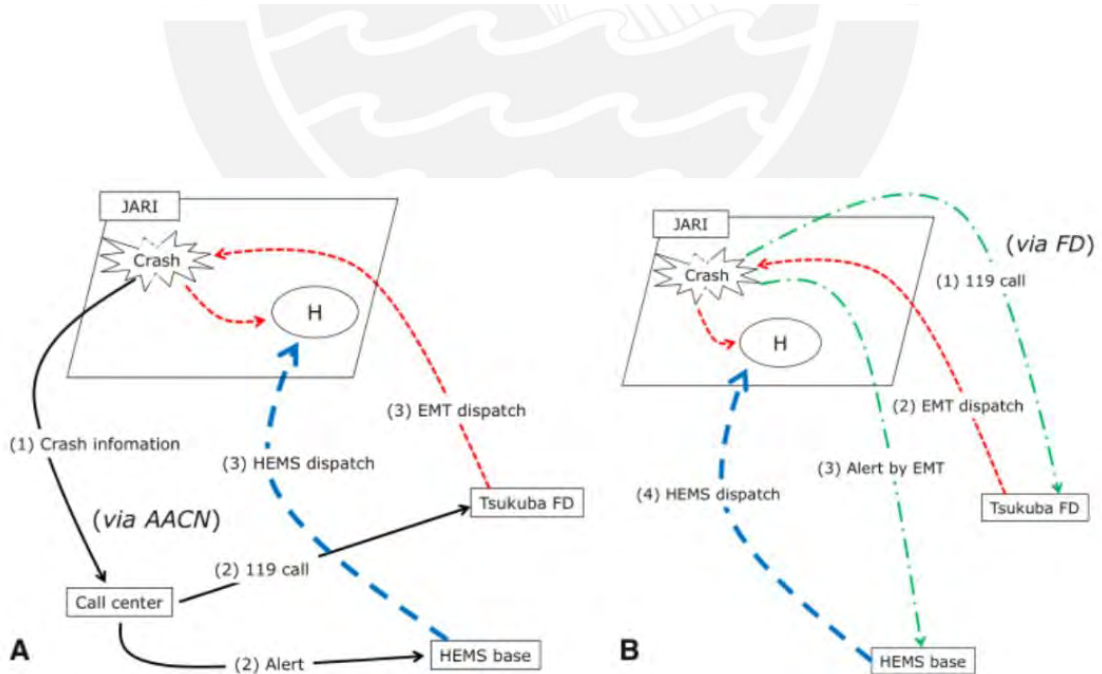


Figura 21. (A) Flujo de alerta de servicios médicos de emergencia de helicóptero (HEMS) a través de notificación automática avanzada de colisión (AACN). (B) Flujo de alerta HEMS por el técnico de emergencias médicas (EMT) en la escena. FD = departamento de bomberos. 119 corresponde al 911 en Estados Unidos. H = hospital.
Fuente: Matsumoto et.al, (2015)

Resultados:

La información de AACN fue enviada al centro de la operación solamente 7 s después de la colisión; los dobladillos fueron enviados después de tres minutos. El helicóptero aterrizó en el helipuerto temporal 18 minutos más tarde. Finalmente, la intervención médica se inició 21 minutos después de la colisión. Sin AACN, se estimó que los dobladillos se solicitarían 14 minutos después de la colisión por el personal del Departamento de bomberos. El comienzo del tratamiento fue estimado para ser en 32 minutos, que era 11 minutos más adelante que el asociado al uso de AACN.

Conclusiones:

El envío de los dobladillos usando el AACN puede acortar la hora de comienzo del tratamiento para los pacientes en colisiones del vehículo de motor. Este estudio demostró que es factible alertar y activar automáticamente los dobladillos a través de AACN.

2.2. Conclusiones sobre el estado del arte

Analizando todos los casos desarrollados, nos damos cuenta de la importancia de buscar alguna alternativa para el mejoramiento de la atención de las ambulancias en todo mundo, ya que, como se mencionó al inicio, los accidentes de tránsito son uno de los causantes principales de muerte en todo el mundo. A consecuencia de ello, se registran diferentes investigaciones que serán de gran utilidad para la presente tesis. Se mostrarán diferentes algoritmos y métodos para desarrollarlo, así como también las herramientas y programas necesarios a emplear en este nuevo sistema que se pretende desarrollar, con el fin de garantizar la optimización de rutas, así como la eficiencia de llegada y traslado de los pacientes al centro médico más cercano. De esta manera, se reducirá notablemente las vidas perdidas a causa del servicio insuficiente de las ambulancias en Lima Metropolitana.

CAPÍTULO 3. SITUACIÓN ACTUAL

Se evaluará la situación actual y se analizará sus deficiencias, tomando en cuenta un mapa de procesos de una empresa aseguradora. Además, se explicarán las herramientas y metodologías utilizadas para la mejora de la situación actual de la atención de las ambulancias en las clínicas. Por otro lado, se mencionará el alcance del proyecto, así como las limitaciones que se tendrán en cuenta.

3.1. Estadística sobre los accidentes de tránsito en Lima Metropolitana

A continuación, se detallarán ciertos datos estadísticos como: la cantidad de siniestros fatales y no fatales, los horarios en donde se producen mayor cantidad de accidentes, el tipo de vehículo más implicado en estos problemas, el departamento con mayor frecuencia de colisiones, así como la edad más vulnerable (Siniestros Viales en el Perú – Transitemos, 2018)

De acuerdo con el estudio, se generan en promedio 96 725 siniestros viales anualmente, donde se dan casos no fatales y fatales en promedio 94 297 y 2 428 respectivamente. Por otro lado, el 40% de estos accidentes de tránsito se dan por colisiones las cuales son causadas principalmente por fallas humanas, representando un 80%, las cuales se subdividen en exceso de velocidad, conducción en estado de ebriedad e imprudencia del conductor. Asimismo, los vehículos principales que causan estos accidentes son automóviles y camionetas, representando un 57%. Adicional a ello, la zona con mayor índice de accidentes de tránsito se da en Lima y Callao, donde de cada diez siniestros producidos en Perú, seis son registrados en la zona mencionada. Además, los picos mas altos de estos siniestros se dan los fines de semanas (36%), entre los horarios de 14:00 y 20:00 horas (31%), así como en via urbanas como las calles y avenidas (57%). Finalmente, este estudio menciona que en el 2013 se obtuvo 1 200 casos fatales, entre las edades de 25 hasta los 60 años, las cuales son activamente económicas y las más vulnerables.

A consecuencia de los desarrollado anteriormente , se evaluará la cantidad de accidentes que existe por distritos en Lima Metropolitana, para poder tener una mejor visión sobre los lugares con mayor afluencia de pacientes, así se determinará la mejor estrategia para abordarlos y ayudar a la reducción de accidentados que llegan muertos por tener que trasladarse a un centro médico por

largo tiempo o simplemente por la falta de ambulancias necesarias. Revisando las estadísticas de estos últimos años se observó lo siguiente:

En la Figura 22, se muestran los casos de accidentes distribuidos por distrito, donde los cinco distritos con mayores casos de accidentes son Breña, Jesús María, La Victoria, Lima Cercado y Lince (INEI, 2011). En algunos años se tuvo un crecimiento con respecto a los anteriores años.

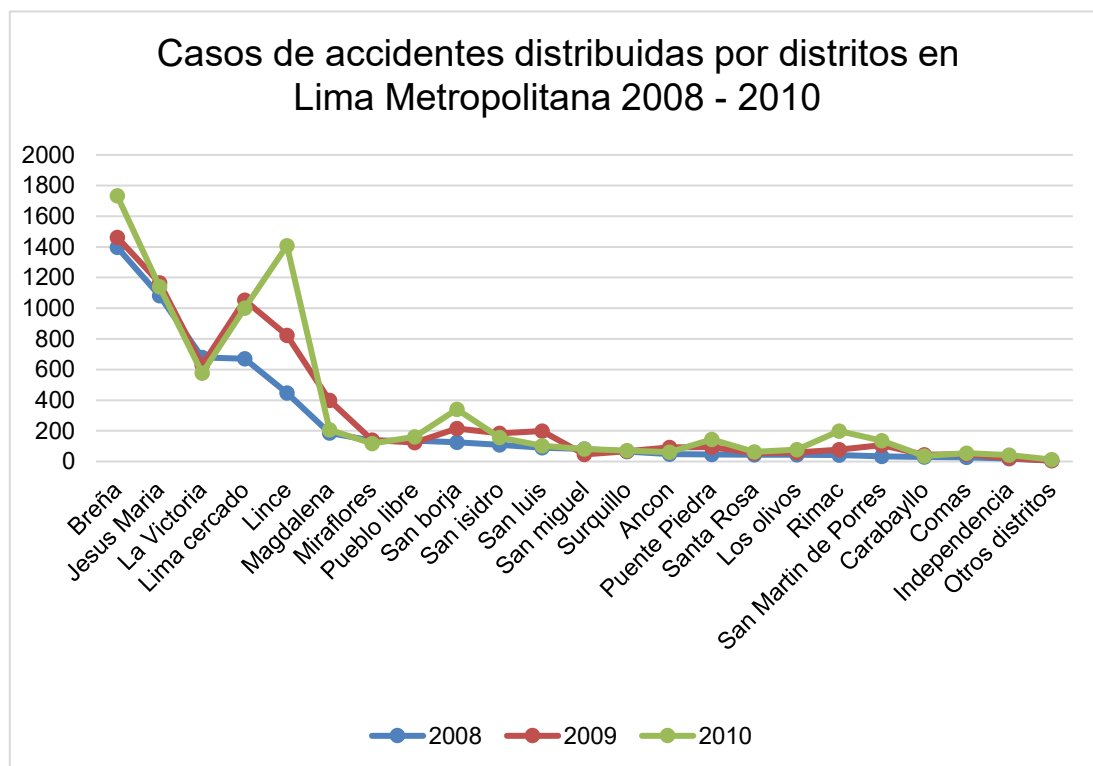


Figura 22. Casos de accidentes de tránsito por distritos en Lima Metropolitana 2008 – 2010
Fuente: INEI (2011)

Por otro lado, debemos saber que hay accidentes fatales y no fatales, en las cuales los distritos de afección son diferentes y esto se puede deber a muchas causas, debido a que si son accidentes fatales estos pueden ser causados por falta de hospitales cercanos al lugar del accidente, como se muestra en la Figura 25, se observa que en los distritos Punta Negra y San Bartolo no existen hospitales en el mismo.

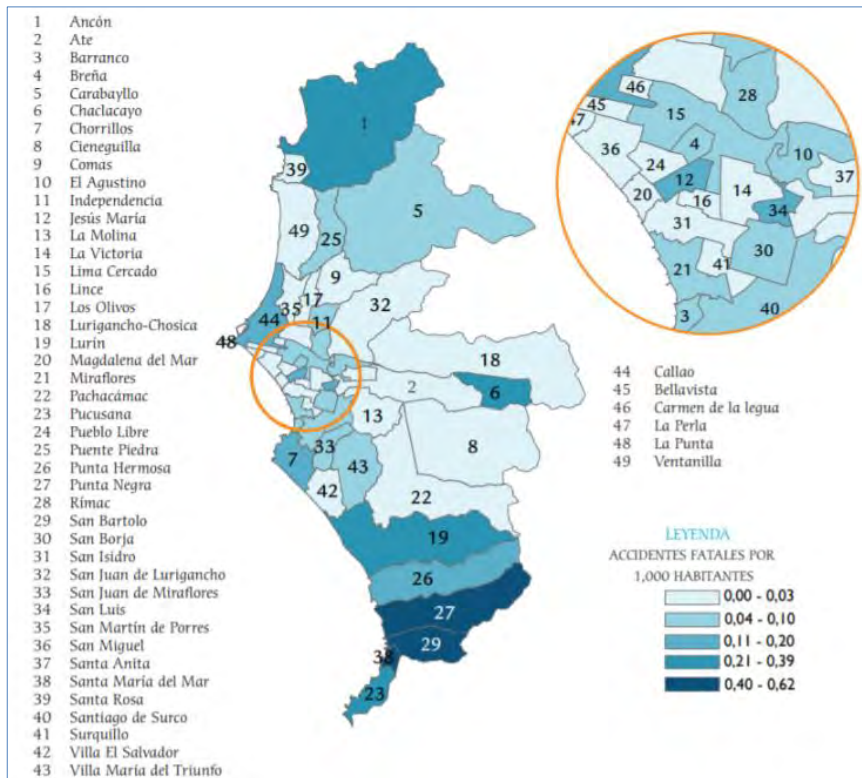


Figura 23. Mapa de accidentes de tránsito no fatales por cada 1000 habitantes en Lima Metropolitana y Callao, 2015
Fuente: INEI

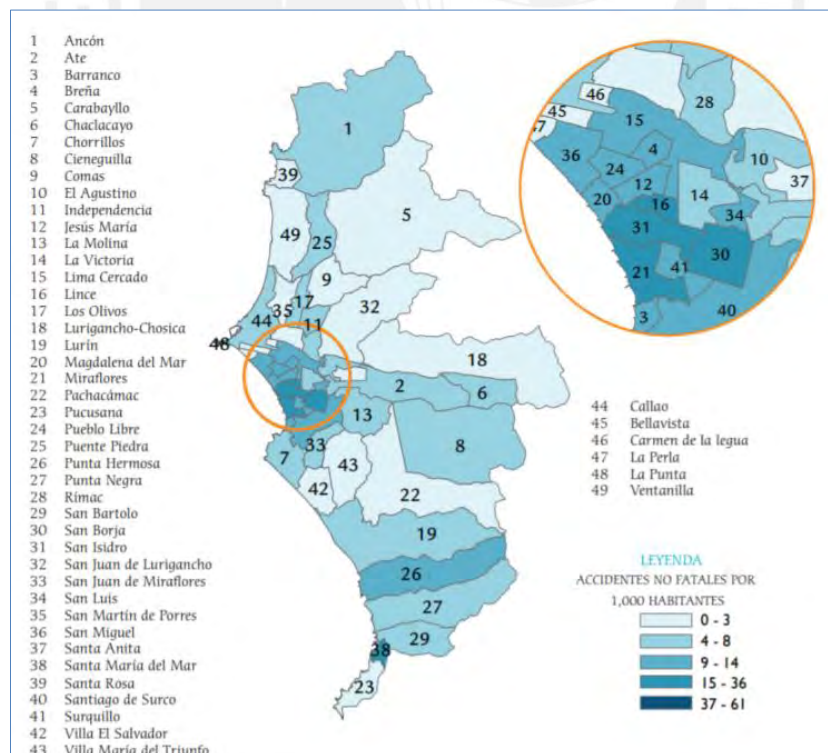


Figura 24. Mapa de accidentes de tránsito fatales por cada 1000 habitantes en Lima Metropolitana y Callao, 2015
Fuente: INEI

3.2. Mapa de procesos del funcionamiento de las ambulancias

Antes de explicar el proceso que se detallará en la Figura 28, debemos tener en consideración que, en Lima Metropolitana, que es el lugar donde se realizan las pruebas para la implementación del dispositivo vehicular, existen 20 hospitales en las cuales se atienden emergencias las 24 horas al día y están preparadas para cubrir todo tipo de accidentes.

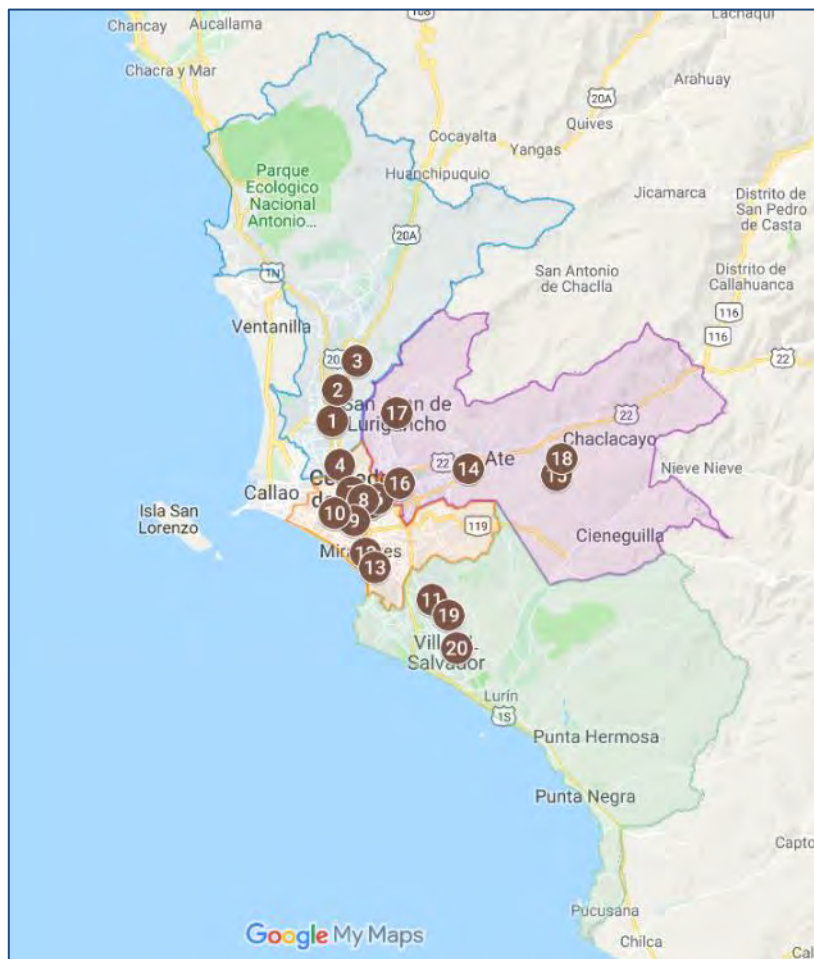


Figura 25. Mapa de hospitales y clínicas que atienden emergencias
Fuente: Google Maps

3.3. Análisis de las dificultades del mapa de procesos

- Al inicio de flujo se puede observar que la persona que realiza el llamado (alertante), tiene que brindar toda la información al centro del despacho, para que ellos puedan enviar a una ambulancia. Esto es una de las dificultades más graves, puesto que muchas veces la persona no es capaz de poder describir el lugar donde se ha producido el accidente y esto provoca demoras en el flujo.
- En el proceso de identificación del accidente, muchas veces hay calles muy parecidas, por ello se puede dar el caso de que se manden unidades al lugar

incorrecto; esto es una gran debilidad en el sistema; ya que se podría perder la vida del paciente por el tiempo de llegada.

- Otra desventaja en el sistema es que cuando se envían unidades al accidente no existe un cálculo que permita saber el nivel del accidente para poder determinar cuántas ambulancias se mandarían al lugar del accidente, o si es necesario el apoyo de otras compañías como de bomberos o policías.
- En cuanto al proceso de traslado del paciente al centro médico, se tiene una central que selecciona el lugar al que va a ser trasladado; sin embargo, esto requiere de tiempo para ver en el mapa el punto más cercano para su atención.

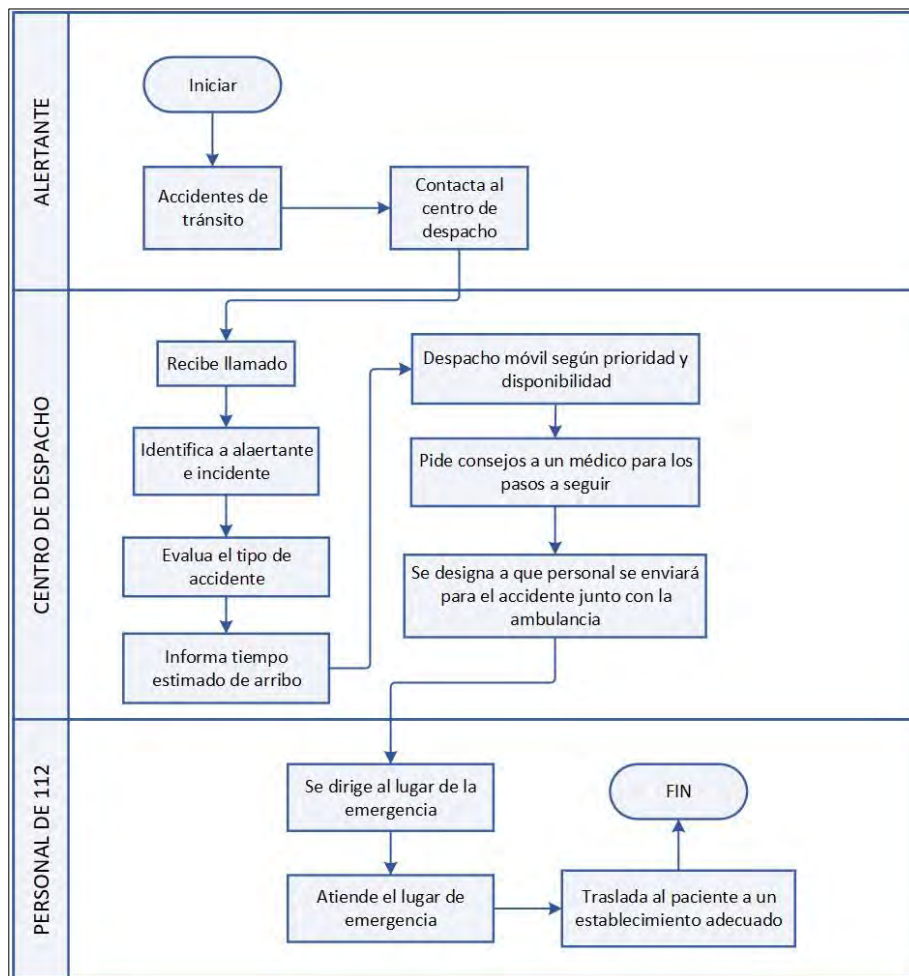


Figura 26. Flujograma de la atención de ambulancias
Fuente: SAMU (Sistema de atención móvil de urgencia)

3.4. Herramientas y métodos

Para desarrollar el presente trabajo, se definirán y explicarán las herramientas y métodos que serán utilizadas:

Tabla 3. Herramientas y métodos utilizados para el modelo planteado

Herramienta	Descripción
ArcGIS (Sistema de Información Geográfica)	La herramienta de ArcGIS, ayudará en la exploración del territorio en cuanto al desplazamiento de las ambulancias determinando las facilidades o impedimentos que existen en el recorrido desde un punto A hacia un punto B.
Algoritmo de Dijkstra	Este algoritmo será utilizado para determinar la ruta más corta o la de menor costo, la cual está desarrollada por Edsger Dijkstra, con la finalidad de obtener la matriz de distancias.
Arena Simulation software	Esta herramienta servirá de ayuda para identificar la mejor solución al problema, simulando el sistema de implementación del proyecto. Asimismo, brinda un resultado cuantitativo con el que podremos llegar finalmente a una conclusión y posterior recomendación.

Elaboración Propia

3.5. Alcance y Limitaciones:

En esta sección se definirán los siguientes supuestos, los cuales ayudarán a tener una mejor visión del alcance que se tendrá, así como las limitaciones que se han encontrado en el desarrollo de la situación actual.

Alcance:

- Se tomará en cuenta hospitales de Lima Metropolitana, ya que es el departamento con mayor cantidad de accidentes de tránsito.
- Este trabajo estará dirigido para personas que tengan un vehículo, puesto que la implementación del dispositivo se colocará en el mismo.
- Estará dirigido para personas que tengan seguro contra accidentes o no cuenten con este.

- Se tomará diferentes rangos de tiempo donde las horas serán, entre las 00:00 a 07:00 h, 07:00 a 12:00 h, 12:00 a 18:00 h y 18:00 a 24:00 h.

Limitaciones:

- Se ha realizado una selección de los hospitales, los cuales tengan una atención hospitalaria completa de emergencias y atiendan las 24 horas.



CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA

En este capítulo se desarrollará la explicación del modelo a implementar, el levantamiento de información, los supuestos que han tenido que ser tomados en cuenta en este proyecto, así como el detalle de la elaboración de la propuesta.

4.1. Explicación de la propuesta de mejora

En la literatura revisada en el capítulo 1, se mencionaron diversos modelos matemáticos y programaciones a utilizar; sin embargo, al desarrollarse este trabajo, se han tomado más consideraciones que harán que la optimización del tiempo de respuesta de las ambulancias hacia los puntos de accidentes (el objetivo principal) se cumpla de manera más completa, es por ello que se presentará una evaluación de dos políticas y finalmente la elección de una de ellas.

El modelo propuesto se resuelve con el uso de Arena Simulation software, el cual permite añadir el intervalo de horas con sus respectivas velocidades. Por otro lado, es un programa dinámico que permite realizar las modificaciones respectivas ante cualquier cambio en el sistema, como recepción de una nueva llamada, creación de un nuevo centro médico, etc.

Debido a los inconvenientes en las diversas decisiones de asignación y/o despacho y la dificultad de evaluar el impacto de cada una de ellas, se tomarán dos políticas que son importantes analizar y posteriormente, tomar la mejor decisión para la optimización de las rutas de las ambulancias.

- **Política 1:** Asignar la llamada y/o despachar el vehículo que se encuentre a menor tiempo de desplazamiento y que la llamada entrante este en la misma zona que del vehículo.
- **Política 2:** Asignar la llamada y/o despachar el vehículo con menor tiempo de respuesta independientemente si está en la misma zona de la llamada entrante o no.

4.2. Levantamiento de información

El objetivo de esta sección, describe el proceso para la recolección y adquisición de los datos para luego ser clasificados para su posterior uso en el modelo de simulación. Para ello, se requiere la cantidad de hospitales, ambulancias y accidentes por cada distrito, de esta manera se podrá realizar la tabla de

distancias necesarias para ambas políticas. Por otro lado, se consideró necesario tener información de la probabilidad de cada uno de estos accidentes en los diferentes rangos de horarios, para ello se realizó el respectivo análisis de la base de datos de siniestros y accidentes del año 2013 y 2014 de una aseguradora de vehículos de Pacífico.

4.2.1. Cantidad y distancia de hospitales, ambulancias y accidentes

Para poder entender la identificación de los hospitales, ambulancia y accidentes, es importante conocer el concepto del formato Ráster, que es la obtención de una imagen digitalizada captura por satélites, esta captura se puede lograr por diversos medios como los scanners, imágenes y fotografías de satélite, cámaras de video, etc. De esta manera, se logra localizar los puntos deseados, para luego determinar el calculo de las distancias requeridas, las cuales de basan en un cuadrícula Ráster del espacio, que permite determinar distancias arbitrarias entre los puntos definidos, puesto que no existen líneas o redes específicas a seguir. Por otro lado, es importante, tomar en consideración que para la obtención de una distancia más precisa dependerá de la resolución que tenga la cuadrícula ráster. En la Figura 27, se muestra lo explicado anteriormente sobre el formato ráster, utilizando el programa de software ArcGIS, el cual será capaz de calcular la distancia óptima al punto del accidente obteniendo su radio de cobertura.

Luego de realizarse la ubicación de los puntos descritos anteriormente, se procederá a dividir en dos segmentos como son los servicios y demanda que se refiere a los establecimientos de salud y los distritos de Lima Metropolitana respectivamente. De esta manera, se permitirá construir las métricas que se explicaran en líneas posteriores, para caracterizar la separación espacial entre la demanda y los servicios.

La herramienta SIG proporcionada en el software de ArcGIS, ha permitido que pueda lograr métricas de distancia, por medio de la ubicación espacial y utilizando mapas y escenas en 3D, las cuales están detalladas en la Tabla 4.



Figura 27. Elaboración Raster
Fuente: ArcGIS

Tabla 4. Herramienta

Métrica/ Indicador	Tipos de datos requeridos	Herramienta SIG
Número de servicios contenidos dentro de unidades geográficas	Puntos (vectores) para la ubicación de la oferta Polígono (vector) para el Área administrativa	Se identifican los puntos de oferta existentes dentro de cada polígono correspondiente a cada área administrativa
Distancia de recorrido en la red de caminos (<i>Network distance</i>)	Ubicación espacial de puntos de oferta y demanda. Datos espaciales (líneas, usualmente vectores) para la red de caminos	Se realiza el cálculo de las distancias ente los puntos, empleando el algoritmo de Dijkstra, con la finalidad de encontrar la menor distancia entre el punto de inicio (Oferta) y fin (demanda)
Número de servicios que pueden alcanzarse dentro de un radio especificado	Puntos (vectores) para la ubicación de la oferta	Se calcula el buffering alrededor de cada punto de demanda para crear un polígono circular, lo que permite identificar los puntos de demanda que serán atendidos por ese punto de oferta.

Elaboración Propia

A continuación, se presenta el desarrollo de cada uno de los indicadores para los hospitales, ambulancias y accidentes en el programa de ArcMap:

a. Número de servicios contenidos dentro de unidades geográficas:

Para poder realizar el modelo propuesto, se procederá a explicar la información necesaria a utilizar.

▪ **Información de hospitales:**

Se ha elaborado un mapeo de los centros médicos en Lima Metropolitana con sus respectivas coordenadas geográficas (Tabla 5), lo cual ayuda a identificar cuantos hospitales existen por cada distrito, y sirve de base para hallar la cobertura de atención a los accidentados.

Tabla 5. Ubicación de puntos de los centros médicos

HOSPITALES DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS EN LIMA METROPOLITANA		
Hospitales	X	y
Hospital Municipal Los Olivos	-77.06332	-11.976689
Hospital Marino Molina Scippa EsSalud	-77.057832	-11.943583
Hospital Sergio E. Bernales (Collique)	-77.03804	-11.913989
Hospital Cayetano Heredia	-77.05502	-12.022501
Hospital Guillermo Almenara	-77.022549	-12.06115
Hospital Nacional Dos de Mayo	-77.015989	-12.05681
Hospital Nacional Arzobispo Loayza	-77.042731	-12.04994
Hospital de Emergencias Grau EsSalud	-77.031015	-12.058722
Hospital Edgardo Rebagliati Martín	-77.040714	-12.079792
Hospital Santa Rosa	-77.060928	-12.072001
Hospital María Auxiliadora	-76.958267	-12.161182
Hospital EsSalud Suárez Angamos	-77.028162	-12.113401
Hospital Casimiro Ulloa	-77.017736	-12.128109
Hospital de Vitarte – MINSA	-76.919828	-12.026322
Hospital Estatal	-76.825746	-12.03316
Hospital Hipólito Unanue Bravo Chico	-76.992002	-12.04105
Hospital EsSalud Aurelio Díaz Ufano	-76.995567	-11.968478
Hospital Huacán	-76.820288	-12.015669
Hospital Guillermo Kaelin de la Fuente	-76.940273	-12.177473
Hospital EsSalud Uldarico Rocca Fernández	-76.932076	-12.211156

Elaboración Propia

Luego de realizar este mapeo, se inserta todas las coordenadas al programa ArcGIS de tal manera que las busque y se pueda delimitar la cantidad de hospitales que cuenta cada distrito, como se observa en la Figura 28.

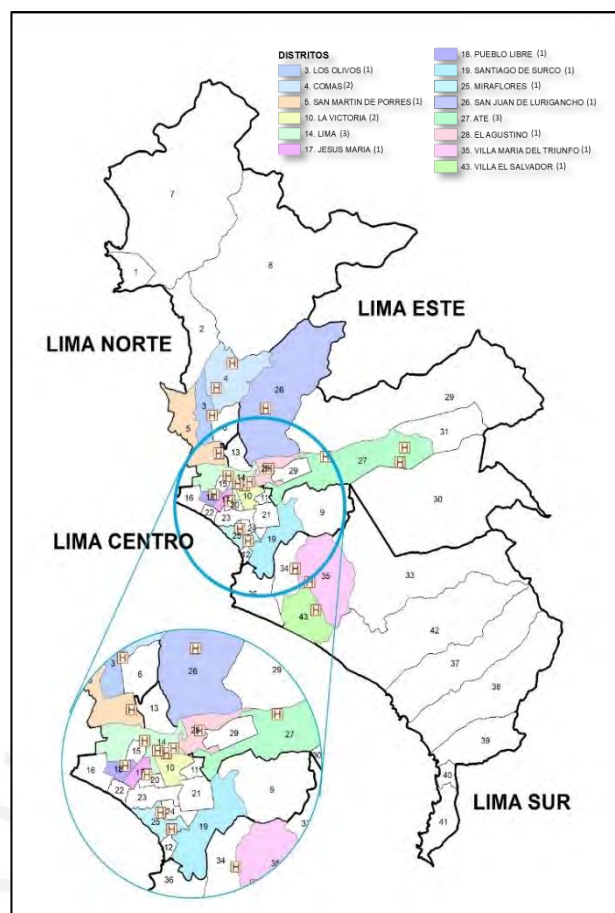


Figura 28. Hospitales por distritos
Elaboración propia

A continuación, se presenta la cantidad de hospitales que hay por cada distrito, pero dividido por zonas (Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9).

Tabla 6. Lima Centro

Hospital	Distrito
Hospital Guillermo Almenara Irigoyen	La Victoria
Hospital Nacional Dos de Mayo	Cercado de Lima
Hospital Nacional Arzobispo Loayza	Cercado de Lima
Hospital de Emergencias Grau	Cercado de Lima
Hospital Edgardo Rebagliatti	Jesús María
Hospital Santa Rosa	Pueblo Libre
Hospital María Auxiliadora	Santiago de Surco
Hospital ESSALUD Angamos	Miraflores
Hospital Casimiro Ulloa	Miraflores

Elaboración Propia

Tabla 7. Lima Este

Hospital	Distrito
Hospital Vitarate	Ate
Hospital Estatal	Ate
Hospital de Huaycán	Ate
Hospital Nacional Hipólito Unanue	El Agustino
Hospital ESSALUD Díaz Ufano	San Juan de Lurigancho

Elaboración Propia

Tabla 8. Lima Sur

Hospital	Distrito
Hospital Guillermo Kaelin de la Fuente	Villa María del Triunfo
Hospital Uldarico Rocca Fernández	Villa El Salvador

Elaboración Propia

Tabla 9. Lima Norte

Hospital	Distrito
Hospital Municipal Los Olivos	Los Olivos
Hospital ESSALUD Marino Molina Scippa	Comas
Hospital Sergio E. Bernales	Comas
Hospital Nacional Cayetano Heredia	San Martín de Porres

Elaboración Propia

En las figuras presentadas, se ha realizado el análisis por zonas, las cuales se han dividido en Lima Norte, Lima Sur, Lima Este y Lima Oeste. El resultado de ello ha demostrado que Lima Sur cuenta con solo dos hospitales, siendo este un problema crítico para la mayoría de los distritos de esta zona y lo cual se puede corroborar con las figuras 23 y 24, los cuales muestran la gran cantidad de accidentes fatales en la zona mencionada.

▪ **Información de ambulancias:**

Una vez de haber realizado el mapeo de la oferta, es decir, el análisis de la cantidad de hospitales por distrito, se lleva a cabo un estudio sobre la cantidad de accidentes que existen en las mismas zonas respectivamente. Para ello, se toma en consideración los datos analizados del año 2015, puesto que son los más actualizados que tiene el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). Por otro lado, como ya se ha explicado

en el marco teórico, se tienen accidentes no fatales y fatales, por ello se tiene que obtener la cantidad de incidencias que existe por cada tipo de accidentes.

En la Tabla 10 se observa el resumen de la cantidad aproximada de accidentes que existe en cada zona de Lima Metropolitana (Lima Sur, Lima Norte, Lima Este, Lima Centro) tomando en cuenta que no existe una cantidad exacta de accidentes, sino un intervalo, que es brindado por el INEI. Los detalles de los cálculos se encuentran en el Anexo 1.

Tabla 10. Cantidad de accidentes fatales por rangos

Zonificación de Lima	Número de accidentes RMIN	Número de accidentes RMAX	Número de accidentes PROM
Lima Norte	43.21	151.12	97.17
Lima Central	50.87	138.54	94.71
Lima Este	23.11	119.22	71.16
Lima Sur	122.75	262.69	192.72
Total	239.94	671.57	455.76

Elaboración propia

Tabla 11. Cantidad de accidentes no fatales por rangos

Zonificación de Lima	Número de accidentes RMIN	Número de accidentes RMAX	Número de accidentes PROM
Lima Norte	3924.56	12486.52	8205.54
Lima Central	15409.46	28273.52	21841.49
Lima Este	4852.82	14091.34	9472.08
Lima Sur	3413.85	10176.35	6795.10
Total	27600.69	65027.73	46314.21

Elaboración propia

Con el número de casos obtenidos, se realiza la comparación de cuántas ambulancias hay en cada zona, tomando en consideración que existen 32 de estas en toda Lima Metropolitana, se ha repartido acorde a la demanda que se tiene por cada zona.

Tabla 12. Cantidad de ambulancias por rangos

	RMIN NO FATALES	RMIN FATALES	RMAX NO FATALES	RMAX FATALES	Rprom NO FATALES	Rprom FATALES
Lima Central	18	7	14	7	16	7
Lima Este	6	3	7	6	7	5
Lima Norte	5	6	6	7	6	7
Lima Sur	4	17	5	13	5	14

Elaboración propia

Como podemos observar en la Tabla 12, el número de ambulancias que se reparten para los dos tipos de accidente (fatales y no fatales) no son las mismas, ya que en Lima sur no existe la cantidad de hospitales necesarios para cubrir la demanda que se tiene (Figura 23). Es por ello, que la suma de accidentes fatales se produce más en esta zona y por consiguiente se designa mayor cantidad de ambulancia. Sin embargo, esto se tiene que ajustar a otro tipo de estrategia para resolver el problema, ya que con colocar más ambulancias de manera estratégica no se logra que se llegue a la atención en el tiempo óptimo a nivel mundial, el cual es 10 minutos, como lo menciona la OMS.

Finalmente, para obtener las ubicaciones de las ambulancias, se debe tener dos consideraciones importantes: el primero es tomar en cuenta los dos tipos de accidentes que existen y la cantidad de incidentes que hay de ella de forma conjunta y el segundo es tomar en cuenta que cuando se coloque a las ambulancias en los puntos estratégicos, estos no interfieran con ningún lugar poco estético o de prohibición. Tomando en cuenta todo lo explicado, se procede a repartir de manera equitativa la cantidad de ambulancias por cada zona. Para ello se utiliza el programa de ArcGIS, el cual nos da como resultado la división del área a analizar. En el Anexo 2 se explica a detalle el procedimiento realizado, tomando como ejemplo una de las zonas de Lima Metropolitana, la cual es Lima Centro.

Tabla 13. Cantidad promedio de ambulancias por rangos

	Fatales y no fatales		
	RMIN	RMAX	R PROM
Lima Central	13	11	11
Lima Este	4	7	6
Lima Norte	5	7	6
Lima Sur	10	9	9

Elaboración propia

En la Tabla 13, se muestra un promedio de cada uno de los rangos entre accidentes fatales y no fatales. Este consolidado se toma en cuenta para la realización de los puntos estratégicos de cada zona.

A continuación, se realiza la división de todas las zonas tomando en cuenta la Tabla 13 (fatales y no fatales) para realizar la ubicación de las 32 ambulancias con las que cuenta Lima Metropolitana. Esta división se ha elaborado por medio del programa de ArcGIS. En algunas divisiones no se ha colocado una ambulancia por cada división de la zona, puesto que hay lugares que por la localización donde se encuentran es imposible colocarlas.

- **Lima Este:** Como se observa en las siguientes figuras (Figura 29, Figura 30 y Figura 31), se observa que en cada división se ha colocado la ambulancia correspondiente, ya que en cada una de esta se encontró la posibilidad de un lugar adecuado para las mismas.



Figura 29. Rango mínimo de Lima Este
Elaboración propia



Figura 30. Rango máximo de Lima Este
Elaboración propia



Figura 31. Rango promedio de Lima Este
Elaboración propia

- **Lima Centro:** Para esta zona, las dos figuras presentadas (Figura 32 y Figura 33), son muy similares, puesto que las divisiones solo difieren en dos espacios, por lo que muchos de los puntos se repiten para ambas figuras.

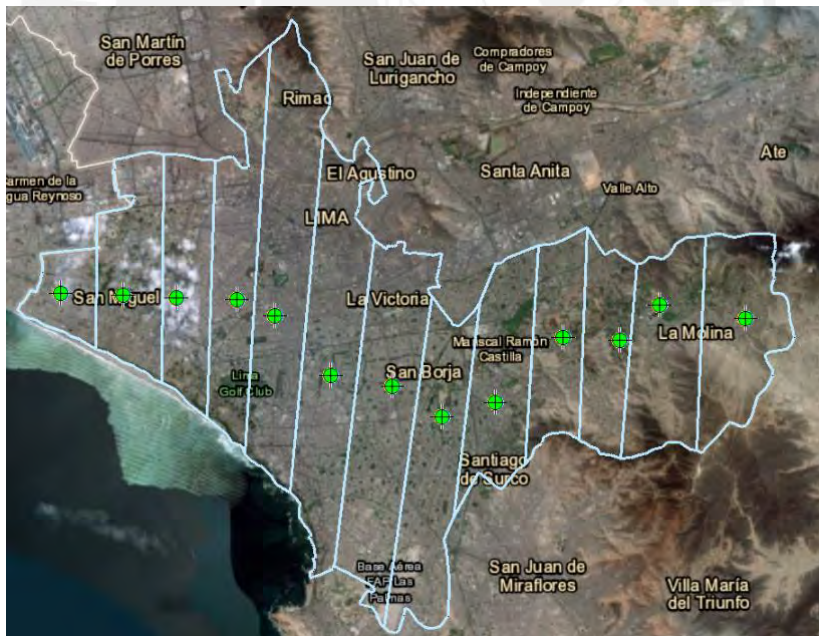


Figura 32. Rango mínimo de Lima Centro
Elaboración propia



Figura 33. Rango máximo y promedio de Lima Centro
Elaboración propia

- **Lima Norte:** En esta zona, se tienen las tres figuras respectivas (Figura 34, Figura 35 y Figura 36), donde no se ha colocado una ambulancia por cada división de la zona, puesto que hay lugares que, por la localización, es imposible colocarlas.



Figura 34. Rango mínimo de Lima Norte
Elaboración propia



Figura 35. Rango máximo de Lima Norte
Elaboración propia



Figura 36. Rango promedio de Lima Norte
Elaboración propia

- **Lima Sur:** En este caso se cumple lo de Lima Centro, en cuanto a los puntos repetitivos para ambas figuras (Figura 37 y Figura 38). Por otro lado, se observa que en no todas las divisiones hay una ambulancia, esto es debido a lo explicado en la zona de Lima Norte; es por ello que las ambulancias faltantes se colocan en las otras divisiones.



Figura 37. Rango mínimo de Lima Sur
Elaboración propia

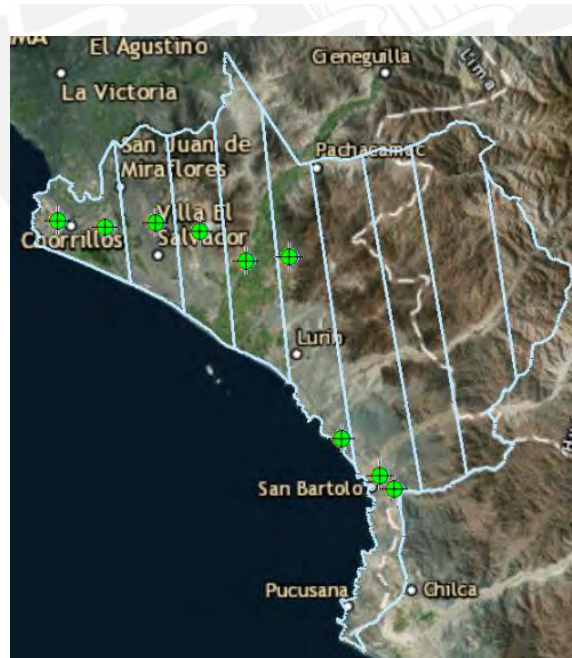


Figura 38. Rango máximo y promedio de Lima Sur
Elaboración propia

Luego de haber realizado el posicionamiento de las ambulancias por el método ya detallado, se ha desarrollado un esquema de la ubicación de las ambulancias en el mapa de Lima Metropolitana (Figura 39). Por otro lado, se ha realizado la Tabla 14, donde se especifica la cantidad de ambulancias por cada distrito y por zona.

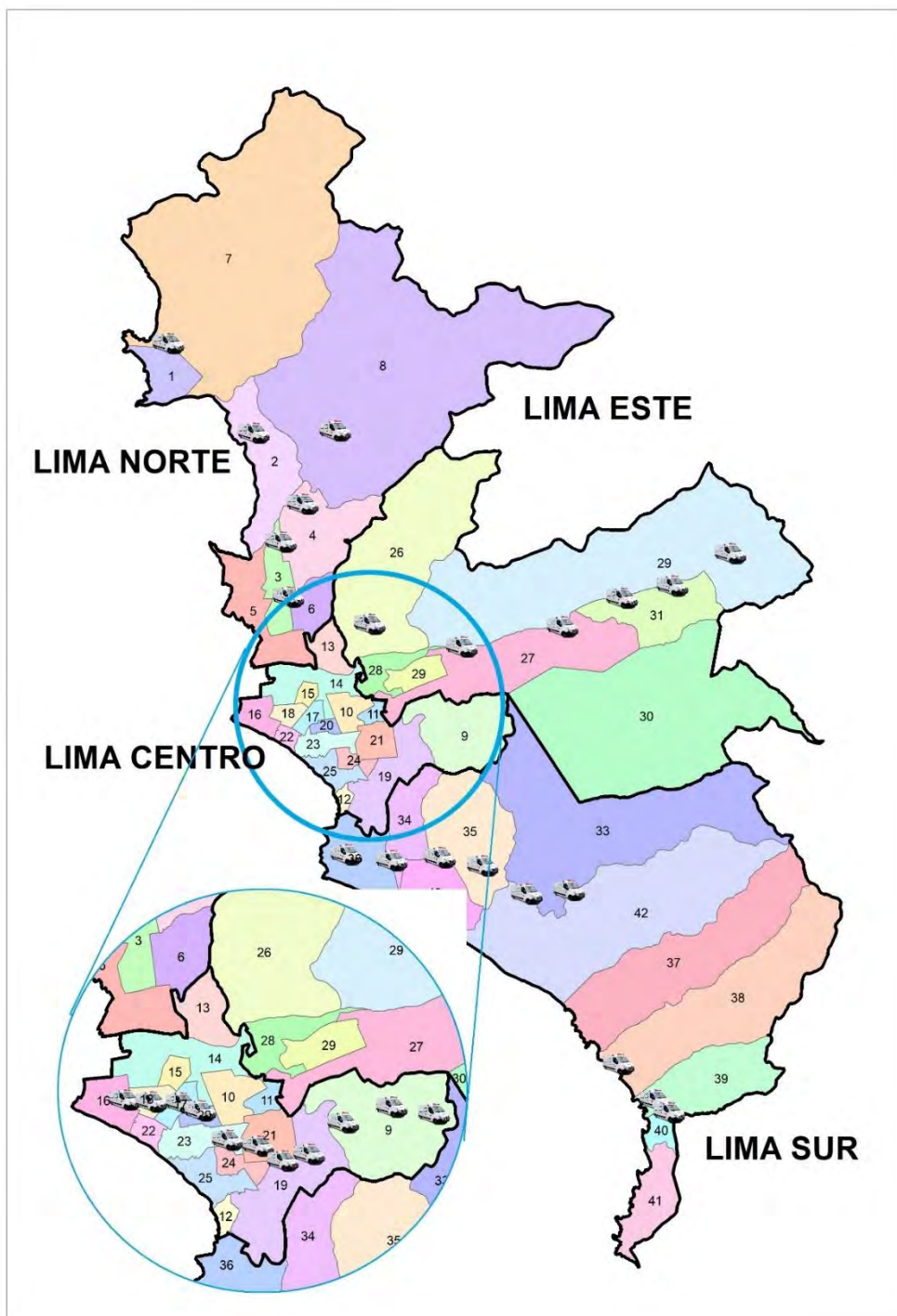


Figura 39. Ubicación de ambulancias por distrito
Elaboración propia

▪ **Información de accidentes:**

Como se mencionó anteriormente, esta propuesta de optimización consiste en estudiar a Lima Metropolitana contando a sus cuatro zonas (Norte, Centro, Sur, Este). De acuerdo a los datos publicados por el Ministerio de Salud, se han registrados 3 950 llamadas de emergencia por accidentes de tránsito en el periodo de enero a septiembre del 2018, además de informar que hay un incremento de 20% en los días feriados. Es por ello, que con esta información se ha tomado una muestra para la elaboración de este proyecto, el cual ha sido de dos días feriados, generando un total de 32 accidentes de tránsito en Lima Metropolitana.

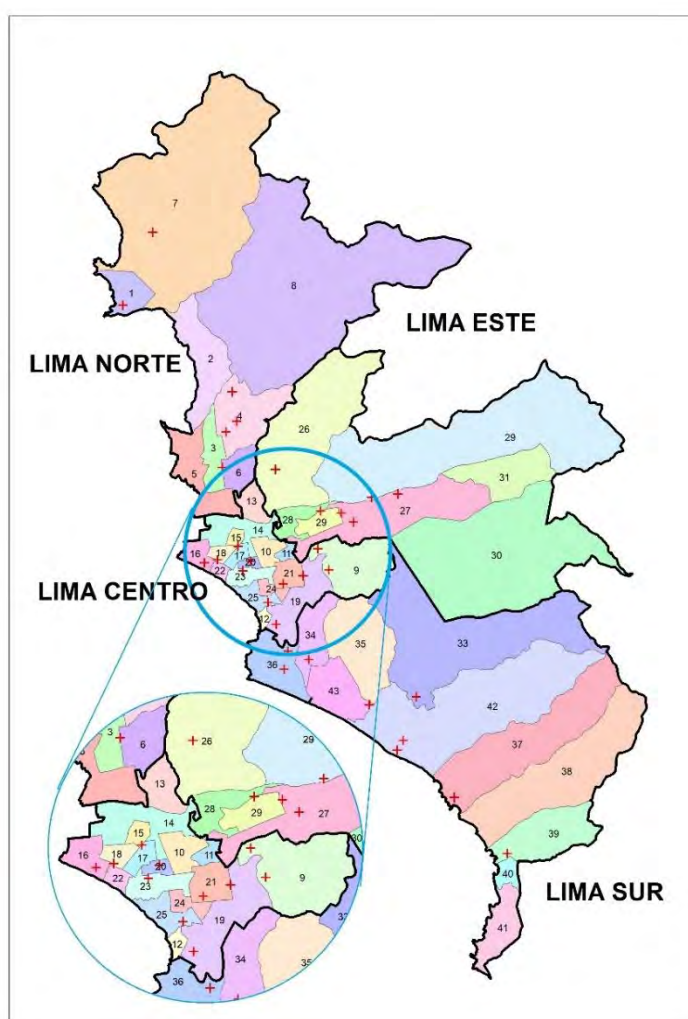


Figura 40. Ubicación de accidentes por distrito
Elaboración propia

En la Tabla 14, se detalla los accidentes por cada distrito que se han generado para la simulación del modelo propuesto, este posicionamiento de cada uno de los accidentes

ha sido de manera aleatoria, sin embargo, se ha tomado en cuenta que los puntos de accidentes deben estar ubicados en lugares donde se podría dar un choque y de mayor incidencia.

b. Distancia de recorrido en la red de caminos:

En el Anexo 3, se muestra la tabla de distancias de cada uno de los puntos, es decir, desde el punto de ambulancia hacia cada uno de los puntos de accidentes, así como del punto de accidente al hospital y del punto de hospital a su punto de partida, ello permitirá que pueda atender otros accidentes sin que tenga que volver a su punto de original, cumpliendo con las restricciones de ambas políticas ya explicadas.

Tabla 14. Cantidad de ambulancias, accidentes y hospitales distribuidas por distritos y zonas

			Ambulancia	Accidente	Hospital
LIMA NORTE	1	Santa Rosa		1	
	2	Puente Piedra	1		
	3	Los Olivos	2		1
	4	Comas	1	3	2
	5	San Martín de Porres			1
	6	Independencia		1	
	7	Ancón	1	1	
	8	Carabaylo	1		
LIMA CENTRO	9	La Molina	3	2	
	10	La Victoria			1
	11	San Luis			
	12	Barranco			
	13	Rímac			
	14	Lima			3
	15	Breña		1	
	16	San Miguel		1	
	17	Jesús María	1		1
	18	Pueblo Libre	2	1	1
	19	Santiago de Surco	2	1	1
	20	Lince	1	1	
	21	San Borja	1	2	
	22	Magdalena del Mar			
	23	San Isidro	1	1	
	24	Surquillo			
	25	Miraflores		1	2
LIMA ESTE	26	San Juan de Lurigancho	1	1	1
	27	Ate	2	3	3

	28	El Agustino		1	1
	29	Santa Anita		1	
	30	Lurigancho	1		
	31	Cieneguilla			
	32	Chaclacayo	2		
LIMA SUR	33	Pachacamac	1	1	
	34	San Juan de Miraflores		1	
	35	Villa María del Triunfo	2		1
	36	Chorrillos	2	2	
	37	Punta Hermosa		1	
	38	Punta Negra	1		
	39	San Bartolo	2	1	
	40	Santa María del Mar			
	41	Pucusana			
	42	Lurín	1	2	
43	Villa El Salvador		1	1	

Elaboración propia

c. Número de servicios que se puede alcanzar dentro de un radio especificado:

Para realizar los respectivos radios de cobertura, en la Tabla 15, se muestra la distancia, velocidad y tiempo que necesita la ambulancia para trasladarse al lugar del accidente.

Tabla 15. Escenarios propuestos

Escenarios	Distancia (km)	Velocidad (Km/h)	Tiempo (min)
Optimista	15.00	72	10
Optimista	22.50	72	15
Neutro	9.17	54	10
Neutro	13.75	54	15
Pesimista	3.33	24	10
Pesimista	5.00	24	15

Elaboración propia

A continuación, se presenta la cobertura, considerando el nivel de accidentes, es decir el rango mínimo, máximo y promedio respectivamente en conjunto con los escenarios propuestos en la Tabla 15.

- **Rango mínimo:**

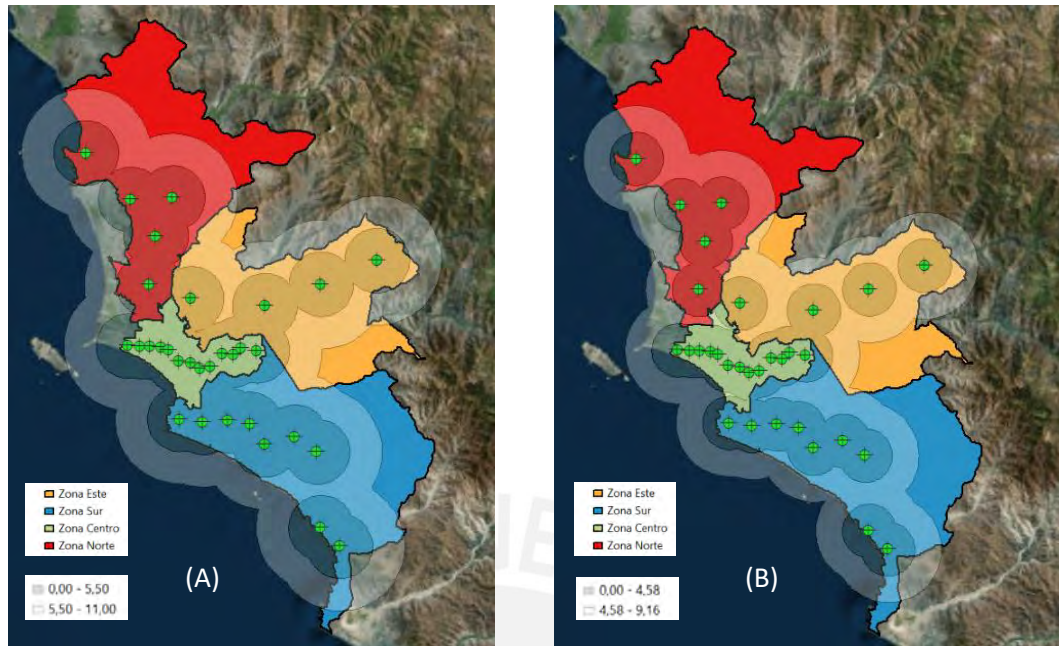


Figura 41. (A) Escenario optimista del rango mínimo. (B) Escenario neutro del rango mínimo
Elaboración propia

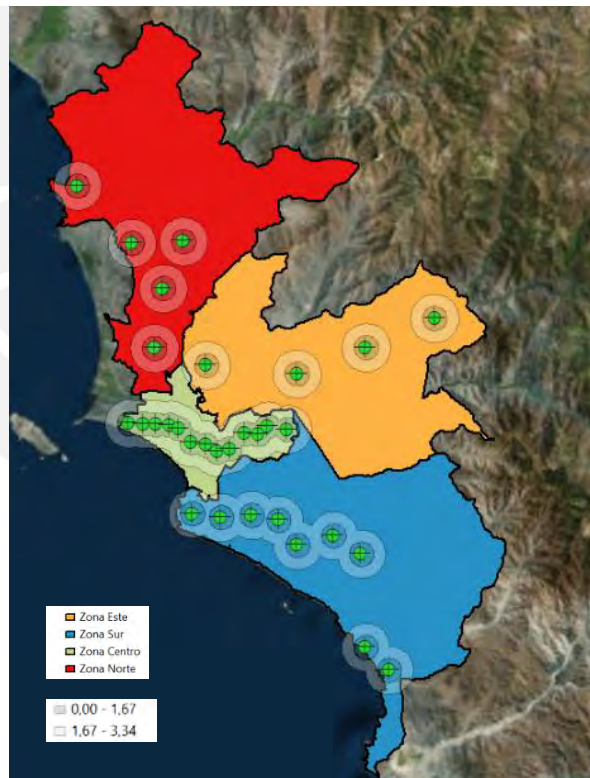


Figura 42. Escenario pesimista del rango mínimo
Elaboración propia

- **Rango máximo:**

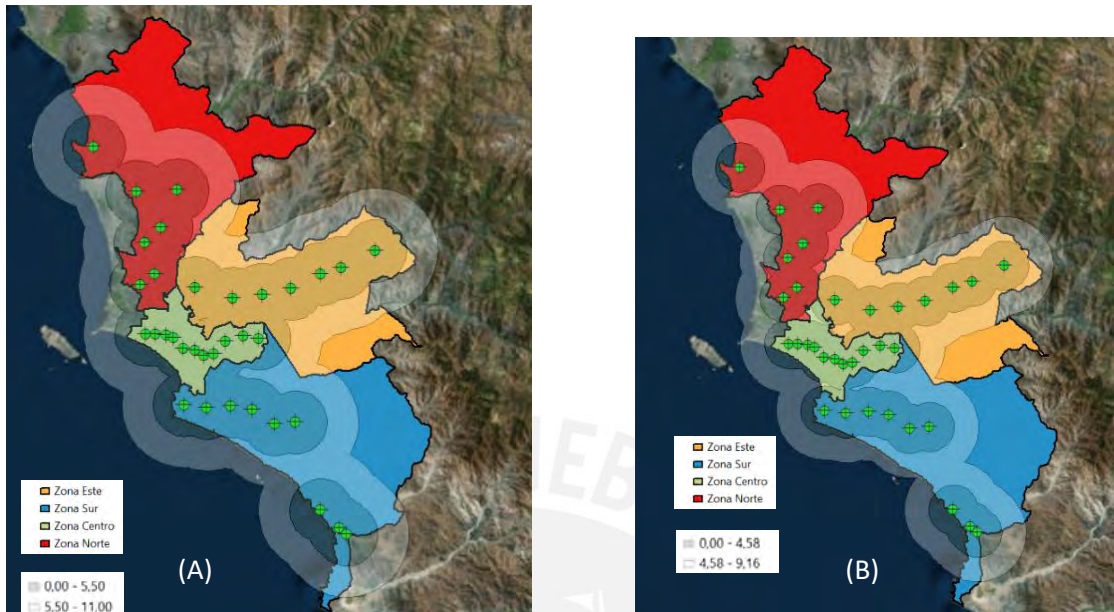


Figura 43. (A) Escenario optimista del rango máximo. (B) Escenario neutro del rango máximo
Elaboración propia

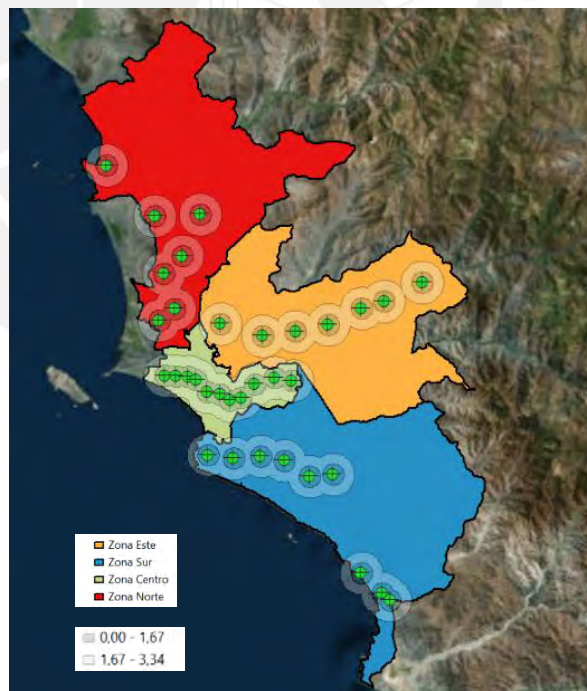


Figura 44. Escenario pesimista del rango máximo
Elaboración propia

- **Rango promedio:**

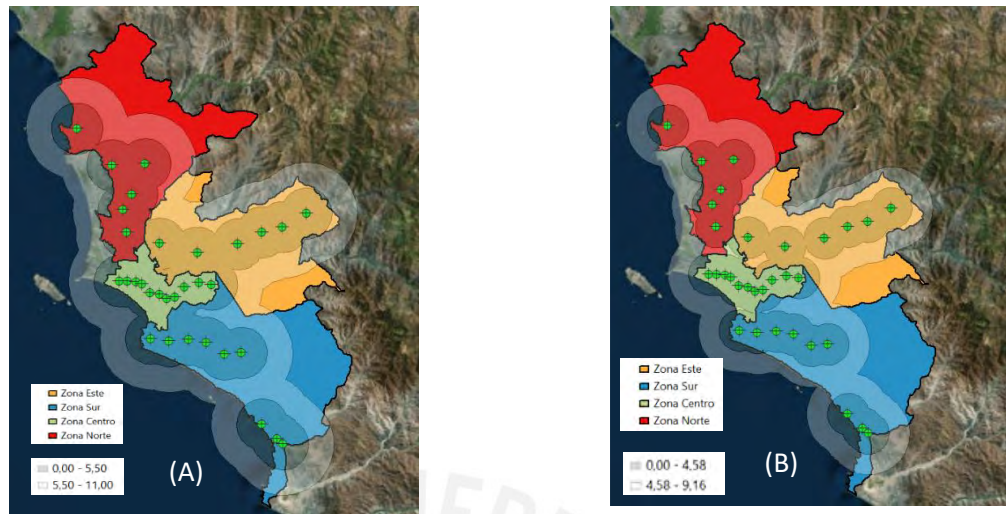


Figura 45. (A) Escenario optimista del rango promedio. (B) Escenario neutro del rango promedio
Elaboración propia



Figura 46. Escenario pesimista del rango promedio
Elaboración propia

Para el análisis de las figuras mostradas, se debe considerar que para cada rango evaluado se han tomado distintos puntos, que han sido agrupados, de acuerdo a la división de cada zona. Si se compara los rangos, se puede apreciar que la mayor afluencia de ambulancias se encuentra en la zona este, tanto para el rango máximo (Figura 42, Figura 43 y Figura 44) como para el rango promedio (Figura 45, Figura 46 y Figura 47), a diferencia del rango mínimo (Figura 39, Figura 40 y Figura 41), donde se han colocado menos ambulancias. Otra observación de estas figuras es la cobertura de

cada escenario, se muestra que el escenario óptimo como el neutro cubre casi todo Lima Metropolitana; sin embargo, para el escenario pesimista, la situación cambia radicalmente, ya que cubre menos de la mitad del área estudiada. Con esta investigación, se logra dividir los diferentes escenarios para cada intervalo de horas al día, de esta manera se tendrán diversos casos de la posición de las ambulancias, como se muestra en la Tabla 15, tomando en consideración siempre los diversos rangos de accidentes.

Tabla 16. Intervalo de ocurrencia de accidente

Intervalo de Horas	Escenarios
07:00 – 12:00 h	Pesimista
12:00 – 18:00 h	Neutro
18:00 – 24:00 h	Pesimista
24:00 – 07:00 h	Optimista

Elaboración propia

Por otro lado, es importante realizar el análisis de las ambulancias para saber su cobertura de atención de las mismas, esta información es necesaria para que las ambulancias, tengan conocimiento sobre a qué hospital se llevara al paciente, teniendo en cuenta la cercanía del punto del accidente, para ello se ha realizado una tabla de rango de cobertura en km para los centros médicos.

Tabla 17 Rango de cobertura

Rangos
0 – 5
5 – 10
10 – 20
> 20

Elaboración propia

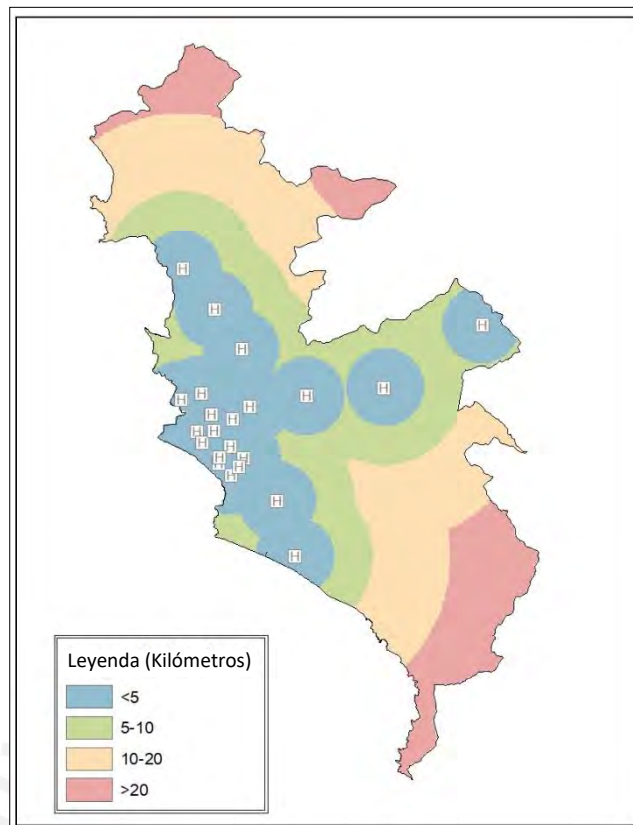


Figura 47. Cobertura de centros médicos
Elaboración propia

4.2.2. Análisis de los datos de seguro Pacífico

Para este análisis se debe seguir los siguientes pasos: clasificación de los datos, conjunto de variables aleatorias a emplear, determinación del tamaño de población, determinación de tamaño de muestra, prueba de bondad de ajuste.

a) Clasificación de datos:

Para poder identificar el conjunto de variables y proporciones a emplear en la simulación, es necesario poder clasificar a los datos de manera que la información sea coherente con respecto a la ocurrencia del sistema real.

- Tiempos entre ocurrencias de siniestros

Se ha observado en la base de datos que el tiempo entre ocurrencia de fallas está relacionado con los días de la semana y con la hora de ocurrencia. Para probar esta hipótesis, se ha hecho uso del software MINITAB para aplicar una prueba ANOVA con el fin de determinar si los tiempos entre ocurrencia de siniestros dependen del día de la semana y de la hora o turno de ocurrencia.

Factor Information						
Factor	Type	Levels	Values			
DiaSem	Fixed	7	domingo, jueves, lunes, martes, miércoles, sábado, viernes			
Turno	Fixed	4	1, 2, 3, 4			
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
DiaSem	6	88914	14819	11.51	0.000	
Turno	3	2962413	987471	767.18	0.000	
DiaSem*Turno	18	126482	7027	5.46	0.000	
Error	12894	16596477	1287			
Total	12921	19680651				

Figura 48. Análisis de varianza para determinar si el tiempo entre ocurrencia de siniestros depende del rango de horas y del día de la semana
Elaboración Propia

De la Figura 48, se concluye que el tiempo entre llegadas depende tanto del día de semana como del rango de horas, ya que de acuerdo al resultado de los P-Value de los factores en de día de la semana (DiaSem) y el rango de horas donde se producen los accidentes de tránsito (Turno) mostrados en la Figura en anterior, se obtuvo menor a 0.5 en ambos casos, lo que concluiría lo mencionado anteriormente.

b) Conjunto de variables aleatorias a emplear:

En base a la clasificación realizada de la base de datos, se presenta el conjunto de variables aleatorias a emplear para realizar la simulación.

Tabla 18. Conjunto de variables aleatorias a emplear para la simulación

ID	Variable
V1	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00
V2	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 15:00 y las 19:00
V3	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 19:00 y las 21:00
V4	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00
V5	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 07:00 y las 15:00
V6	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 15:00 y las 19:00
V7	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 19:00 y las 21:00
V8	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 21:00 y las 07:00
V9	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 07:00 y las 15:00
V10	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 15:00 y las 19:00
V11	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 19:00 y las 21:00
V12	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 21:00 y las 07:00

Elaboración propia

c) Determinación del tamaño de población:

Para definir la población, se ha considerado la ocurrencia de siniestros de tres meses. La cantidad de servicios totales durante esos tres meses no excede a 200,000 servicios por lo que se concluye que la población es finita y es necesario definirla para poder ajustar el tamaño de muestra.

Tabla 19. Cantidad de llamadas ocurridas por día de la semana y turno

Cuenta de Ocurrencia	Turnos				Total general
	1	2	3	4	
Lunes	1015	598	275	217	2105
Martes	932	504	250	183	1869
Miércoles	832	459	274	205	1770
Jueves	940	484	283	236	1943
Viernes	1085	607	261	245	2198
Sábado	989	401	149	277	1816
Domingo	525	327	169	201	1222
Total general	6318	3380	1661	1564	12923

Elaboración propia

La Tabla 21, muestra el total de llamadas recibidas por el área de call center en base a rango de horas o turno y días de la semana.

d) Tamaño de población para las variables:

Como se puede observar, ninguna variable tiene más de 200,000 datos por lo que se consideran variables de población finita.

Tabla 20. Tamaño de población para las variables aleatorias

ID	Variable	Población
V1	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00	4804
V2	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 15:00 y las 19:00	2652
V3	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 19:00 y las 21:00	1343
V4	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00	1086
V5	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 07:00 y las 15:00	989
V6	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 15:00 y las 19:00	401
V7	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 19:00 y las 21:00	149
V8	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 21:00 y las 07:00	277
V9	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 07:00 y las 15:00	525
V10	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 15:00 y las 19:00	327
V11	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 19:00 y las 21:00	169
V12	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 21:00 y las 07:00	201

Elaboración propia

e) Determinación del tamaño de muestra:

Después de haber definido el tamaño de población para cada una de las variables y proporciones, se procede a determinar el tamaño de muestra adecuado considerando población finita. Se presenta además una tabla resumen con el tamaño de muestra para cada variable y proporción.

- Tamaño de muestra para variables aleatorias

Para calcular el tamaño de muestra para las variables aleatorias, se realizó una muestra piloto inicial para cada variable. Sobre la muestra, se calculó el valor del promedio y la desviación estándar muestral. Para todas las variables se ha considerado un error porcentual de 5% y un nivel de significancia α igual a 0.05, por lo que el valor de Z es aproximadamente igual a 1.96. La muestra piloto tomada a cada variable se muestra en el Excel adjunto al documento. Se aplicó la fórmula presentada en el Anexo 4 para el cálculo del tamaño de muestra requerido. Se aplicó la fórmula descrita en el Anexo 5 para corregir el tamaño de muestra calculado considerando población finita. El muestreo se ha realizado utilizando el software MINITAB que permite realizar el muestreo sin repetición. La Tabla 22 indica el cálculo del tamaño de muestra para cada variable aleatoria.

Tabla 21 Cálculo del tamaño de muestra para las 12 variables

Muestra	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12
Promedio	7.02	7.62	8.09	30.65	8.10	7.24	12.99	48.84	18.69	8.46	15.42	41.00
Desviación	6.31	7.34	8.17	42.01	10.97	6.68	12.73	55.21	18.58	7.60	21.30	39.16
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Zeta	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
Error %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Error D	0.35	0.38	0.40	1.53	0.40	0.36	0.65	2.44	0.93	0.42	0.77	2.05
Muestras	1242	1426	1569	2887	2820	1309	1476	1964	1518	1238	2932	1402
Población	4804	2652	1343	1086	989	401	149	277	525	327	169	201
Ajustado	987	928	724	790	733	307	136	243	391	259	160	176

Elaboración propia

Tabla 22. Tamaño de muestra para cada variable aleatoria

ID	Variable	Muestras
V1	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00	987
V2	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 15:00 y las 19:00	928
V3	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 19:00 y las 21:00	724
V4	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00	790
V5	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 07:00 y las 15:00	733
V6	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 15:00 y las 19:00	307
V7	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 19:00 y las 21:00	136
V8	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 21:00 y las 07:00	243
V9	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 07:00 y las 15:00	391
V10	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 15:00 y las 19:00	259
V11	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 19:00 y las 21:00	160
V12	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 21:00 y las 07:00	176

Elaboración propia

f) Pruebas de bondad de ajuste

Luego de haber analizado el coeficiente de variación de cada variable, se procederá a realizar las pruebas de bondad de ajuste a las variables cuyo coeficiente de variación es mayor a 0.1. Para ello, se hará uso del Input Analyzer y las opciones de FitAll y FitAll Summary. Para determinar cuál o cuáles pruebas se debe aplicar, se analizará de acuerdo al tipo de variable aleatoria (si es continua o discreta) y la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer. Los pasos seguidos para realizar las pruebas fueron:

- Se identificó el tipo de variable, en este caso, todas las variables son de tipo continua.
- Se utilizó la opción FitAll que mostró la distribución de mejor ajuste. En base a la cantidad de datos ingresados se decidió cuál prueba considerar.
- Se analizó el pValue de la prueba utilizada y se comparó con el valor de pValue o nivel de significancia establecido (α igual a 0.05).

- Se utilizó la opción FitAll Summary para observar las distribuciones ordenadas según el error cuadrado.
- Se eligió la distribución de menor error cuadrado que cumple con tener un pValue mayor a 0.05.
- Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00

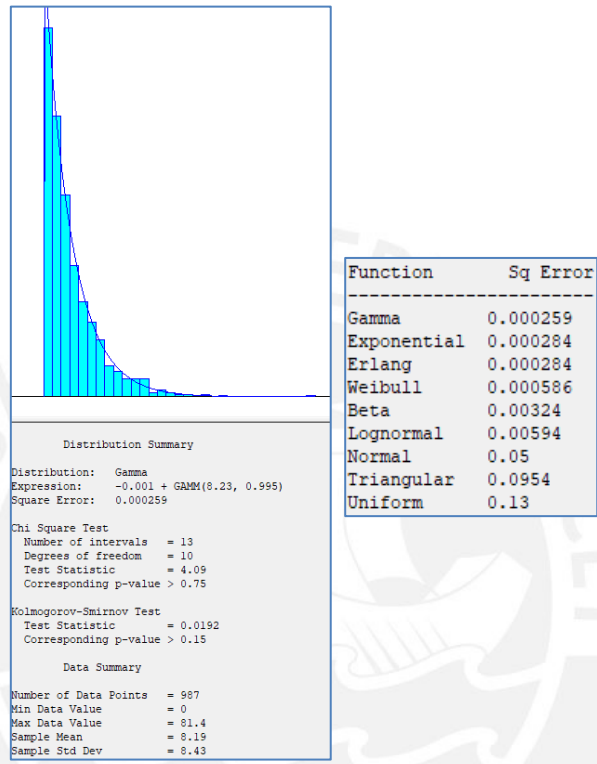


Figura 49. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00
Elaboración propia

En la Figura 49, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 987 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se emplearan estos parámetros 8.23 y 0.995 correspondientes a la distribución Gamma.

- Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 15:00 y las 19:00

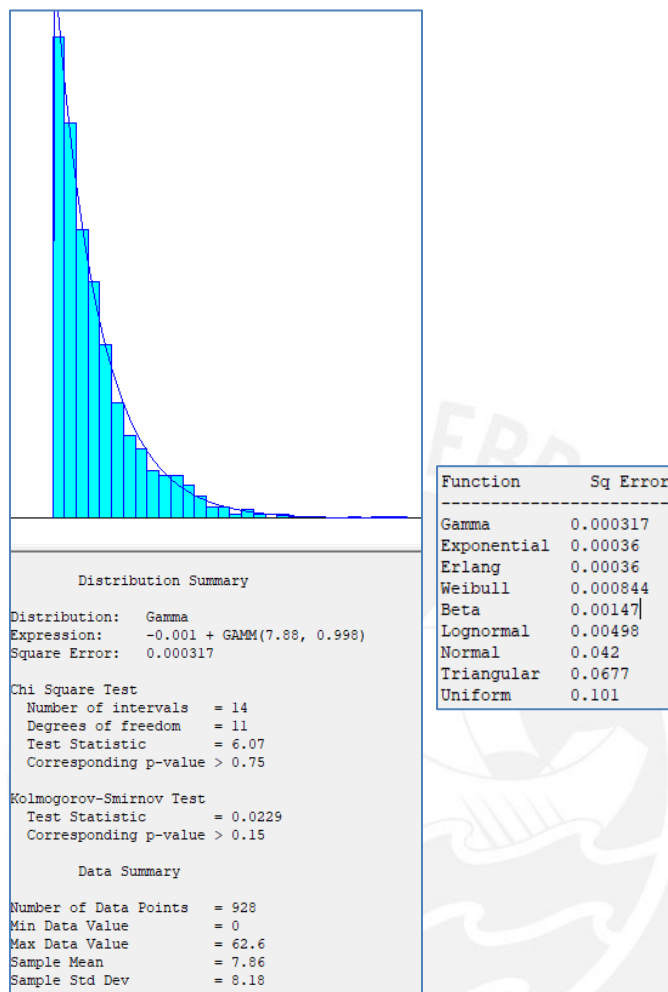


Figura 50. Prueba de bondad ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre 15:00 y las 19:00
 Elaboración propia

En la Figura 50, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 15:00 y las 19:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 928 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se emplearan estos parámetros 7.88 y 0.988 correspondientes a la distribución Gamma.

- Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 19:00 y las 21:00

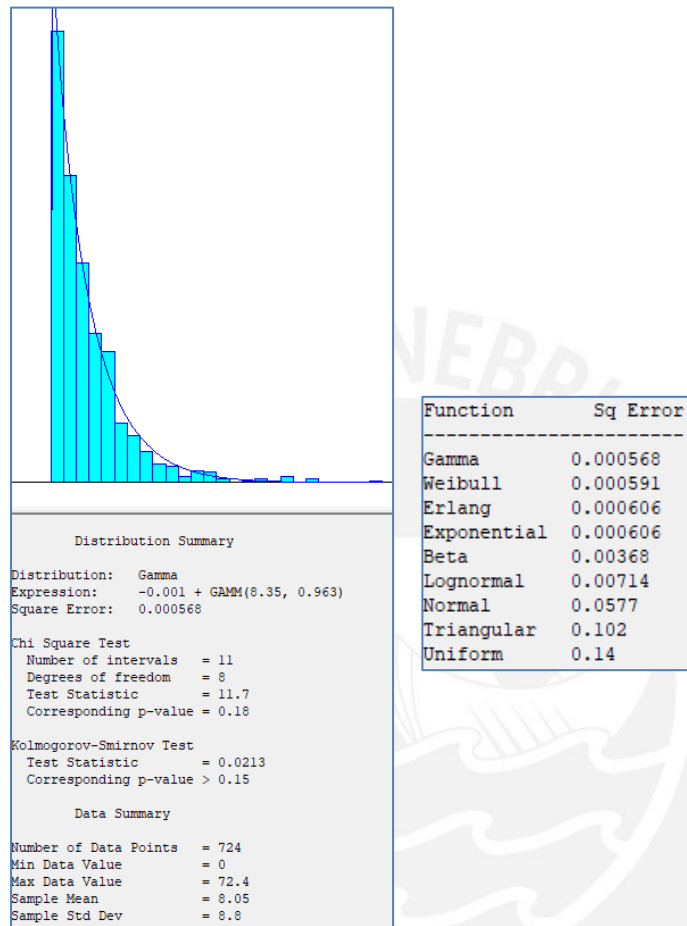


Figura 51. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes entre las 19:00 y las 21:00
 Elaboración propia

En la Figura 51, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 19:00 y las 21:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 724 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se emplearan estos parámetros 8.35 y 0.963 correspondientes a la distribución Gamma.

- Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00

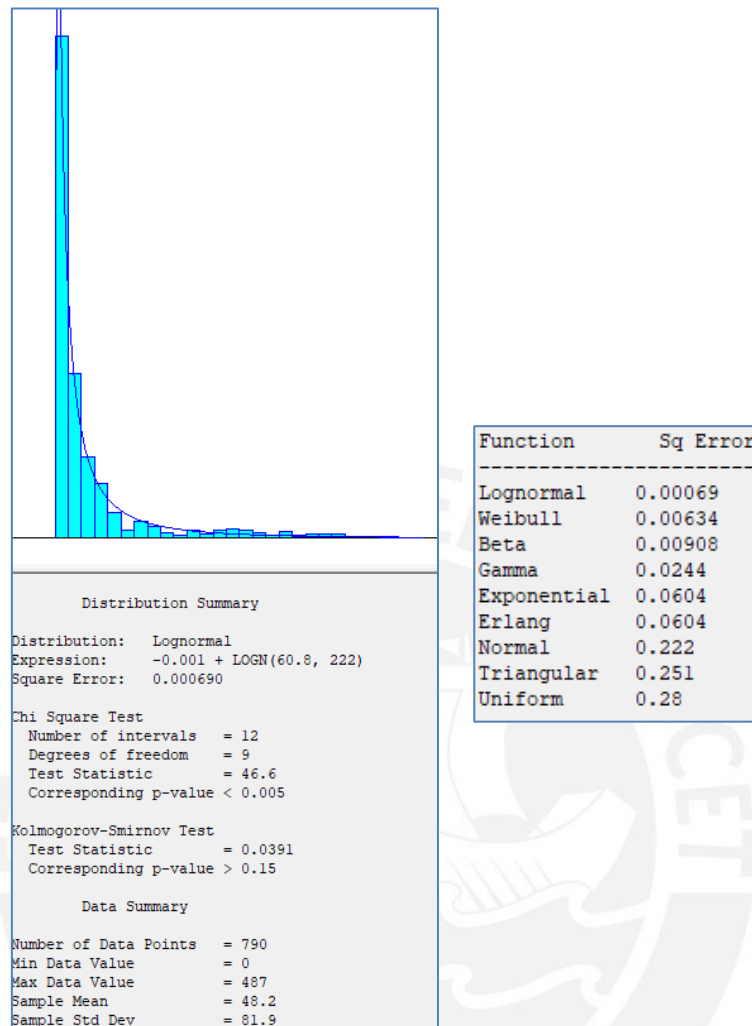


Figura 52. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00
Elaboración propia

En la Figura 52, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 790 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se emplearan estos parámetros 7.88 y 0.988 correspondientes a la distribución Lognormal.

- Tiempo entre llamadas los días sábado de 07:00 a 15:00

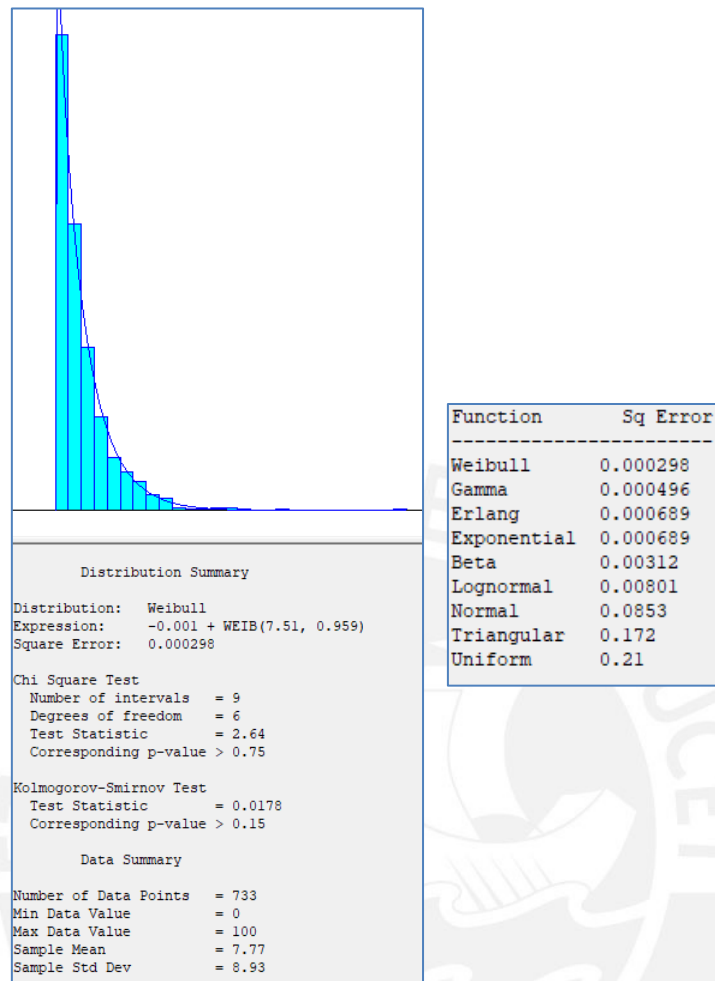


Figura 53. Prueba de bondad de ajuste por el tiempo entre llamadas los días sábado 07:00 a 15:00 pm
Elaboración propia

En la Figura 53, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 928 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se emplearan estos parámetros 7.51 y 0.959 correspondientes a la distribución Weibull.

- Tiempo entre llamadas los días sábado entre las 15:00 y las 19:00

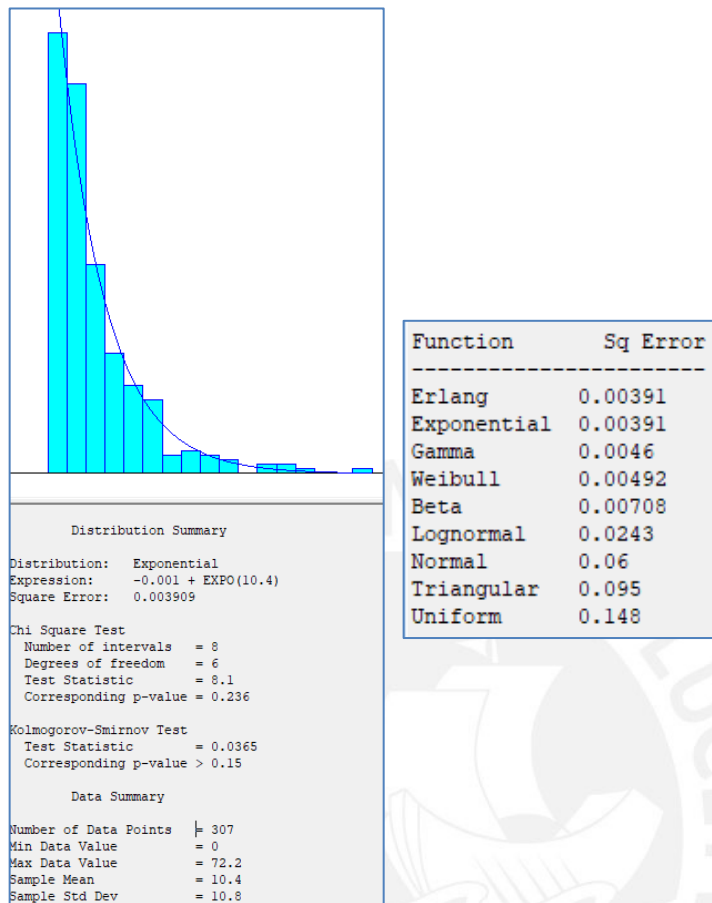


Figura 54. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre las llamadas los días sábados entre las 15:00 y las 19:00.

Elaboración propia

En la Figura 54, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 15:00 y las 19:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 308 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se empleara el parámetro de 10.4 minutos, correspondientes a la distribución Exponencial con media.

- Tiempo entre llamadas los días sábado entre las 19:00 y las 21:00

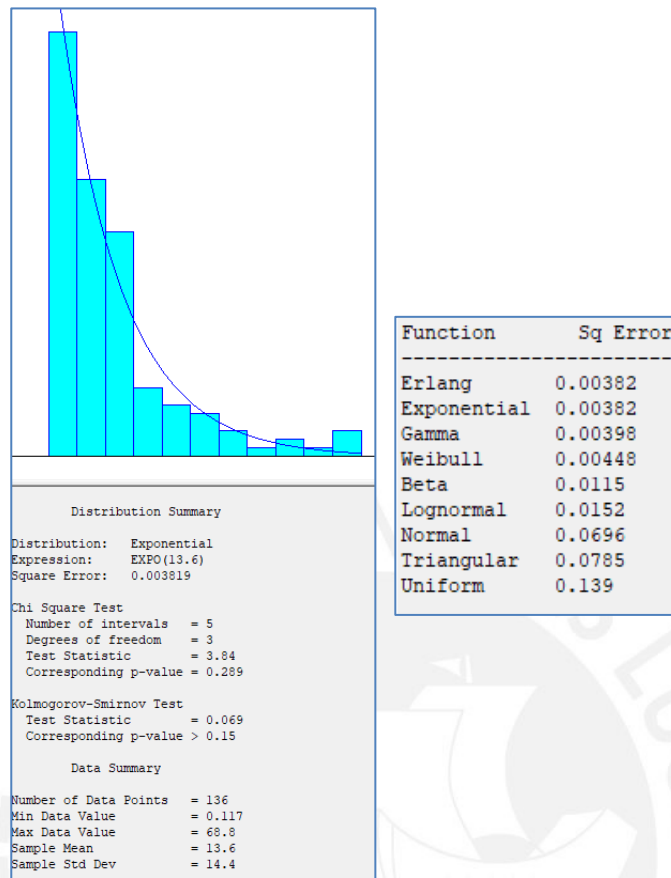


Figura 55. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días sábado entre las 19:00 y las 21:00
Elaboración propia

En la Figura 55, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 19:00 y las 21:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 136 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se empleara el parámetro de 13.6 minutos, correspondientes a la distribución Exponencial con media.

- Tiempo entre llamadas los días sábado entre las 21:00 y las 07:00

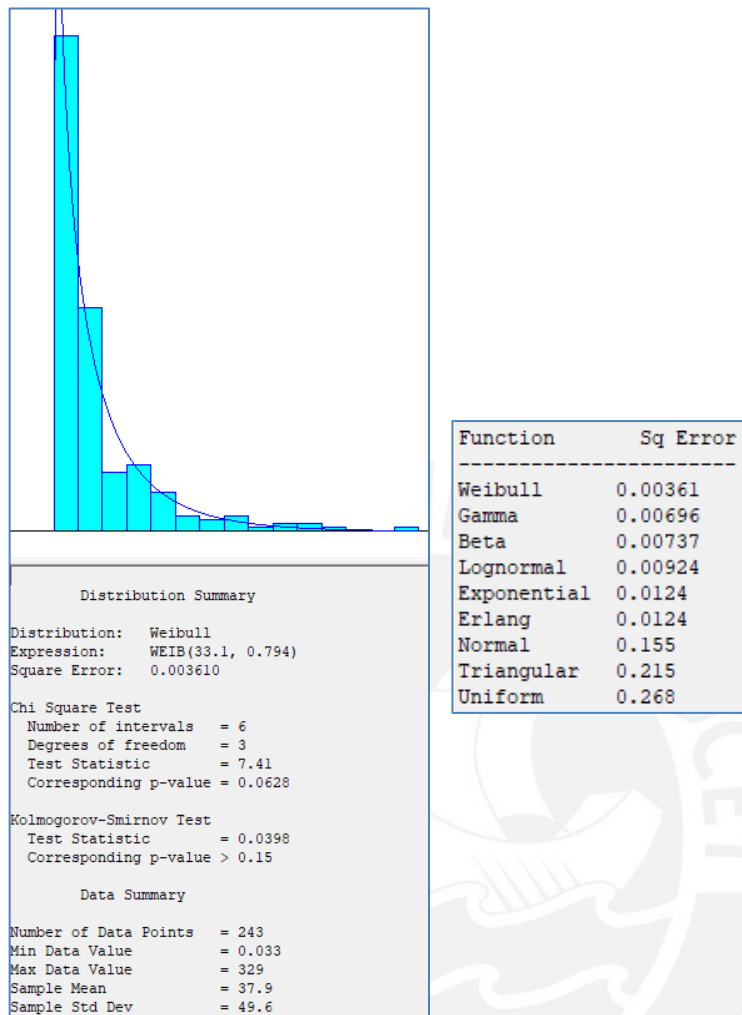


Figura 56. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días sábados entre 21:0 y las 07:00
Elaboración propia

En la Figura 56, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 243 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se emplearan estos parámetros 33.1 y 0.794 correspondientes a la distribución Weibull.

- Tiempo entre llamadas los días domingo de 07:00 a 15:00

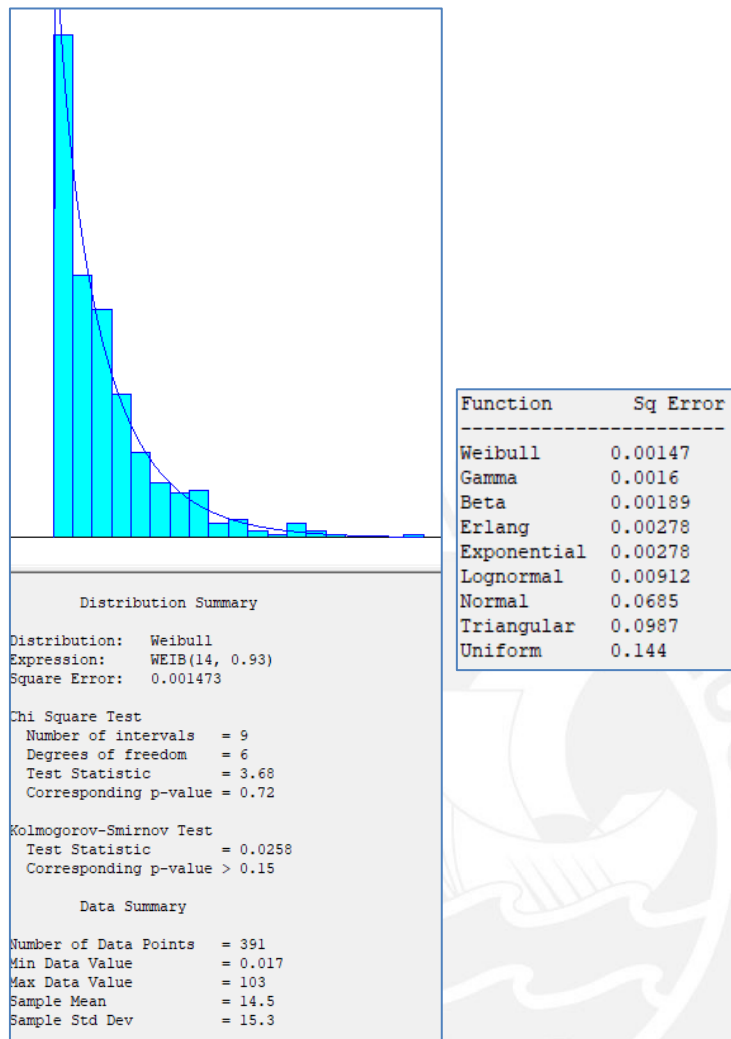


Figura 57. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingos entre las 07:00 y las 15:00

Elaboración propia

La Figura 57 muestra la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingo entre las 07:00 y las 15:00. La variable de análisis es continua y la cantidad de datos ingresados al Input es de 391. Es posible aplicar ambas pruebas debido a que la cantidad de datos es mayor a 90 y la variable es continua. El pValue de ambas pruebas es mayor al nivel de significancia. Se puede observar en la lista ordenada de errores cuadrados que la distribución con el menor error cuadrado es la distribución Weibull. Para simular la variable se va a emplear la distribución Weibull con parámetros 14 y 0.93.

- Tiempo entre llamadas los días domingo entre las 15:00 y las 19:00

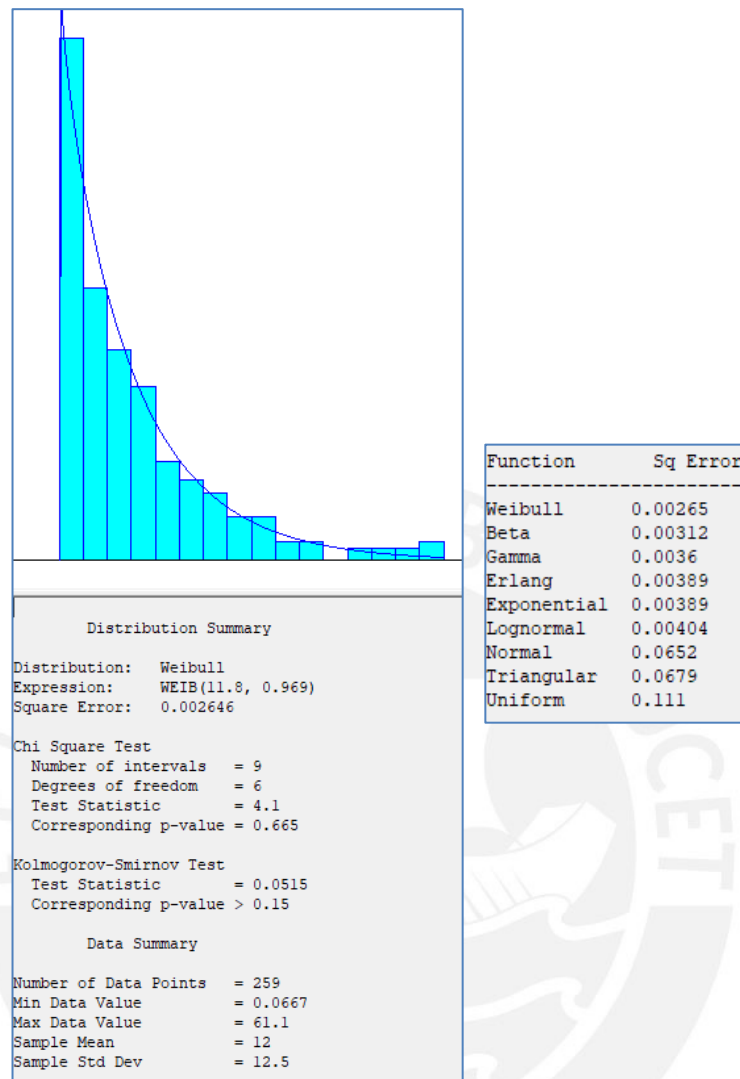


Figura 58. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre los días domingo entre las 15:00 y las 19:00
 Elaboración propia

La Figura 58 muestra la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingo entre las 15:00 y las 19:00. La variable de análisis es continua y la cantidad de datos ingresados al Input es de 259. Es posible aplicar ambas pruebas debido a que la cantidad de datos es mayor a 90 y la variable es continua. El pValue de ambas pruebas es mayor al nivel de significancia. Se puede observar en la lista ordenada de errores cuadrados que la distribución con el menor error cuadrado es la distribución Weibull. Para simular la variable se va a emplear la distribución Weibull con parámetros 11.8 y 0.696.

- Tiempo entre llamadas los días domingo entre las 19:00 y las 21:00

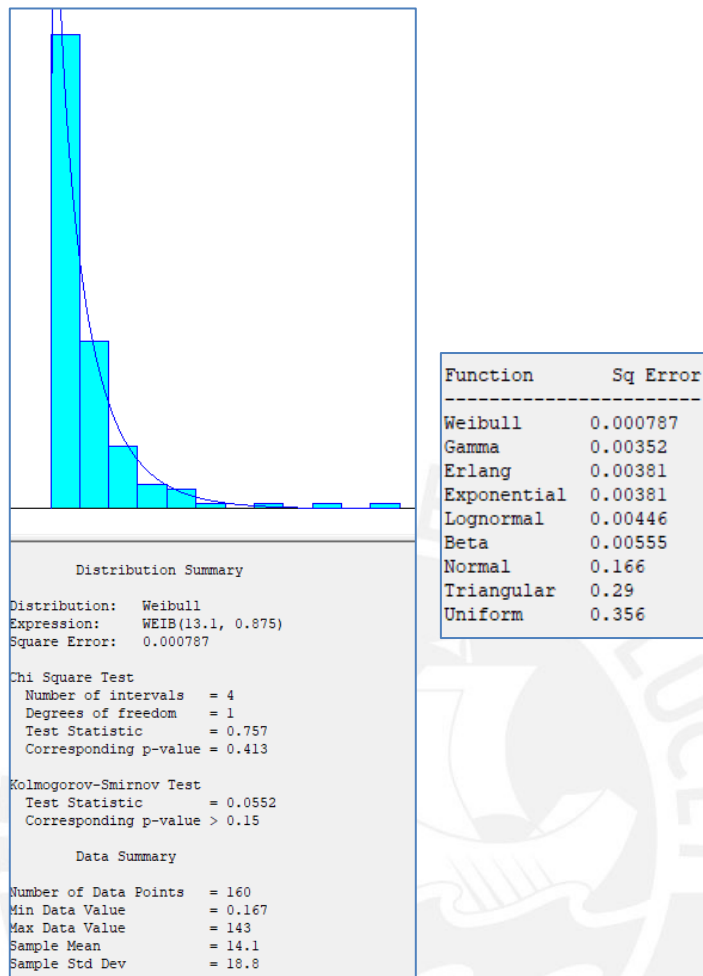


Figura 59. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingo entre las 19:00 y las 21:00

Elaboración propia

La Figura 59 muestra la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingo entre las 19:00 y las 21:00. La variable de análisis es continua y la cantidad de datos ingresados al Input es de 160. Es posible aplicar ambas pruebas debido a que la cantidad de datos es mayor a 90 y la variable es continua. El pValue de ambas pruebas es mayor al nivel de significancia. Se puede observar en la lista ordenada de errores cuadrados que la distribución con el menor error cuadrado es la distribución Weibull. Para simular la variable se va a emplear la distribución Weibull con parámetros 13.1 y 0.875.

- Tiempo entre llamadas los días domingo entre las 21:00 y las 07:00

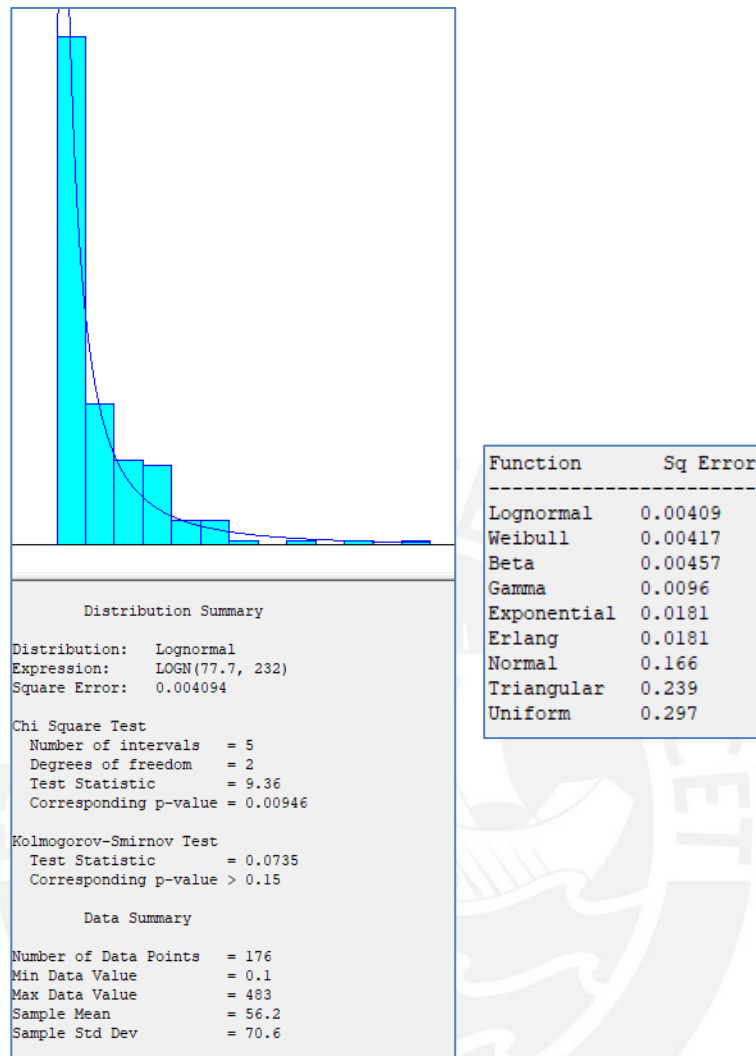


Figura 60. Prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas los días domingo entre las 21:00 y las 07:00
Elaboración propia

En la Figura 60, se visualiza la prueba de bondad de ajuste para el tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00. Donde se analiza que la variable de análisis es continua, así como la cantidad de datos ingresados al Input Analyzer es de 176 que corresponde con el tamaño de muestra calculado para la variable. Por lo que, las dos pruebas son aplicables ya que es una variable continua, donde la cantidad de datos es mayor a 90. Asimismo, analizando el resultado el pValue de ambas pruebas esta por encima del nivel de significancia estándar. Adicional a ello, para que esta variable sea apta para simular, se emplearan estos parámetros 77.7 y 232 correspondientes a la distribución Lognormal.

Tabla 23. Resumen de las distribuciones a emplea para cada variable

ID	Variable	Expresión
V1	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 07:00 y las 15:00	-0.001 + GAMM(8.23, 0.995)
V2	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 15:00 y las 19:00	-0.001 + GAMM(7.88, 0.998)
V3	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 19:00 y las 21:00	-0.001 + GAMM (8.35, 0.963)
V4	Tiempo entre llamadas de lunes a viernes entre las 21:00 y las 07:00	-0.001 + LOGN (60.8, 222)
V5	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 07:00 y las 15:00	-0.001 + WEIB (7.51, 0.959)
V6	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 15:00 y las 19:00	-0.001 + EXPO (10.4)
V7	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 19:00 y las 21:00	EXPO (13.6)
V8	Tiempo entre llamadas días sábado entre las 21:00 y las 07:00	WEIB (33.1, 0.794)
V9	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 07:00 y las 15:00	WEIB (14, 0.93)
V10	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 15:00 y las 19:00	WEIB (11.8, 0.969)
V11	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 19:00 y las 21:00	WEIB (13.1, 0.875)
V12	Tiempo entre llamadas días domingo entre las 21:00 y las 07:00	LOGN (77.7, 232)

Elaboración propia

4.3. Presunciones realizadas para establecer el modelo

En esta sección se definen los supuestos para el desarrollo del modelo

- Se considera que la empresa trabaja los días feriados como cualquier día normal.
- Se considera que el cambio de turno para los operadores de calle es

instantáneo. Además, no se considera el horario de refrigerio.

- No se consideran fallas en los sistemas de Pacífico Asiste ni en los sistemas de telefonía e internet.
- Se asume que el asegurado tiene los papeles en regla por lo que no es necesario realizar trámites adicionales.
- Se asume que los vehículos de los motorizados están en buenas condiciones y que son supervisados constantemente por lo que no tienen fallas y no hay problema con la gasolina o combustible.
- Para las zonas, se considera que el asegurado se encuentra en un lugar céntrico, debido a que en la realidad puede ubicarse en cualquier distrito de la zona, pero debido a que son varios, se asume un lugar céntrico.
- Se considera que los motorizados trabajan a una misma velocidad. No se considera el cierre de calles ni el tráfico.
- No se considera una reasignación de caso, es decir, si un caso fue asignado a un asesor, este no podrá ser reasignado a otro. En otras palabras, permanece en cola del asesor asignado hasta que sea atendido.
- Se asume que los motorizados están capacitados para resolver cualquier tipo de siniestro, por lo cual para su asignación no depende el tipo de siniestro.
- Se asume que la demanda de atención de siniestros no se ve afectado por feriados de manera que siempre posee el mismo comportamiento.

4.4. Desarrollo del modelo propuesto

De acuerdo a lo explicado en la propuesta de mejora, se detallará el desarrollo de cada una de las políticas planteadas

4.4.1. Desarrollo del modelo de la política 1

- **Objetivo:** Se basa en minimizar la suma de los tiempos de desplazamiento desde la asignación de la ambulancia hasta el traslado del paciente al hospital, tomando en consideración que las ambulancias solo atenderán la llamada si pertenecen a la zona de ayuda.
- **Distancia y tiempo de respuesta:** De acuerdo al Anexo 3, se ha calculado el recorrido de las ambulancias a los diferentes puntos de llamada de emergencia, ubicados en su zona. En la Figura 61, se puede observar una visión más dinámica de cómo se han calculado las distancias, tomar en cuenta

que en la figura solo se grafica la relación para el cálculo de distancia que se ha considerado.

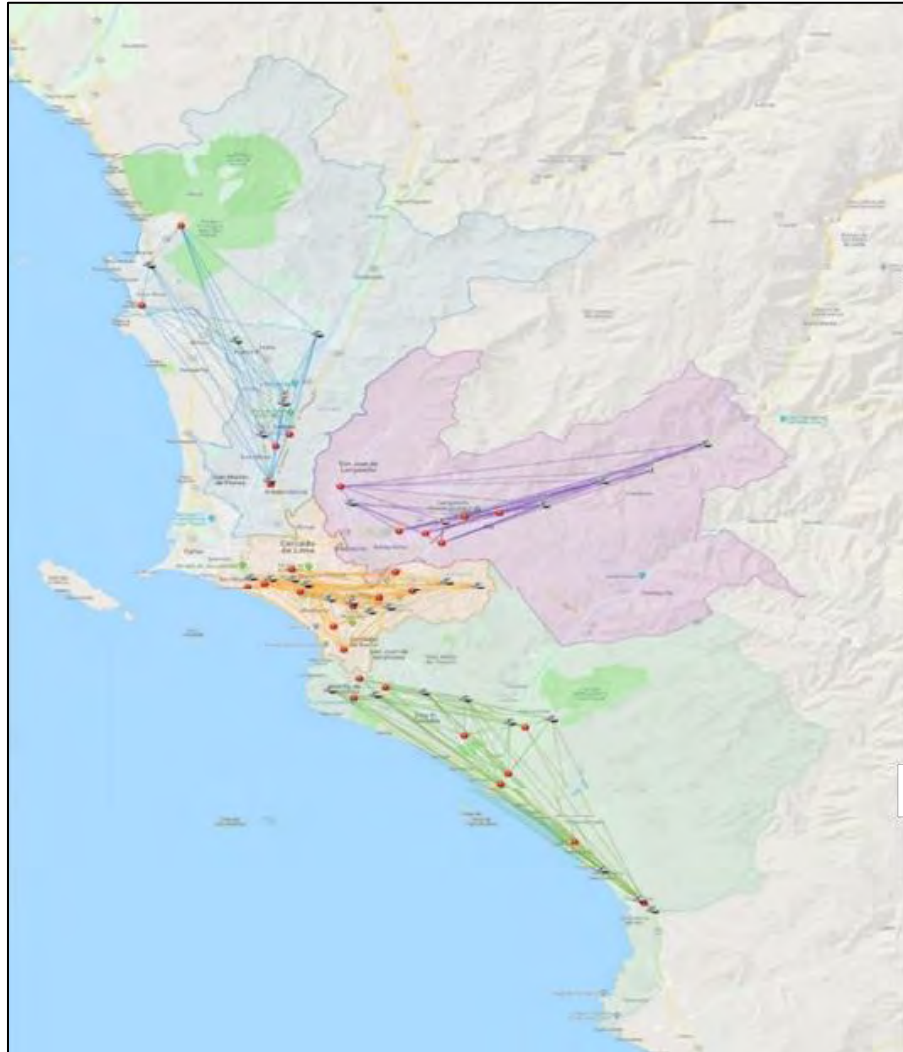


Figura 61. Propuesta de la política 1
Elaboración propia

4.4.2. Desarrollo del modelo de la política 2

- **Objetivo:** Se basa en minimizar el tiempo de respuesta desde la asignación de la ambulancia hasta el traslado del paciente al hospital, tomando en consideración que las ambulancias atenderán a cualquier localización del accidente.
- **Distancia y tiempo de respuestas:** Para esta política, se ha seguido los mismos pasos de la política 1 en cuanto al cálculo de las distancias. Sin embargo, estas están calculadas tomando en cuenta que las ambulancias pueden atender a los puntos de los accidentes que se encuentren en una zona diferente. Se tomará en cuenta que se terminaran de hallar los puntos

faltantes ya que las distancias de las ambulancias dentro de la misma zona ya se realizaron.

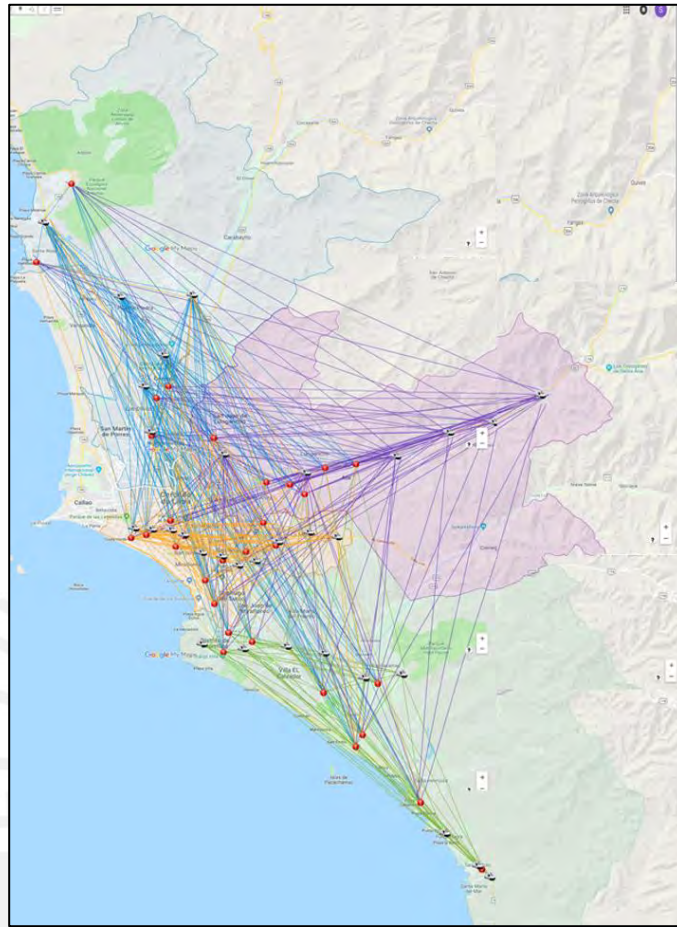


Figura 62. Política 2
Elaboración propia

4.4.3. Desarrollo del modelo en Arena Simulation Software

Una vez realizado la explicación de los objetivos y la metodología de trabajo de cada una de las propuestas, se detallará el flujo que sigue el modelo de ambas propuestas en el sistema de Arena Simulation Software. Para ello, es importante reconocer los elementos utilizados:

- Replicate: Para este modelo se consideró 30 réplicas
- Atributes: Se realizó la definición de cada uno sub-elementos a utilizar como lo es la zona, zona, distrito, cantidad de afectados, momento de alerta, el tiempo de espera y la ambulancia elegida.
- Queues: Se generaron 4 colas para cada una de las zonas donde se ubican la ambulancia.
- Distances: En este elemento, se definió las distancias requeridas para cada accidente. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que para cada propuesta

se tomaron distancias diferentes en el modelo, debido a la naturaleza de las propuestas.

- **Transporters:** Se ha realizado la separación de todas las ambulancias por zonas, tal como se describe la distribución de este recurso a lo largo del proyecto.
- **Stations:** Las estaciones que se han manejado en el proyecto se refiere a todos los distritos de Lima Metropolitana, donde se puede encontrar un accidente, localización de la ambulancia o el hospital más cercano.
- **Outputs:** Este elemento está diseñado para calcular el nivel de cumplimiento de los indicadores, que permitirán encontrar la solución más efectiva entre ambas.

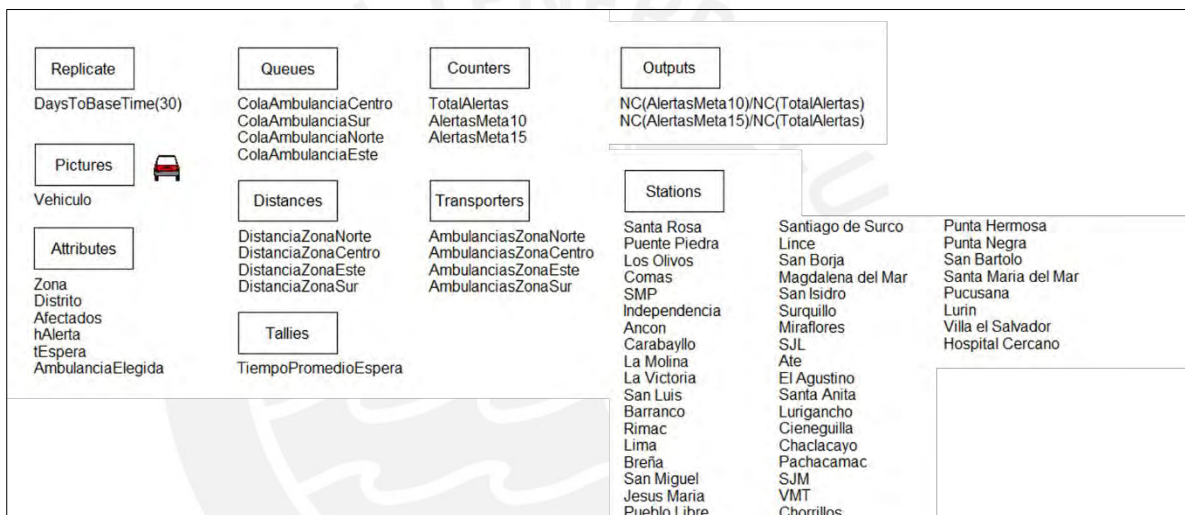


Figura 63. Elementos del modelo en Arena Simulation Software
Elaboración propia

En la Figura 64, se muestra el comienzo del modelo, con la identificación de la información necesaria a partir de una alerta de accidente de tránsito, que a continuación envía el mensaje a la ambulancia correspondiente, para ello se considera que de acuerdo a la primera propuesta este recurso solo podrá atender al accidente que se origine en la misma zona de ubicación del mismo, es por ello que en la Figura 66, se aprecia la división de las zonas, a diferencia de la Figura 67, donde no existe tal división, puesto que la propuesta 2 atiende a cualquier accidente independientemente de la localización de la ambulancia. A continuación, una vez detectado la ambulancia más cerca, se procede a medir el nivel de cumplimiento de los indicadores de resultados que se explican en el capítulo 5, para una posterior evaluación y selección de la propuesta más óptima, una vez realizada la atención correspondiente en el punto del accidente, se procede a trasladar al paciente o los pacientes al hospital más cercano, donde

finalmente se procederá a liberar el recurso como lo es la ambulancia para que pueda atender otro accidentes que se pueda producir, tal como se muestra en la Figura 65.

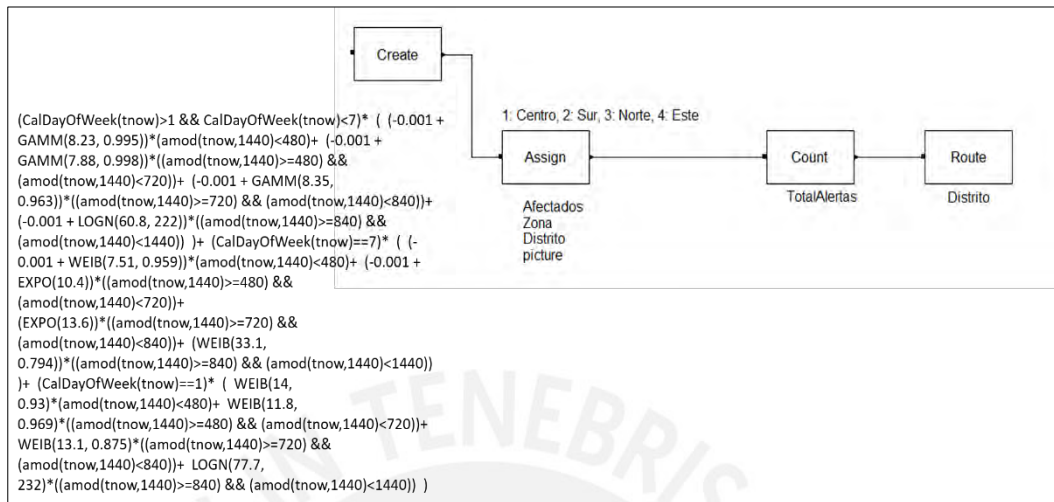


Figura 64. Modelo propuesta 1 y propuesta 2 en Arena Simulation Software
Elaboración propia

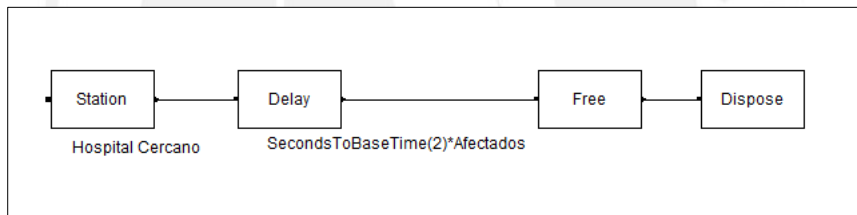


Figura 65. Modelo propuesta 1 y propuesta 2 en Arena Simulation Software
Elaboración propia

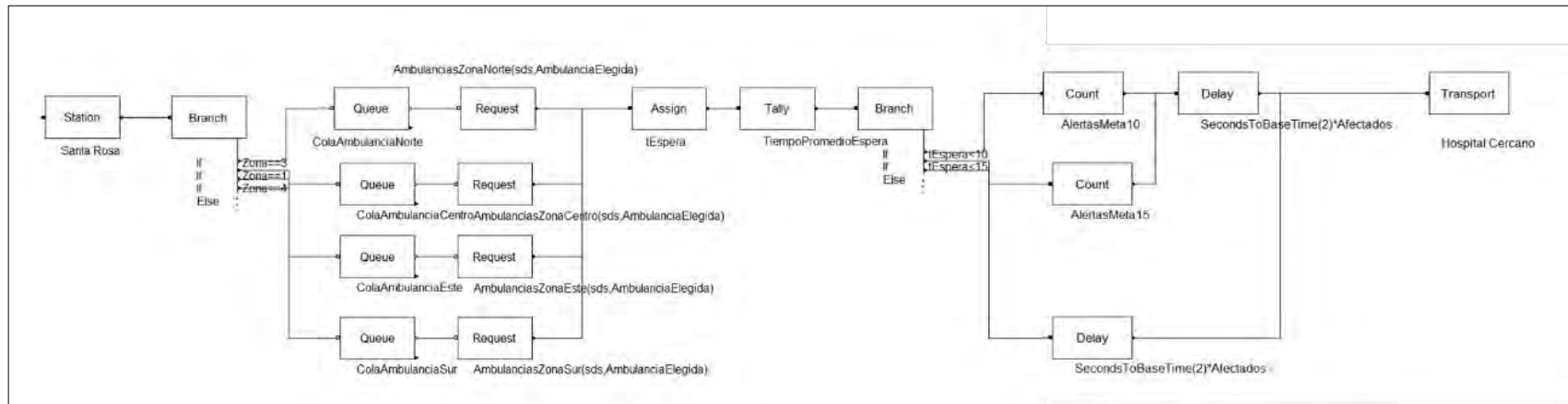


Figura 66. Modelo propuesta 1 en Arena Simulation Software
Elaboración propia

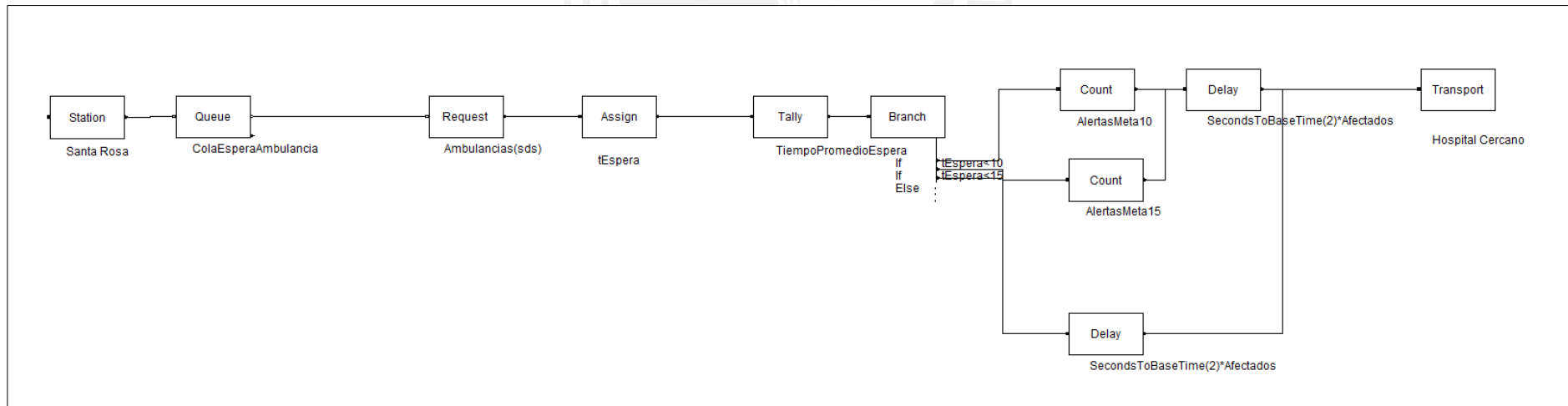


Figura 67. Modelo propuesta 2 en Arena Simulation Software
Elaboración Propia

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA

En esta sección se realizará el análisis de los resultados para cada propuesta descrita anteriormente, donde se analizarán los indicadores establecidos, para la comparación de ambas propuestas y finalmente se escogerá el mejor modelo que cumpla con el objetivo principal de este proyecto. Asimismo, se analizará el impacto económico que genera la puesta en marcha del sistema propuesto.

5.1. Indicadores de resultados

Para esta sección, se mostrarán ciertos indicadores que ayudarán a realizar una comparación entre ambas propuestas, de esta manera habrá una medición estándar.

- a. **Cumplimiento de 10 minutos:** Se medirá el porcentaje de cumplimiento de las ambulancias, al llegar en un tiempo menor o igual a 10 minutos, el cual logrará que el paciente tenga mayores posibilidades de sobrevivir, de acuerdo a lo analizado en el capítulo 1.
- b. **Cumplimiento de 15 minutos:** Se medirá el porcentaje de cumplimiento de las ambulancias, al llegar en un intervalo de tiempo entre 10 a 15 minutos, lo cual, según lo revisado anteriormente, hay un gran porcentaje de sobrevivir, si es que el paciente es atendido en ese tiempo.
- c. **Tiempo de espera:** Este indicador refleja el tiempo que toma en promedio a una ambulancia atender un accidente, es decir, desde que la alerta se activa, hasta que es recogido por la ambulancia.

5.2. Comparación de resultados

Para realizar la validación de los indicadores se empleará la prueba de hipótesis para cada uno de los indicadores de salida:

▪ **Cumplimiento 10 minutos**

$$H_0: \text{Cumplimiento 10 minutos}_{\text{Propuesta 1}} = \text{Cumplimiento 10 minutos}_{\text{Propuesta 2}}$$

$$H_1: \text{Cumplimiento 10 minutos}_{\text{Propuesta 1}} < \text{Cumplimiento 10 minutos}_{\text{Propuesta 2}}$$

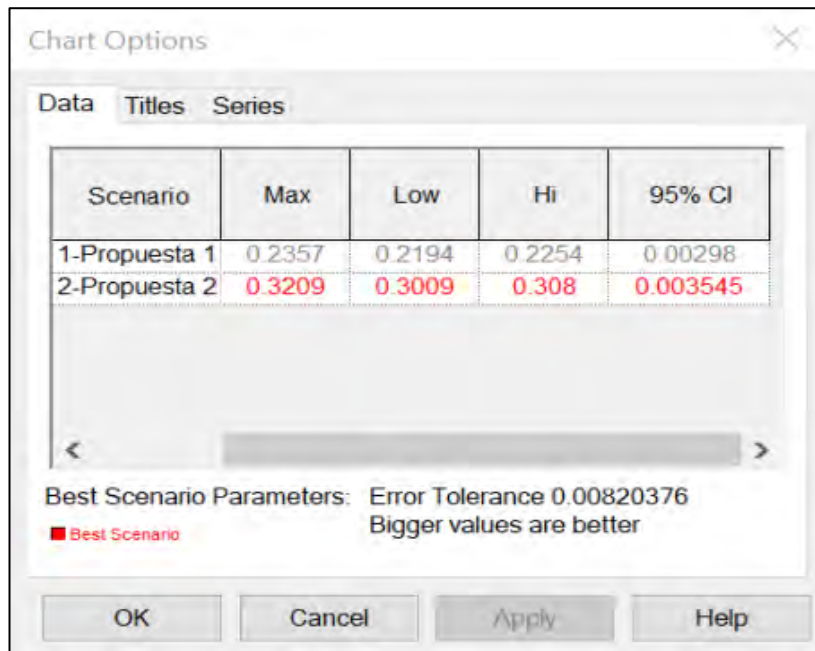


Figura 68. Datos de la comparación de ambas políticas para el cumplimiento menor o igual a 10 minutos
 Elaboración propia

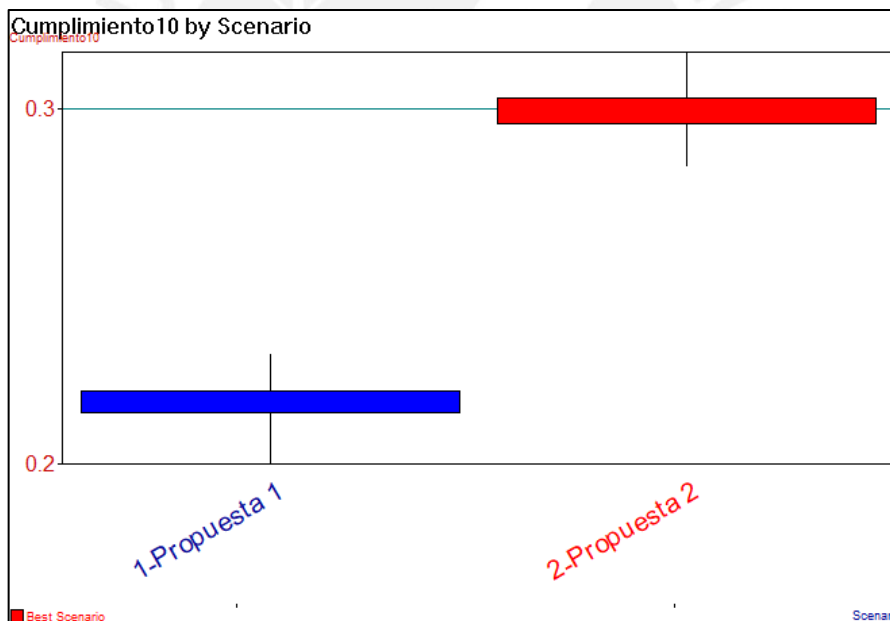


Figura 69. Comparación de las políticas en cuanto a intervalos y rangos para el cumplimiento menor o igual a 10 minutos
 Elaboración propia

Conclusión:

El intervalo de la propuesta 2 es mayor, por lo que se rechaza H_0 y se concluye que el cumplimiento de 10 minutos o menos es mayor en la propuesta 2.

▪ **Cumplimiento 15 minutos**

$$H_0: \text{Cumplimiento 15 minutos}_{\text{Propuesta 1}} = \text{Cumplimiento 15 minutos}_{\text{Propuesta 2}}$$

$$H_1: \text{Cumplimiento 15 minutos}_{\text{Propuesta 1}} < \text{Cumplimiento 15 minutos}_{\text{Propuesta 2}}$$

Chart Options

Data Titles Series

Scenario	Max	Low	Hi	95% CI
1-Propuesta 1	0.2775	0.2431	0.2507	0.003753
2-Propuesta 2	0.3014	0.2737	0.2817	0.003964

Best Scenario Parameters: Error Tolerance 0.00307948
 Bigger values are better

■ Best Scenario

OK Cancel Apply Help

Figura 70. Datos de la comparación de ambas políticas para el cumplimiento menor o igual a 15 minutos
 Elaboración propia

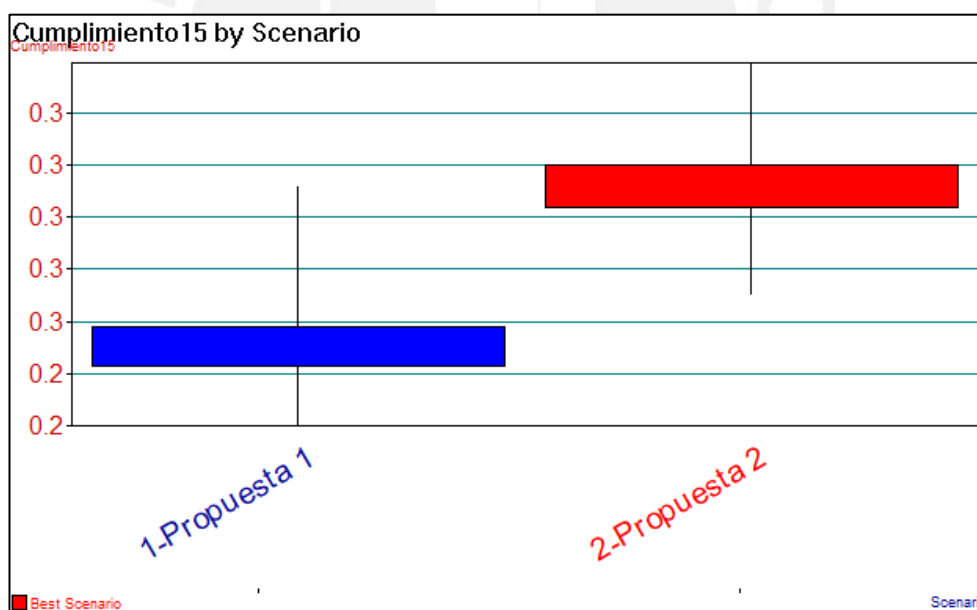


Figura 71. Comparación de las políticas en cuanto a intervalos y rangos para el cumplimiento menor o igual a 15 minutos
 Elaboración propia

Conclusión:

Se observa que el intervalo de la propuesta 2 es mayor al de la propuesta 1, por lo que se concluye que el cumplimiento entre 10 a 15 minutos es mayor en la propuesta 2.

- **Tiempo promedio de espera**

H_0 : *Tiempo espera* Propuesta 1 = *Tiempo espera* Propuesta 2

H_1 : *Tiempo espera* Propuesta 1 > *Tiempo espera* Propuesta 2

Scenario	Max	Low	Hi	95% CI
1-Propuesta 1	72.5	20.19	20.47	0.1411
2-Propuesta 2	65	17.51	17.77	0.1291

Best Scenario Parameters: Error Tolerance 0.268455
 Bigger values are better

■ Best Scenario

Figura 72. Datos de comparación de las dos políticas para el tiempo de espera.
 Elaboración propia

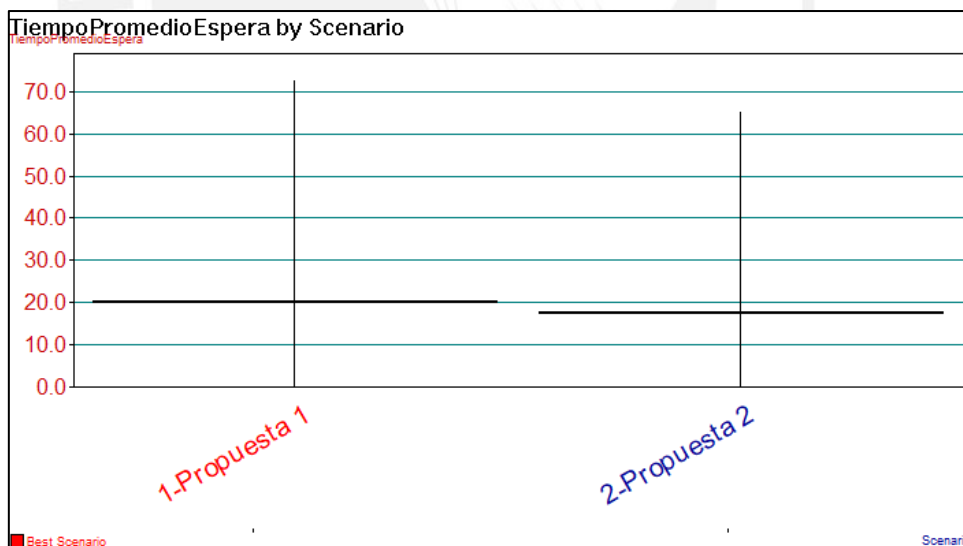


Figura 73. Comparación de las políticas en cuanto a intervalos y rangos para el tiempo promedio de espera.
 Elaboración propia

Conclusión:

Se observa que el intervalo de confianza de la propuesta 2 es menor al de la propuesta 1 por lo que se concluye que el tiempo de espera de ambulancia es menor en la propuesta 2.

Scenario Properties				Responses			
S	Name	Program File	Reps	Cumplimiento 10	Cumplimiento 15	TiempoPromedioEspera	TotalAlertas
1	Propuesta 1	1 - PROPUESTA1.p	30	0.222	0.247	20.329	2764
2	Propuesta 2	2 - PROPUESTA2.p	30	0.304	0.278	17.644	2764

Figura 74. Resumen de las comparaciones
Elaboración propia

Luego de analizar cada uno de los tres indicadores, como el cumplimiento menor a 10 minutos, cumplimiento entre 10 a 15 minutos y tiempo de espera ambulancia, se concluye que la propuesta 2 (las ambulancias no se encuentran restringidas para la atención por zonas, sino que pueden atender a cualquier distrito) es el más óptimo ya que representa un 58 % de cumplimiento del objetivo principal, que es la reducción del tiempo de respuesta de atención al ocurrir un accidente de tránsito. Además, se observa que el tiempo de respuesta, es decir desde que se alerta un accidente hasta que llega la unidad correspondiente, es de 18 minutos, representando la reducción de un 51% con respecto a la actualidad, por lo que se sugiere implementar esta política.

Para poder realizar la validación de esta propuesta con la que se tienen en la actualidad, se procederá a realizar la prueba de hipótesis correspondiente. Para ello, se define lo siguiente, considerando que la media es 17.312 y el medio ancho es 1.024

$$H_0: \text{Tiempo espera}_{\text{Propuesta 2}} = \text{Tiempo espera}_{\text{Actual}}$$

$$H_1: \text{Tiempo espera}_{\text{Propuesta 2}} > \text{Tiempo espera}_{\text{Actual}}$$

$$IC = \frac{\bar{x} \pm t \cdot s}{\sqrt{n}}$$

$$IC = \bar{x} \pm h$$

$$IC = 17.312 \pm 1.024$$

$$IC = [16.288; 18.336]$$

De acuerdo a lo desarrollado, y considerando que el tiempo promedio de espera entre la alerta y la llegada de la ambulancia a la ubicación del accidente de tránsito en la actualidad es 32 minutos, se observa que el tiempo en mención se ubica

fuera del rango del intervalo de confianza. Por ende, se concluye que la propuesta seleccionada es mejor que la situación actual.

5.3. Evaluación económica de la propuesta

De acuerdo a un estudio realizado en el año 2015, desarrollado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), se registró un costo económico por accidentes de tránsito de S/ 19,195,000,000 representando el 3.1% del PBI, correspondiente a 2,965 muertes. Con estos datos, se realizó una comparación de los costos incurrido en el año 2018 sin ningún cambio y los costos que se obtendría a partir de la implementación del nuevo sistema.

Tabla 24. Comparación de modelo actual y propuesto de número de muerte 2018 en Lima Metropolitana

	Lima Metropolitana -2018	
	Actual	Propuesta (Lesiones graves o muerte)
Cantidad de accidentes	54,034	22,694
Número de accidentados	61,847	25,976
Número de muertes	749	315
% de muertes con respecto a los accidentados	1.21%	1.21%

Elaboración propia

Tabla 25. Tasa de accidentados sobre los accidentes de tránsito

Perú – 2018	
Cantidad de accidentes	90,056
Número de Accidentados	103,079
Tasa de accidentados/accidentes	1.14

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática

De acuerdo a la Tabla 24, se observa que en la situación propuesta existen 22,694 accidentes de tránsito de lesiones graves o muerte, debido a que, en las conclusiones de la propuesta seleccionada, se mencionó que el 58% de los accidentes se atenderían antes de los 15 minutos, es decir que estas personas estarían en el radio de atención oportuna y por ende de sufrir leves lesiones. Es por ello, que solo el 42% podría sufrir lesiones graves o inclusive terminar en una lamentable muerte. Acorde a lo explicado, de la cantidad de accidente de tránsito mostrada en la propuesta, se calculó el número de accidentados utilizando la tasa de accidentados/accidentes en la Tabla 25 que fue

1.14, representando 25,976 accidentados en Lima Metropolitana en el año 2018, lo que representaría que 315 personas tendrían un desenlace fatal. Sin embargo, con la propuesta explicada en esta tesis se salvarían 434 vidas.

Tabla 26. Costo económico con respecto al número de muertos – Perú 2018

Perú - 2018	Cantidad de muertos	
	Actual	Propuesta
	3,244	2,810
Costo económico	S/ 21,001,207,420	S/ 18,188,832,411
PBI	S/ 730,380,000,000	S/ 730,380,000,000
%PBI de accidentes de tránsito	2.88%	2.49%

Elaboración propia

Tabla 27. Costo económico de accidentes de tránsito – Perú 2015

Perú 2015	
Cantidad de muertos	2,965
Costo económico del número de muertes	S/ 19,195,000,000

Elaboración propia

Realizando un análisis a nivel nacional de la cantidad de muertos, se obtendría los datos expresados en la Tabla 26. Por otro lado, para obtener el monto de económico que generan estos accidentes de tránsito, se utilizó el dato del costo económico en el año 2015 mostrada en la Tabla 27, lo cual dio como resultado que en el año 2018 a nivel nacional se gastaría S/ 730,380,000,000, representando un 2.49% del PBI, reduciendo en un 0,39% con respecto a un año sin cambio de mejora.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto descrito en los capítulos anteriores acerca de la optimización del tiempo de respuesta para la atención de emergencias en caso de accidentes de tránsito en Lima Metropolitana, consiste en un sistema que permite a través de un dispositivo vehicular minimizar el indicador de tiempo de respuesta ante estos sucesos para atender a un mayor número de personas perjudicadas. Para ello, se desarrollaron dos propuestas. La primera se trató de una política en la cual las ambulancias solo estaban permitidas atender a la demanda que se manifiesta en su misma zona, ya sea en Lima Norte, Lima Sur, Lima Este o Lima Centro. Por otro lado, la segunda política se basa en una atención donde se permite atender la demanda de cualquier zona, a pesar de que el punto de origen de la ambulancia se ubique en una zona diferente con respecto al accidente.

De acuerdo al primer objetivo específico, se identificó que la mejor metodología para este sistema era de una distribución de ambulancias por toda Lima Metropolitana, las cuales tendrán un punto de partida repartidas equitativamente y teniendo en cuenta la cantidad de accidentes por distritos, de esta manera nos aseguraremos que estén más cerca de los puntos de demanda y se cumpla con la efectiva atención.

Por otro lado, acorde al segundo objetivo específico, se realizó la simulación de las propuestas, concluyendo que la propuesta 2 es la solución más óptima ante la problemática ya explicada anteriormente. De esta manera, se estará cumpliendo con la atención correspondiente de manera óptima en un 58 % en los indicadores donde la ambulancia llega al punto de accidente en 10 y 15 minutos como máximo, asimismo se calculó que el tiempo de espera es 18 minutos, sin embargo, se debe tomar en consideración que el tiempo en mención es desde que el sensor del dispositivo puesto en el vehículo se activa, hasta que llegue al punto de accidente, lo cual es casi un 51 % de mejora en cuanto al tiempo de espera de un accidente en la actualidad.

Asimismo, conforme al tercer objetivo específico, se analizó la viabilidad del proyecto por medio de los ahorros que se tendrían al poner en marcha este nuevo sistema, demostrando que habría un promedio de 15% de reducción de gastos anuales, lo que significaría que solo que invertiría un 2.49 % del PBI a comparación de lo que se invierte en la actualidad anualmente.

Finalmente, con arreglo al cuarto objetivo, se analizaron las diversas insuficiencias del sistema actual, permitiendo desarrollar este nuevo sistema resolviendo las 3 principales deficiencias que son la recopilación verídica que se requiere para la atención respectiva, el tiempo de respuesta desde que se realiza el llamado de alerta hasta que llegue la unidad correspondiente según la normativa de la OMS y por último la rapidez del reconocimiento al hospital más cercano que debería trasladarse al paciente.

Es importante tener en cuenta que el proyecto, si bien es cierto cubre las principales deficiencias del sistema actual que se maneja sobre la atención de los accidentes de tránsito, existen tres recomendaciones, con las cuales se podrían terminar de mejorar este proyecto y son las siguientes:

- ❖ Diseñar y desarrollar una página Web, donde toda persona que adquiera este dispositivo, pueda inscribirse, manifestando sus datos completos de el y los usuarios frecuentes al vehículo. De esta manera, cuando lo crea oportuno podrá seleccionar las personas que están en el vehículo en ese instante y tener un viaje con la certeza que tendrá un monitoreo constante y una atención personalizada si es que llegara a suceder un accidente.
- ❖ Implementar un sistema de alerta conjunto con los demás servicios de emergencia como lo son el equipo de bomberos y a la unidad de policías. Para lograr una atención efectiva al momento del accidente, así se podrá brindar a los afectados una mejor calidad de servicio.
- ❖ Desarrollar una normativa que exige a los proveedores de automóviles que cualquier venta que se realice de estas unidades al territorio peruano, pase un proceso de revisión donde se solicite incorporar este dispositivo vehicular y que este alineado a las regulaciones desarrolladas para el cumplimiento del sistema propuesto en este trabajo de tesis.

CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades. «Situación de las lesiones causadas por accidentes de tránsito en el Perú 2° Trimestre 2019.» 2019. <https://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/sala/2019/SE24/transito.pdf> (último acceso: 2020).

Concepción, F y otros. «New model of maximal covering location problem with fuzzy conditions.» 2009. <http://eprints.ucm.es/11085/1/proyecto.pdf> (último acceso: 25 de 04 de 2019).

Foschiatti, A y otros. «El impacto social de los accidentes de tránsito y su relación con los servicios hospitalarios, en resistencia.» *Universidad Nacional del Nordeste*. 2001. <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/2001/2-Humanisticas/H-007.pdf> (último acceso: 2019).

Gestión. *Atención médica: ¿Cuál es la diferencia entre emergencia y urgencia?* Lima. 2017. <https://gestion.pe/tu-dinero/atencion-medica-diferencia-emergencia-urgencia-128188> (último acceso: 2018).

Håkon Leknes, Eirik Skorge Aartun, Henrik Andersson, Marielle Christiansen, Tobias Andersson Granberg,. «Strategic ambulance location for heterogeneous regions.» En *European Journal of Operational Research*, de Eirik Skorge Aartun, Henrik Andersson, Marielle Christiansen, Tobias Andersson Granberg, Håkon Leknes, 122-133. ScienceDirect, 2017.

INEI. «Sistema Estadístico Nacional Perú - Compendio Estadístico.» 2019. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1690/COMPENDIO2019.html?fbclid=IwAR3LvgABnZE-OLdss-iyVps9XnHvv1t4RJKln5nx8j6BiWnx1vDAayK3hmM (último acceso: 2020).

INESEM. «Revista digital Biosanitario.» 2016. <http://revistadigital.inesem.es/biosanitario/hora-de-oro/> (último acceso: 2019).

Instituto Nacional de Estadística e Informática. «Flujo vehicular por unidades de peaje. Informe técnico N°03 LIMA.» 2018. http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boleties/03-informe-tecnico-n03_flujo-vehicular-ene2018.pdf (último acceso: 12 de 05 de 2019).

Kakumoto, Y., Koyamatsu, Y., Shiota, A., Qudaih, Y., & Mitani, Y. «Application of Geographic Information System to Power Distribution System Analysis.» En

- Energy Procedia*, de Y., Koyamatsu, Y., Shiota, A., Qudaih, Y., & Mitani, Y. Kakumoto, 360-365. ScienceDirect, 2016.
- Lima Como Vamos - Observatorio ciudadano. «CÓMO VAMOS EN MOVILIDAD SEXTO INFORME DE RESULTADOS SOBRE CALIDAD DE VIDA.» 2016. <http://www.limacomovamos.org/cm/wp-content/uploads/2016/09/InformeMovilidad2015-1.pdf>.
- Masoud Swalehe, Semra Gunay Aktas. «Dynamic Ambulance Deployment to Reduce Ambulance Response Times Using Geographic Information Systems: A Case Study of Odunpazari District of Eskisehir Province, Turkey,» En *Procedia Environmental Sciences*, de Semra Gunay Aktas, Masoud Swalehe, 199 - 206. Turkey,: ScienceDirect, 2016.
- Matsumoto, H., Mashiko, K., Hara, Y., Yagi, T., Hayashida, K., Mashiko, K., ... & Kameyama, D. «Dispatch of helicopter emergency medical services via advanced automatic collision notification. » En *Journal of emergency medicine*, de H., Mashiko, K., Hara, Y., Yagi, T., Hayashida, K., Mashiko, K., ... & Kameyama, D. Matsumoto, 437-443. ScienceDirect, 2016.
- Ministerio de Salud. «Atención de emergencias: Creación de la Central Nacional de Regulación de Emergencias. Lima.» s.f. ftp://ftp2.minsa.gob.pe/descargas/Profesionales/sns/Archivos/ITCM_InformeFinal56-68.pdf (último acceso: 2018).
- Ministerio de salud. «Informe estadístico.» *Conductores y peatones responsables, vidas saludables. Semana de tránsito seguro y saludable - Lima. 2010.* <http://www.minsa.gob.pe/portada/especiales/2010/Transito2010/estadisticas.htm> (último acceso: 2019).
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. «Anuario estadístico 2016. Lima.» 2016. https://www.mtc.gob.pe/estadisticas/publicaciones/anuarios/ANUARIO_ESTADISTICO_2016.pdf.
- Organización Mundial de la Salud. *Centro de prensa: Lesiones causadas por el tránsito.* 2017. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/es/> (último acceso: 09 de 04 de 2018).
- Pablo Best, J. Jaime Miranda, Luis Huicho, Ada Paca-Palao, Diego Luna, Luis López, Edmundo Rosales, Claudia Lema, Esperanza Ludeña, Miriam Egúsquiza, y Equipo PIAT. *Programa Nacional de Investigación en Accidentes de Tránsito -*

Informe Impacto Socio Económico de los Accidentes de Tránsito. Lima: Salud sin límites Perú , 2009.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. «Informe sobre el desarrollo humano.» 2016.

http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016_SP_Overview_Web.pdf (último acceso: 2018).

Sierra, E. *Atención rápida de accidentes de tránsito.* . Manual de políticas y procedimientos. Secretaría de seguridad Municipal , Mexico : Gobierno Municipal San Pedro Garza García N.L, 2010.

