

ANEXO N°45  
INFORME FINAL



# Serie Proyectos de Investigación e Innovación

Superintendencia de Seguridad  
Social Santiago - Chile

## INFORME FINAL

**309-2023 - Desarrollo de herramienta de optimización para el diseño de flota y políticas de operación de sistemas de atención médica prehospitalaria de emergencia (Achs)**

Autor: Cristián E. Cortés, Vladimir Marianov, Pablo A. Rey, Gonzalo Pérez  
Año publicación: 2024

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales 2023 de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile), y fue financiado por Asociación Chilena de Seguridad con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.





## **SUPERINTENDENCIA DE SEGURIDAD SOCIAL SUPERINTENDENCE OF SOCIAL SECURITY**

La serie Proyectos de Investigación e Innovación corresponde a una línea de publicaciones de la Superintendencia de Seguridad Social, que tiene por objetivo divulgar los trabajos de investigación e innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades del Trabajo financiados por los recursos del Seguro Social de la Ley 16.744.

Los trabajos aquí publicados son los informes finales y están disponibles para su conocimiento y uso. Los contenidos, análisis y conclusiones expresados son de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente la opinión de la Superintendencia de Seguridad Social.

Si requiere de mayor información, sobre el estudio o proyecto escriba a: [investigaciones@suseso.cl](mailto:investigaciones@suseso.cl).

Si desea conocer otras publicaciones, artículos de investigación y proyectos de la Superintendencia de Seguridad Social, visite nuestro sitio web: [www.suseso.cl](http://www.suseso.cl)

The Research and Innovation Projects series corresponds to a line of publications of the Superintendence of Social Security, which aims to disseminate the research and innovation work in the Prevention of Occupational Accidents and Illnesses financed by the resources of Law Insurance 16,744.

The papers published here are the final reports and are available for your knowledge and use. The content, analysis and conclusions are solely the responsibility of the author (s), and do not necessarily reflect the opinion of the Superintendence of Social Security.

For further information, please write to: [investigaciones@suseso.cl](mailto:investigaciones@suseso.cl).

For other publications, research papers and projects of the Superintendence of Social Security, please visit our website: [www.suseso.cl](http://www.suseso.cl).

Superintendencia de Seguridad  
Social Huérfanos 1376  
Santiago, Chile.



## INDICE

### **Desarrollo de herramienta de optimización para el diseño de flota y políticas de operación de sistemas de atención médica prehospitalaria de emergencia (Achs)**

Autores: Cristián Cortés, Vladimir Marianov, Pablo Rey, Gonzalo Pérez

I.-	Resumen ejecutivo (250 palabras) .....	4
II.-	Palabras claves .....	4
III.-	Introducción y antecedentes .....	4
IV.-	Definición del problema, pregunta de investigación o desafío de innovación, objetivos .....	5
V.-	Revisión de la literatura o experiencias relevantes .....	5
VI.-	Descripción de la metodología o etapas de la innovación .....	6
VII.-	Resultados .....	8
VIII.-	Recomendaciones para Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo .....	28
IX.-	Conclusiones .....	29
X.-	Referencias .....	30

## **I.- Resumen ejecutivo (250 palabras)**

El proyecto consiste en el desarrollo de una interfaz gráfica cuyo fin es apoyar la toma de decisiones relacionadas con la habilitación o activación de la flota de vehículos sanitarios, mediante la simulación de reglas de decisión logísticas y operativas, para dar respuesta a las solicitudes de rescate de emergencia que se gestionan desde el Centro Regulador de Rescates de Achs Servicios, en la Región Metropolitana.

La herramienta desarrollada permite evaluar y comparar distintos escenarios de operación, simulando el funcionamiento del sistema a partir de información de demanda real o demanda simulada, para apoyar la toma de decisiones en el sistema de atención prehospitalaria, buscando la minimización de los tiempos de respuesta y, en general, la optimización del servicio entregado a los clientes frente a situaciones de emergencia sanitaria.

Los usuarios de la interfaz son el equipo que gestiona los recursos sanitarios de emergencia del Centro Regulador de Rescates de Achs Servicios, quienes participan en la toma de decisiones sobre la utilización de recursos y reglas de operación del sistema sanitario. Los beneficiarios finales, serán los eventuales accidentados que requieran asistencia sanitaria, dado que se busca la reducción de tiempos hasta el primer contacto con el equipo sanitario.

## **II.- Palabras claves**

Simulación, Optimización de flota, GUI (del inglés *Graphical User Interface*), Sistemas de Emergencia.

## **III.- Introducción y antecedentes**

Achs Servicios atiende cerca de 15.000 eventos de rescate de emergencia al año en la Región Metropolitana, asociados a accidentes de trabajadores y cubiertos por la Ley a Accidentes Laborales (Ley N° 16.744). La vida y la evolución médica de las personas accidentadas dependen de la celeridad del rescate y de la atención médica que reciban, por lo que los proveedores de atención médica de emergencia, en particular aquellos que entregan atención prehospitalaria, tienen el desafío de gestionar sus flotas de ambulancias para responder a la demanda en forma oportuna. Para ello, se cuenta con una flota de vehículos de dos tipos, que atienden casos más o menos complejos respectivamente, y un sistema de recepción de llamadas de emergencia, generación de horarios de traslados y activación de los vehículos individuales, de tal modo de ofrecer una respuesta que, dependiendo del tipo de emergencia, está sujeta a un acuerdo con los clientes en cuanto a su tiempo de respuesta máxima (SLA, del inglés *Service Level Agreement*).

En etapas anteriores de este proyecto de investigación e innovación, se ha trabajado en conjunto entre Achs Servicios e ISCI y se ha determinado que es posible mejorar la respuesta del sistema. Ello se logra adaptando dicho sistema a la demanda y haciendo cambios en el número y localización de los vehículos de emergencia que constituyen su flota.

Esta etapa del proyecto consiste en la construcción de una interfaz *off-line* que permite analizar diversas condiciones de funcionamiento del sistema, con el objetivo de encontrar posibles mejoras en su respuesta. Esta interfaz recibe datos de demanda, así como localizaciones iniciales (o existentes) de las bases y simula la respuesta del sistema, sobre la base de parámetros obtenidos de la operación real y generación de datos sintéticos, que permiten estimar la respuesta frente a variados escenarios de demanda y de recursos. Finalmente, la interfaz permite ejecutar un proceso de optimización heurística para buscar las mejores localizaciones posibles para los vehículos, dada la información del escenario determinado como lo son la demanda, las bases de despacho existentes, los centros de salud de la Región Metropolitana y los vehículos de emergencia disponibles.

#### **IV.- Definición del problema, pregunta de investigación o desafío de innovación, objetivos**

En el contexto del proyecto, el modelamiento matemático del problema de gestionar flotas de ambulancias para responder a la demanda en forma oportuna es un desafío complejo, debido a que se debe definir la composición de la flota, turnos de operación, localización y políticas de operación (atención, clasificación de emergencias y despacho) de acuerdo con sus recursos, considerando las características de la demanda, la regulación vigente y el efecto que tienen estas decisiones en el nivel de servicio.

Por otra parte, una vez planteados, diseñados conceptualmente, desarrollados los modelos matemáticos/heurísticas y obtenidas sus soluciones, que permiten dar respuesta a la gestión de flotas de vehículos de emergencia, se requiere entregar esta información de manera gráfica y con consideraciones de usabilidad, para que los tomadores de decisiones puedan utilizar la herramienta de manera sencilla y responder eficazmente a los requerimientos de la demanda de servicios de rescate de pacientes.

Los objetivos planteados para este proyecto son:

##### Objetivo General:

Desarrollar una interfaz que sirva como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en relación con la composición, localización y operación de la flota de vehículos de emergencia para la demanda de atención prehospitalaria en la Región Metropolitana para Achs Servicios.

##### Objetivos específicos:

1. Depurar y validar las metodologías desarrolladas en la etapa anterior, incluyendo el simulador, los modelos de localización y las políticas de despacho.
2. Actualizar y recopilar la información relevante y actualizada del problema, específicamente referida al nuevo modo de operación de vehículos sanitarios de emergencia.
3. Implementar y calibrar la interfaz y simulador mediante ciencia de datos y optimización para la Región Metropolitana.
4. Incorporar los desarrollos (simulación, modelos / heurísticas) en una interfaz gráfica.

#### **V.- Revisión de la literatura o experiencias relevantes**

Si bien la asignación de flota es un problema muy estudiado en la literatura para sistemas de ambulancias públicas o privadas que atienden emergencias de cualquier naturaleza (Stratman et al., 2023; Liu et al., 2021; Farahani et al, 2019; Aringhieri et al., 2017; Kerckamp, 2014; Goldberg, 2004), la novedad de este proyecto consiste en que no hay soluciones que sean aplicables para resolver la gestión de ambulancias en esquemas de atención de los organismos administradores del seguro de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, cuya demanda es estadísticamente distinta de aquella de los sistemas públicos.

Los problemas asociados a la localización de vehículos de emergencia conforman un área de investigación que ha sido muy activa en las últimas 4 décadas (Brotcorne y Laporte, 2003; Marianov y Serra, 2002) y, en el último tiempo, ha cobrado mayor relevancia gracias al avance en técnicas de optimización y de la computación. Aunque este proyecto pone especial énfasis en el problema de localización de ambulancias, si se desea profundizar en las distintas características o la taxonomía de los problemas de localización, en la literatura se presentan revisiones de diversos problemas logísticos del área de emergencia médica y clasificaciones detalladas para estos problemas (Reuter-Opperman et al., 2017).

En la literatura, para el problema estático, se distinguen principalmente dos enfoques o paradigmas generales en los modelos (Baez-Tapia, 2017). El primer enfoque se basa en el concepto de cobertura. Este concepto consiste en definir si una determinada demanda está cubierta o puede ser cubierta por una base o servidor asignado. Usualmente esto se hace con la ayuda de una medida

de distancia o tiempo y un umbral o nivel de servicio apropiado. En este enfoque, cuando se trabaja con modelos de programación entera, se puede considerar la cobertura tanto en la función objetivo como en las restricciones. El segundo enfoque apunta a minimizar o maximizar otros objetivos distintos a la cobertura. Por ejemplo, indicadores asociados al tiempo de respuesta en sistemas de emergencia o costos de traslado y localización de infraestructura. Ambos enfoques no son excluyentes y pueden diseñarse modelos que los combinen. En prácticamente toda la literatura, se observan algunos modelos precursores o fundamentales en el desarrollo de muchos otros modelos actuales.

Algunos ejemplos de modelos de cobertura son el *Location Set Covering Problem (LSCP)* que se apoya en el concepto de cobertura y busca minimizar el número de bases utilizadas para determinar el número mínimo necesario de bases que permite cubrir toda la demanda del problema (Brotcorne y Laporte, 2003). Luego, tenemos el modelo de *Maximal Covering Location Problem (MCLP)* que se apoya en el concepto de cobertura, pero, a diferencia del anterior, esta idea se incorpora en la función objetivo. El modelo busca maximizar la cobertura, es decir, definir localizaciones para las bases de manera que se maximice la cantidad de demanda que se considera cubierta considerando un número máximo de bases que pueden ser localizadas, lo que permite incorporar una noción de “presupuesto”. El MCLP es un modelo muy utilizado en los problemas de localización de ambulancias, pero tiene la desventaja de que su función objetivo puede presentar cambios abruptos entre tener cobertura y no tener cobertura en ciertas zonas, lo que a veces no representa de manera correcta la realidad (Azizan et al., 2017).

Además, podemos mencionar el modelo *p-Median Problem (PMP)*, correspondiente al segundo enfoque, que no maximiza cobertura. En este caso, el objetivo es minimizar el tiempo total de viaje o costo total en el que se incurre al satisfacer toda la demanda considerando que cada demanda es atendida por su base más cercana. Otro modelo básico interesante es el modelo de *p-Center* que es similar al PMP pero tiene como objetivo minimizar la distancia máxima entre las distancias de todas las demandas a sus bases más cercanas. Los modelos LSCP, MCLP y PMP corresponden a versiones simplificadas de problemas reales pues no consideran aspectos como la localización de distintos tipos de vehículos, distintos tipos de demanda, la inherente naturaleza estocástica del problema, las capacidades de los vehículos o servidores, el efecto de la operación en estos sistemas, etc. Otros modelos incorporan el aspecto estocástico del problema, donde se pueden mencionar los modelos MEXCLP, ERTM y MALP (Berg y Essen, 2019).

A medida que se incorporan más aspectos de la realidad en los modelos, estos se hacen más difíciles de resolver. Marín et al. (2018) presentan un modelo discreto de localización de cobertura (MILP) que considera incertidumbre y dependencia temporal en aspectos como la demanda y los costos. El modelo propuesto es resuelto mediante una heurística basada en relajación lagrangiana. Allen et al. (2021) desarrollan un ambiente de simulación y lo utilizan para evaluar el desempeño de varios métodos de *deep reinforcement learning* en un problema de localización de ambulancias. Carvalho et al. (2020) resuelven el problema de despacho y reubicación de ambulancias, con el objetivo de maximizar la cobertura en base a una medida de preparación temporal. Los autores proponen un modelo de programación lineal entera mixta y una heurística para su solución. Bélanger et al. (2020) abordan el problema de localización y despacho de ambulancias (ALDP) resuelto mediante un marco de simulación-optimización recursiva. Kergosien et al. (2023) estudian las ventajas de compartir recursos de diferentes flotas de ambulancias. En este estudio, los autores utilizan un simulador de eventos discretos desarrollado previamente (Kergosien et al., 2015).

## **VI.- Descripción de la metodología o etapas de la innovación**

La metodología para llevar a cabo el desarrollo del proyecto estuvo basada en las actividades claves para cumplir con los objetivos propuestos. A continuación, se presentan las actividades ejecutadas para cada uno de los objetivos específicos (OE) planteados:

OE1. Depurar y validar las metodologías desarrolladas en la etapa anterior, incluyendo el simulador, los modelos de localización y las políticas de despacho.

Actividades:

- a) Dentro de las primeras actividades ejecutadas, se encuentra la validación de los indicadores de desempeño y políticas definidas, que se incorporan en el prototipo funcional.
  - b) Por otro lado, se validaron los modelos utilizados por el simulador, incorporando nueva información y también se realizó la validación de las políticas de despacho.
- Cabe mencionar que se entregó un documento con las políticas modeladas y los KPI definidos a la contraparte en Achs Servicios.

OE2. Actualizar y recopilar la información relevante y actualizada del problema, específicamente referida al nuevo modo de operación de vehículos sanitarios de emergencia.

Actividades:

Se realizó el levantamiento y actualización de la información relacionada al modo de operación de los vehículos de emergencia, que incluyó:

- a. Información de la demanda de atención prehospitalaria histórica del sistema
- b. Información de todos los vehículos de emergencia disponibles
- c. Información sobre los centros de derivación a incluir en el prototipo
- d. Información sobre las políticas de operación

Con la información recopilada se hizo entrega de un Informe de análisis preliminar que incorporó:

- Análisis de la distribución temporal de la demanda por tipo de movimiento.
- Análisis de la capacidad del sistema.

OE3. Implementar y calibrar la interfaz y simulador mediante ciencia de datos y optimización para la Región Metropolitana.

Actividades:

Dentro de este punto, se realizaron actividades de actualización de datos de demanda y un análisis detallado de la nueva información, incluidos procedimientos de *geocoding* necesarios para la calibración de modelos del simulador y su validación posterior.

OE4. Incorporar los desarrollos (simulación, modelos y heurísticas) en una interfaz gráfica.

Actividades:

- a) Diseño e implementación de la base de datos de la interfaz: Se desarrolló una versión que soporta los datos actualizados y se conectó con la versión del prototipo funcional.
- b) Adaptación del simulador desarrollado en la interfaz: Se integraron los códigos del simulador con la interfaz.
- c) Diseño del *frontend*: Se definieron los flujos dentro de la interfaz, se tuvieron iteraciones en cada reunión de seguimiento, se diseñaron e implementaron las vistas que muestran las opciones para simular distintos escenarios y visualizar los resultados de los múltiples indicadores calculados y eventuales recomendaciones.
- d) Generación de la propuesta de la interfaz: consolidación de los desarrollos a nivel de *backend* y *frontend* en versión final de la interfaz, en donde se detallan todas las funcionalidades incluidas.
- e) Configuración de la aplicación en los equipos individuales de los usuarios: Se cuenta con el listado de usuarios finales de Achs Servicios. Se hizo entrega del empaquetado y se hizo una demo en vivo de la instalación y forma de uso de la interfaz.
- f) Definición de las configuraciones "editables": Se definen los parámetros que podrá manipular el usuario al momento de realizar experimentos en la interfaz.
- g) Pruebas y ajustes: Se realizaron pruebas recurrentes en donde se testeó el correcto funcionamiento de los desarrollos y se realizaron los ajustes pertinentes a partir del *feedback* de la contraparte.
- h) Documentación: Se generó y disponibilizó la documentación asociada al proyecto: Informes de avances e informes asociados a cumplimientos de Hitos. Además, se cuenta con una guía de instalación de la interfaz y un manual de usuario de la interfaz.

## VII.- Resultados

Los resultados obtenidos se pueden resumir en los siguientes puntos:

Interfaz y Simulador perfeccionado del funcionamiento del sistema: Se ha desarrollado una interfaz conectada a un simulador detallado de la operación del sistema de atención médica de emergencia prehospitalaria en la Región Metropolitana, lo que permite evaluar -a bajo costo- diversos escenarios y configuraciones del sistema con el objetivo de apoyar en la toma de decisiones sobre ajustes que permitan mejorar el nivel de servicio frente a la población. Estas mejoras pueden tener un impacto directo en la vida de las personas, dado que, frente a situaciones de emergencia, en especial para los casos de mayor gravedad, el tiempo que demora el personal sanitario en entregar la atención prehospitalaria tiene un impacto en la supervivencia de los pacientes (Wilde, 2013).

Es importante destacar que, si bien el simulador y la interfaz han sido desarrollados en base a las especificidades de la red de Achs Servicios para la Región Metropolitana, la metodología y desarrollos realizados podrían extenderse al servicio en otras regiones. Para esto se debe realizar el trabajo de adaptar los modelos a las particularidades de la nueva operación. Esto incluye actualizar el mapa y la red vial, calibrar patrones de demanda de servicio, entre otros ajustes necesarios. De la misma manera, por su generalidad, podría servir de modelo para otros organismos proveedores de servicios de atención médica de emergencia prehospitalaria del sistema mutual.

Depuración y validación de los indicadores de desempeño, políticas y modelos desarrollados: La validación y priorización de los indicadores de desempeño, y sus respectivos análisis, que están incorporados en la interfaz es relevante porque, además de maximizar la utilidad de la interfaz para los usuarios, permite revisar en profundidad las métricas bajo las cuales se evalúa el desempeño del sistema. Estos hallazgos podrían eventualmente ser relevantes para toda la industria.

Los KPIs y políticas de operación fueron validadas en conjunto con el equipo de Achs Servicios, observando que la operación simulada observada y los indicadores obtenidos se asemejan en términos generales y representan a la lógica actual de operación.

Debemos señalar, que sería pertinente en el futuro realizar una validación contrastando los resultados con datos reales de operación. Esto porque el simulador lo trabajamos con una "adherencia" 100% y por el efecto que pueden tener los errores de estimación asociados a los tiempos de viaje. Cabe destacar que este punto no limita la capacidad del sistema implementado para comparar distintas configuraciones de operación de manera apropiada.

Para poder realizar de manera correcta esta validación adicional, sería necesario que el sistema opere con una adherencia mayor (idealmente, cercana al 100%) y registrar las coordenadas de GPS de los vehículos sanitarios durante la operación.

Las herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que se han desarrollado durante etapas anteriores y las desarrolladas en esta etapa, permiten entender el funcionamiento y dinámica tanto de la demanda como de las operaciones de cualquier sistema de emergencia. Por ello, estas herramientas son aplicables, con los cambios necesarios, a otros sistemas.

En términos de la interfaz desarrollada, permite visualizar configuraciones del sistema de la flota así como evaluar mediante simulaciones estas configuraciones, observando los diferentes indicadores de desempeño ya definidos y permitiendo también exportar configuraciones del sistema y los resultados obtenidos de sus evaluaciones.

En lo que sigue, se muestra de manera detallada las funcionalidades de la interfaz.

### 1. Introducción.

En los siguientes puntos se dan a conocer las características de la interfaz, se describen los casos de uso (funcionalidades), junto a ilustraciones de las vistas desarrolladas, así como la explicación del flujo de utilización general de la herramienta en relación con sus casos de uso.

## 2. Características de la interfaz

### 2.1. Descripción general

La interfaz permite visualizar escenarios del sistema de la flota, así como evaluar mediante simulaciones estos escenarios, observando los diferentes indicadores de desempeño ya definidos y permitiendo también exportar escenarios del sistema y los resultados obtenidos de sus evaluaciones.

### 2.2. Usuarios

La interfaz contempla un solo tipo de usuario. Un tipo de usuario “administrador/diseñador” que cargará información en la interfaz y utilizará sus funcionalidades de análisis y visualización de la información.

La interfaz está diseñada para ser utilizada localmente en equipos PC con sistema operativo Windows 10 o Windows 11.

La interfaz está diseñada para soportar hasta un máximo de 3 usuarios concurrentes cada uno en un computador. Es decir, que 3 usuarios pueden utilizar la aplicación de forma simultánea. El motivo de esta limitación es por las políticas de uso permitido de los mapas de *OpenStreetMap*, que es un sistema cartográfico gratuito mientras se cumplan estas condiciones. Para permitir un uso de más usuarios sería necesario contratar un servicio pagado.

### 2.3. Objetivos

El objetivo principal de la interfaz es servir de herramienta para apoyar la toma de decisiones en cuanto al diseño de la flota y operación de Achs Servicios. Con este objetivo general en cuenta, se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Cargar información del sistema y generar en la forma de gráficos y tablas, resultados de indicadores de desempeño del sistema para distintos escenarios. Con estos resultados se busca entregar información relevante para apoyar la toma de decisiones.
- Generar una recomendación de localización de la flota de vehículos de emergencia definida. A partir de la carga de información de la flota disponible, se espera que la interfaz genere una recomendación de localización de los vehículos.
- Evaluar mediante simulación un escenario definido y compararlo con los resultados de la evaluación de otro escenario. Un escenario está definido por los vehículos disponibles, sus turnos de operación, las bases de despacho disponibles para localizar vehículos, los centros de derivación con sus horarios de operación, la demanda considerada y el periodo de tiempo considerado.

### 2.4. Casos de uso

#### 2.4.1. Carga de datos

Descripción: El usuario podrá cargar archivos .csv a la interfaz seleccionando el botón correspondiente al tipo de información (bases, centros de derivación, demanda o vehículos).

El formato separado por comas (.csv por sus siglas en inglés) requerido es fácilmente generable a partir de programas como Microsoft Excel y será también detallado en archivos de ejemplo.

Requisitos: que los archivos sean cargados en el formato apropiado. Se entregaron junto con la interfaz archivos .csv de ejemplo con el formato definido.

#### 2.4.2. Visualización del escenario (sin simular)

Descripción: El usuario podrá visualizar análisis de la demanda cargada en forma de gráficos y además la distribución de los vehículos, bases y centros que definen el escenario.

Requisitos: que se haya cargado previamente información que se desea visualizar (información de la demanda, bases, vehículos y centros).

#### 2.4.3 Generación de un escenario

Descripción: El usuario podrá modificar un escenario existente o definir un escenario del sistema ya sea de forma manual (cargando archivos .csv con la nueva información ya definida) o mediante la interfaz<sup>1</sup>.

Requisitos: que los archivos sean cargados en el formato apropiado.

---

<sup>1</sup> Habilitando o deshabilitando recursos. Para otras modificaciones más detalladas (como cambiar nombres de direcciones o agregar recursos, será necesario agregarlos a través de los archivos .csv).

#### 2.4.4 Optimización de la localización.

Descripción: A través de la interfaz será posible definir una nueva localización de los recursos móviles definidos para el escenario y para una cantidad de bases máxima considerada. Al optimizar la localización, se generará un nuevo escenario a partir del escenario previamente definido.

Requisitos: que un escenario "inicial" válido haya sido previamente definido. Es decir, que el escenario "inicial" tenga definida información de demanda, bases, centros y vehículos para localizar.

#### 2.4.5 Simulación de un escenario

Descripción: El usuario podrá tomar un escenario ya definido y mediante simulación, evaluar a través de la interfaz los diferentes indicadores de desempeño del sistema para ese escenario definido<sup>2</sup>.

Requisitos: que se encuentre un escenario válido (con información) ya definido. Un escenario sin vehículos asignados no sería válido por ejemplo.

#### 2.4.6 Comparación entre la evaluación de dos escenarios.

Descripción: El usuario podrá visualizar comparaciones de los indicadores evaluados para dos escenarios definidos.

Requisitos: que los dos escenarios hayan sido previamente simulados (evaluados) en la interfaz.

#### 2.4.7 Exportación e Importación de escenarios.

Descripción: El usuario podrá exportar e importar escenarios definidos.

Requisitos: Haber definido un escenario para exportar en el caso de la exportación y seleccionar un archivo con un escenario existente en el caso de la importación.

#### 2.4.8 Exportación de resultados.

Descripción: El usuario podrá exportar los resultados de los indicadores calculados tanto para el análisis de un escenario como para la comparación de escenarios. Se exportarán los resultados en el formato de tablas e imágenes (en formato .csv y/o .png según corresponda). En el archivo de ayuda (Guía de utilización interfaz), se brinda información valiosa para facilitar la interpretación tanto de tablas como de gráficos generados por la interfaz en sus diversas funciones.

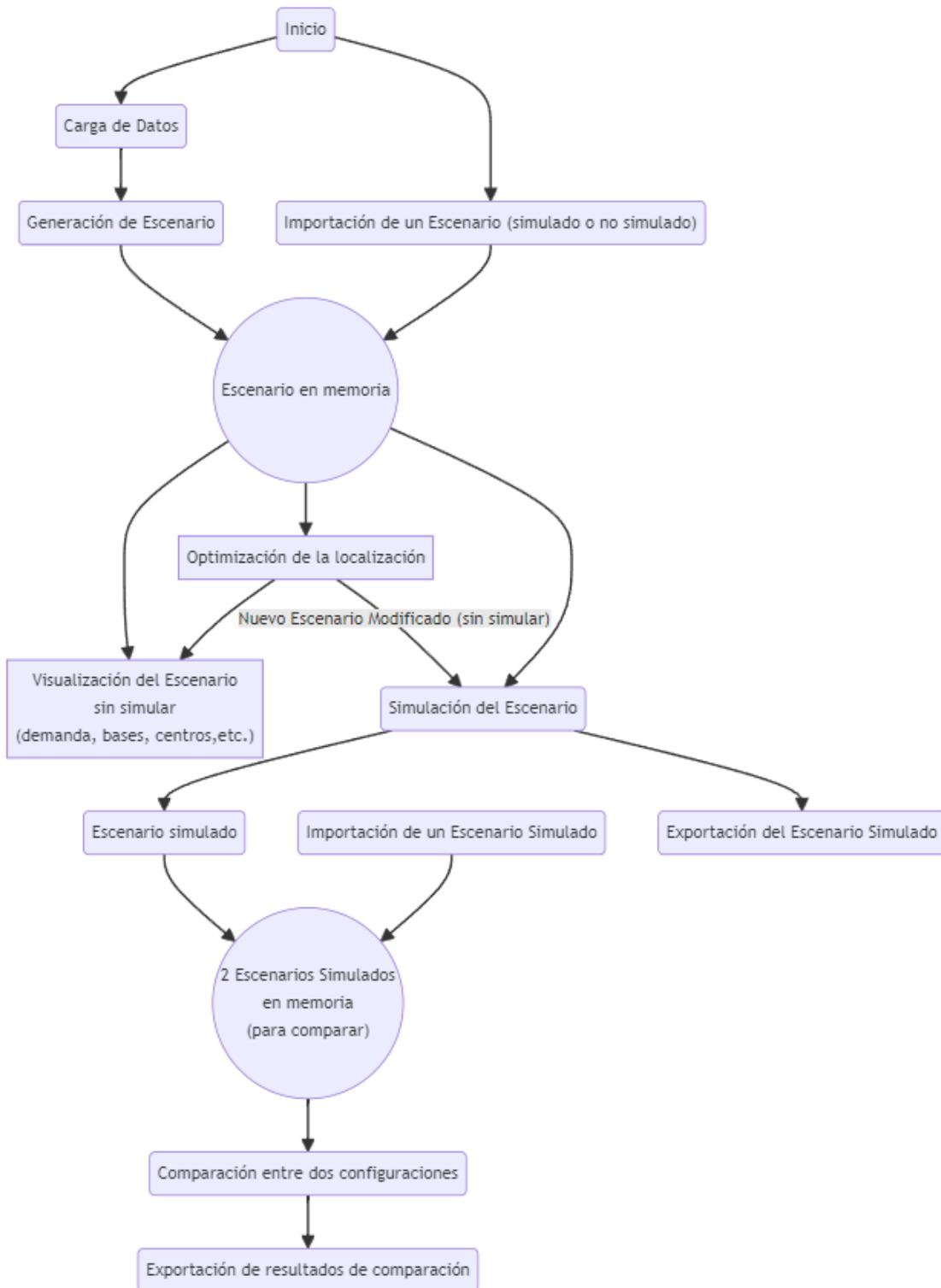
Requisitos: los resultados a exportar ya deben haber sido calculados.

---

<sup>2</sup> Los resultados simulados de los indicadores pueden diferir de los valores observados en el sistema real en algunos casos. Esto debido a que en el simulador se considera el funcionamiento con la "adherencia" a la política de despacho ideal de un 100%. Es decir se simula que siempre se envía el vehículo disponible más cercano a los eventos de emergencia.

## 2.5 Flujo del usuario

A continuación, se muestra un diagrama del flujo general del usuario en relación con los casos de uso de la interfaz.



## 2.6 KPIs

### 2.6.1 Indicadores de tiempos de respuesta

1. Tiempo de respuesta promedio: corresponde al promedio de los tiempos de respuesta. Es calculado para cada categorización (Verde, Amarillo, Rojo).
2. Histograma de los tiempos de respuesta: corresponde al gráfico del histograma de los tiempos de respuesta. Es calculado para cada categorización (Verde, Amarillo, Rojo).
3. Percentil noventa (p90): corresponde al percentil noventa de la distribución observada de los tiempos de respuesta. Es calculado para cada categorización.
4. Cobertura (cU): corresponde a la proporción de eventos que fue atendido con un tiempo de

respuesta bajo un umbral de tiempo U definido en minutos. Es calculado para cada categorización y para cada horario del día.

5. Cumplimiento: corresponde a la cobertura (cU) para un valor de U igual al nivel de servicio (SLA) definido. Es calculado para cada categorización. Por defecto se consideran, para el cumplimiento, los eventos que tienen un tiempo de respuesta bajo el umbral de los 30 minutos (c30).

#### 2.6.2 Otros indicadores

1. Utilización: corresponde a la proporción del tiempo en que la flota se encuentra ocupada versus su tiempo total de servicio. Es calculado para cada vehículo. Se calculan para el intervalo completo de tiempo simulado. Es decir que, si la duración realizada fue de un año de duración, se muestran las atenciones por vehículo y por categorización para todo el año.

2. Atenciones: atenciones realizadas por cada vehículo. Se muestran para cada categorización para el intervalo completo de tiempo simulado. Es decir que, si la duración realizada fue de un año de duración, se muestran las atenciones por vehículo y por categorización para todo el año.

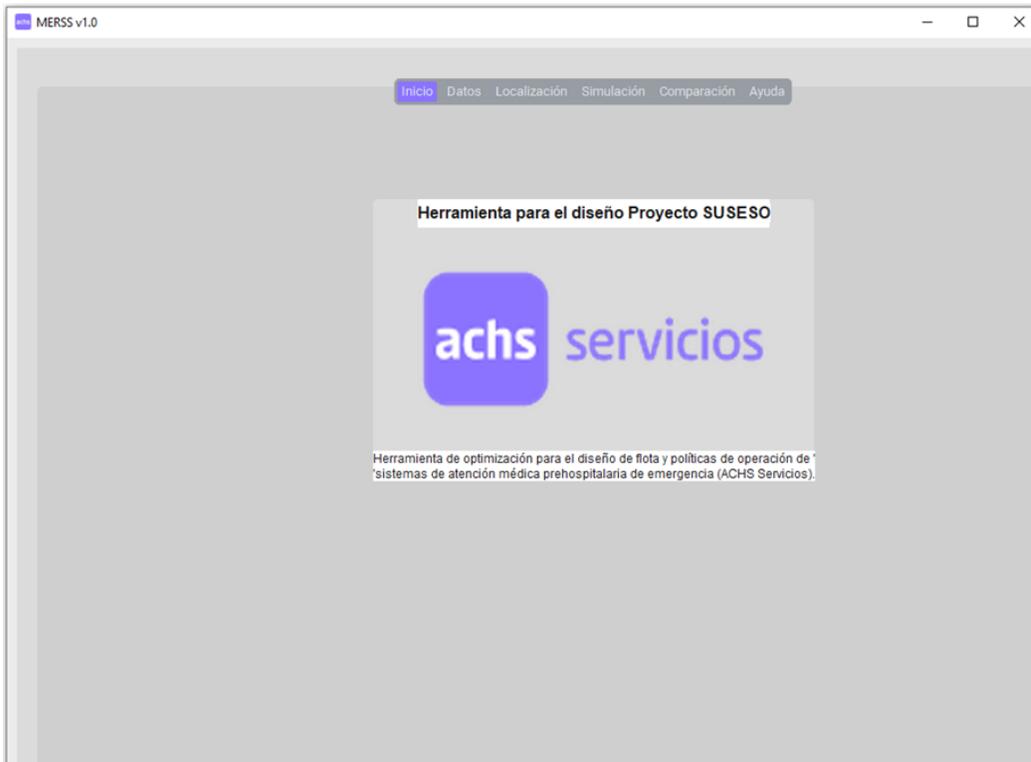
3. Distancia diaria promedio recorrida: corresponde a la distancia diaria promedio que recorre cada vehículo producto de sus atenciones. Se considera la distancia total recorrida en la simulación y se divide por la cantidad de días simulados para cada vehículo.

4. Histograma de los tiempos de espera para la asignación: forma parte de los tiempos de respuesta, pero se muestran también de forma separada considerando su relevancia en la calidad del servicio entregado.

5. Tiempo de espera para la asignación promedio: corresponde al promedio observado para el tiempo de espera para la asignación. Se calcula para cada categorización.

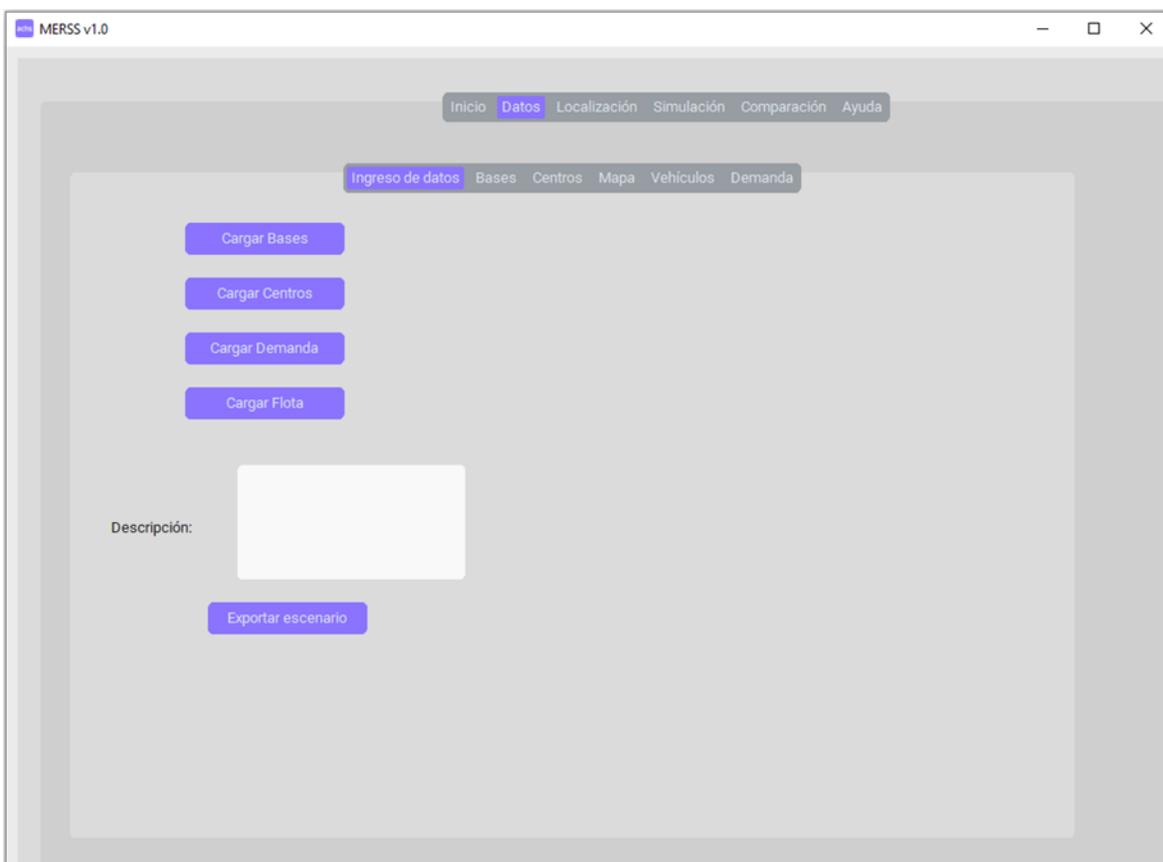
## 2.7 Vistas de la interfaz

### 2.7.1. Vista “Inicio”

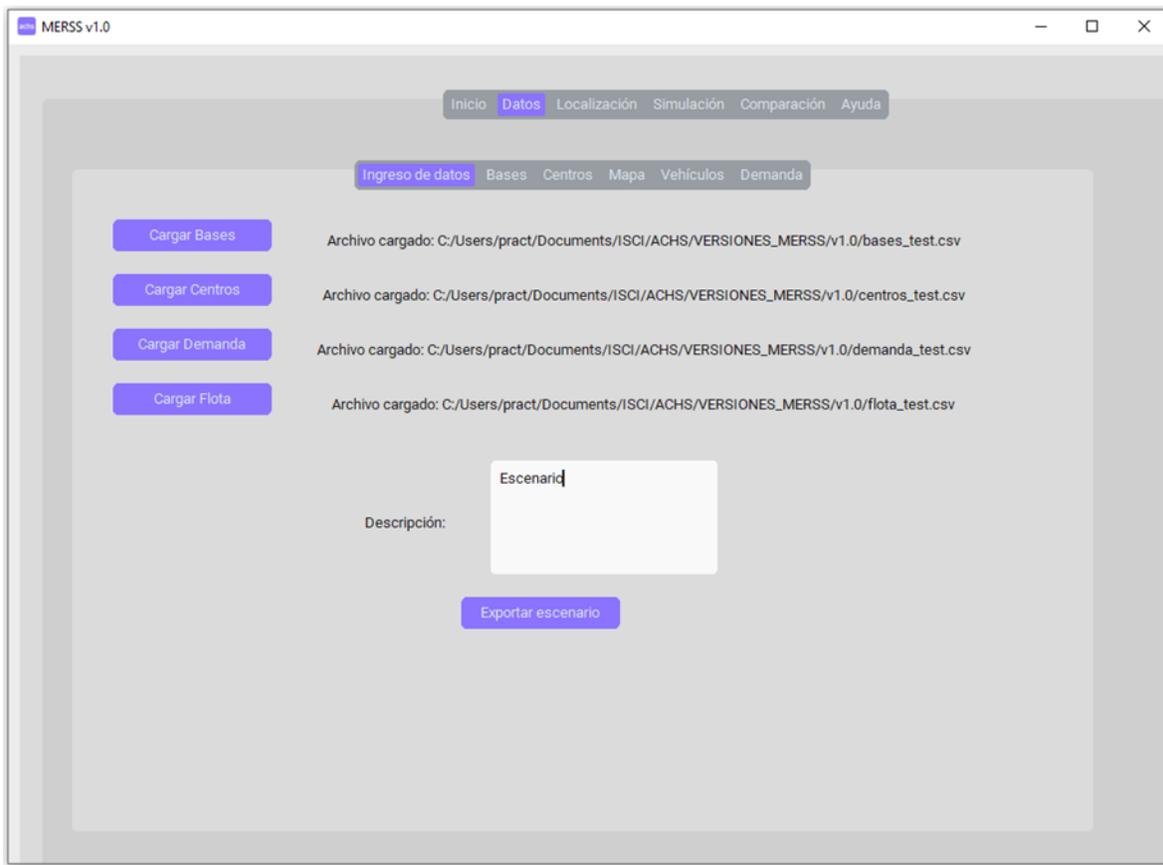


Descripción: En esta vista se presenta una portada de la interfaz indicando información general.

### 2.7.2. Vistas “Datos->Ingreso de datos”



Descripción: Esta vista permite cargar datos de las bases, centros, demanda y flota del escenario que se quiera generar.



Descripción: Una vez cargada la información de las bases, centros, demanda y flota del escenario que se quiera generar, se puede exportar el escenario sin simular a partir de esta vista.

### 2.7.3. Vista “Datos->Bases”

ID	Latitud	Longitud	Nombre	Dirección
0	-33.3383241	-70.709891	Quilicura	Calle dos #9346, Quilicura
1	-33.3766829	-70.7510896	Vespucio Oeste	Cordillera #162, Quilicura
2	-33.4007347	-70.6818698	Parque Las Américas	Av. Monterrey #2975, Conchalí
3	-33.4035279	-70.5790071	Las Condes	Cerro Colorado #5413, Las Condes
4	-33.3909623	-70.7963	Aeropuerto	Diego Barros Ortiz #2051, Pudahuel
5	-33.4475233	-70.6300835	HT	Bustamante #532, Providencia
6	-33.5041278	-70.7571973	Maipú	Av. Pajaritos #2521, Maipú
7	-33.5864128	-70.7030047	San Bernardo	Eyzaguirre #61, San Bernardo
8	-33.5180276	-70.60443	La Florida	Av. Vicuña Mackenna Poniente #6903, La Florida
9	-33.7308681	-70.74609079999999	Buín	Carlos Condell #755, Buín
10	-33.6049711	-70.57897590000002	Puente Alto	Teniente Bello #135, Puente Alto
11	-33.4667625	-70.5750683	Egaña	Av. Americo Vesputio #1476, Peñalolén

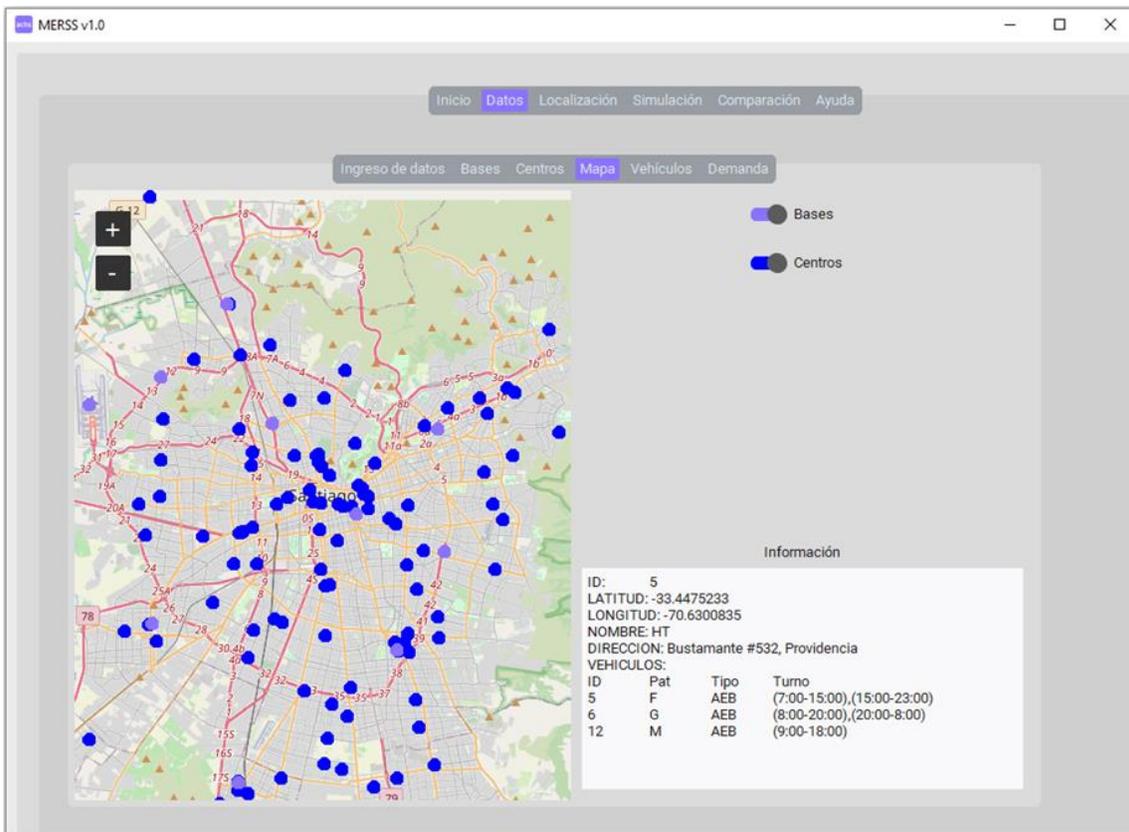
Descripción: En esta vista se puede visualizar una tabla con las bases de despacho cargadas y su información asociada.

### 2.7.4. Vista “Datos->Centros”

ID	Latitud	Longitud	Nombre	Clasificación	Niveles resolución
44	-34.2905065	-71.3070309	CESFAM LAS CABRAS	OTRAS	NO APLICA
110	-34.1789943	-71.4009186	POSTA EL MANZANO	OTRAS	AMARILLO,VERDE
71	-33.7341504	-70.7395092	HOSPITAL BUIÑ	OTRAS	ROJO,AMARILLO,VERDE
30	-33.7309113	-70.7460189	ACHS BUIÑ	ACHS	AMARILLO,VERDE
18	-33.6952509	-71.2152322	HOSPITAL SAN JOSE DE MELIPILLA	OTRAS	ROJO,AMARILLO,VERDE
41	-33.6870412	-71.2153891	CENTRO MEDICO CASONI	OTRAS	NO APLICA
104	-33.6863579	-71.2106113	MUTUAL MELIPILLA	OTRAS	AMARILLO,VERDE
158	-33.684769	-71.216598	ACHS MELIPILLA	ACHS	AMARILLO,VERDE
66	-33.68167	-71.22597	CONSULTORIO MELIPILLA	OTRAS	NO APLICA
79	-33.6678189	-70.9206649	HOSPITAL DE TALAGANTE	OTRAS	ROJO,AMARILLO,VERDE
6	-33.6671317	-70.9285577	CLINICA MAITENES	OTRAS	ROJO,AMARILLO,VERDE
154	-33.6625479	-70.9166957	SAR DE TALAGANTE	OTRAS	ROJO,AMARILLO,VERDE
76	-33.610207	-70.9036856	HOSPITAL DE PENAFLO	OTRAS	ROJO,AMARILLO,VERDE
146	-33.6088068	-70.8962764	SAPU PENAFLO	OTRAS	AMARILLO,VERDE
116	-33.6071593	-70.5794026	SAPU ALEJANDRO DEL RIO	OTRAS	AMARILLO,VERDE
162	-33.6049711	-70.5789759	ACHS PUENTE ALTO	ACHS	AMARILLO,VERDE
26	-33.59728	-70.71496	SAPU RAUL CUEVAS	OTRAS	AMARILLO,VERDE
17	-33.5923641	-70.6971351	HOSPITAL PARROQUIAL	OTRAS	ROJO,AMARILLO,VERDE
106	-33.5908161	-70.7031178	MUTUAL SAN BERNARDO	OTRAS	AMARILLO,VERDE
128	-33.5889644	-70.6189576	SAPU IIIA NITA	OTRAS	AMARILLO,VERDE

Descripción: En esta vista se puede visualizar una tabla con los centros de derivación cargados y su información asociada.

### 2.7.5. Vista “Datos->Mapa”



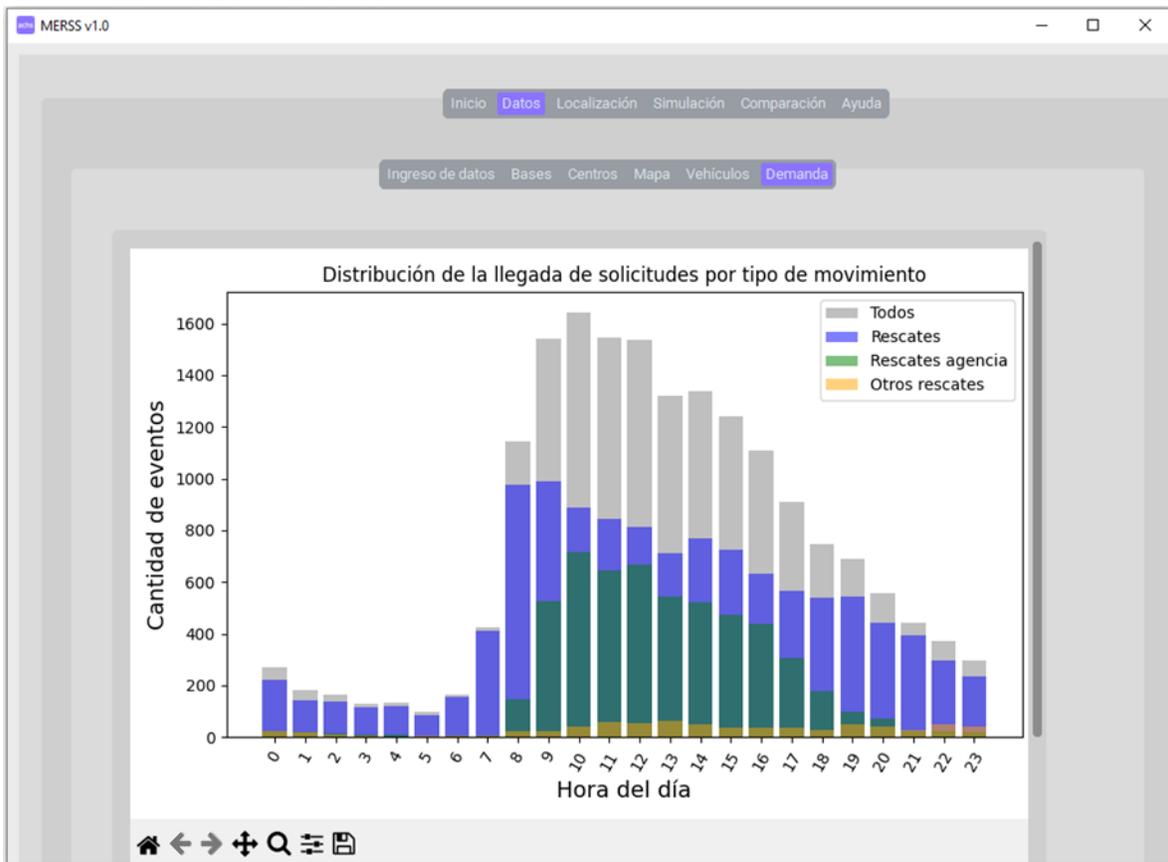
Descripción: en esta vista se puede visualizar en el mapa la información del escenario que se está definiendo. Esta vista también permite interacción con el mapa de manera de facilitar la visualización de la información. Al situarse/pinchar sobre un centro o base se brinda información detallada del mismo.

### 2.7.6. Vista “Datos->Vehículos”

ID Vehículo	ID Base	Tipo	Turnos_L-V	Turnos_Sábado	Turnos_Domingo
1	A	0	AEB (8:00-20:00)	(8:00-20:00)	(8:00-20:00)
2	B	1	AEB (9:00-18:00)		
3	C	2	AEB (8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)
4	D	3	AEB (9:00-18:00)		
5	E	4	AEB (8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)
6	F	5	AEB (7:00-15:00),(15:00-23:00)	(8:00-18:00)	
7	G	5	AEB (8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)
8	H	6	AEB (8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)
9	I	7	AEB (8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)	(8:00-20:00),(20:00-8:00)
10	J	8	AEB (8:00-20:00)	(8:00-20:00)	(8:00-20:00)
11	K	9	AEB (8:00-14:00),(14:00-22:00)	(8:00-18:00)	
12	L	10	AEB (9:00-18:00)		
13	M	5	AEB (9:00-18:00)		
14	P	6	TEPEE (9:00-18:00)		

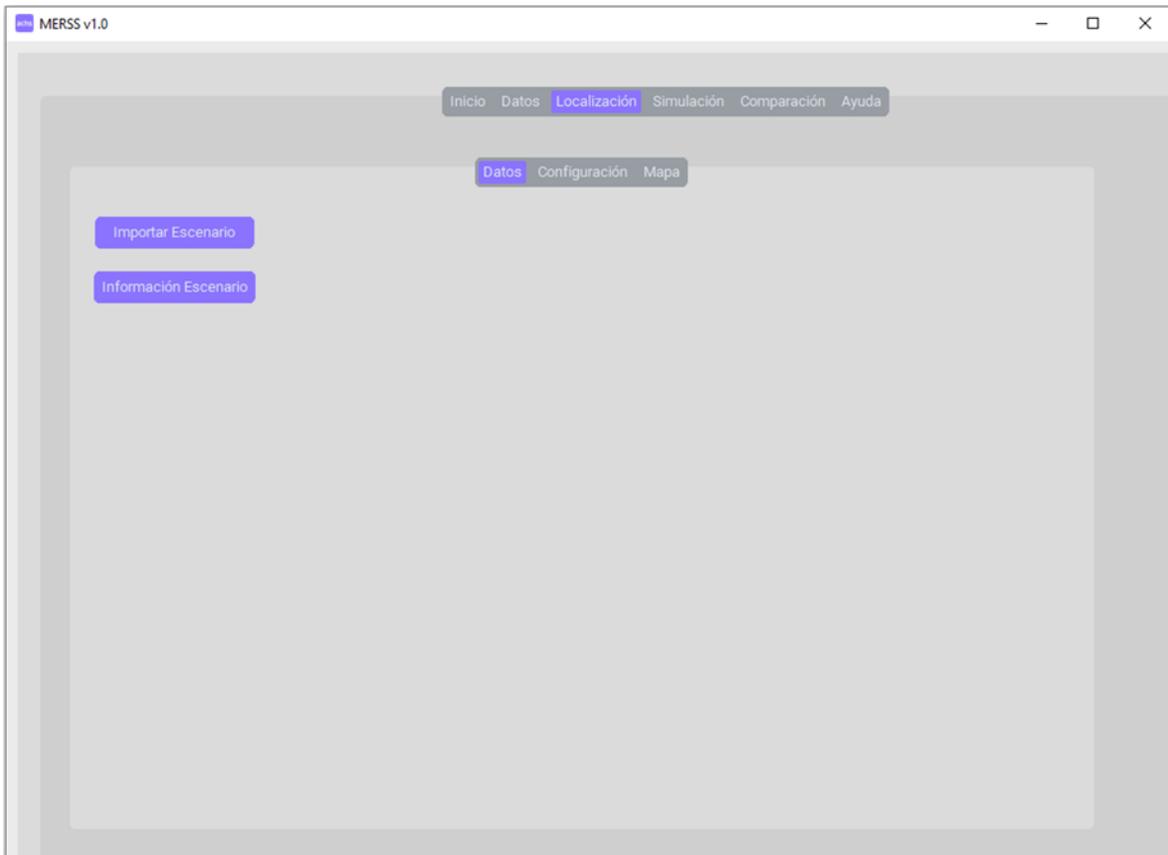
Descripción: En esta vista se puede visualizar una tabla con los vehículos cargados y su información asociada.

### 2.7.7. Vista “Datos->Demanda”



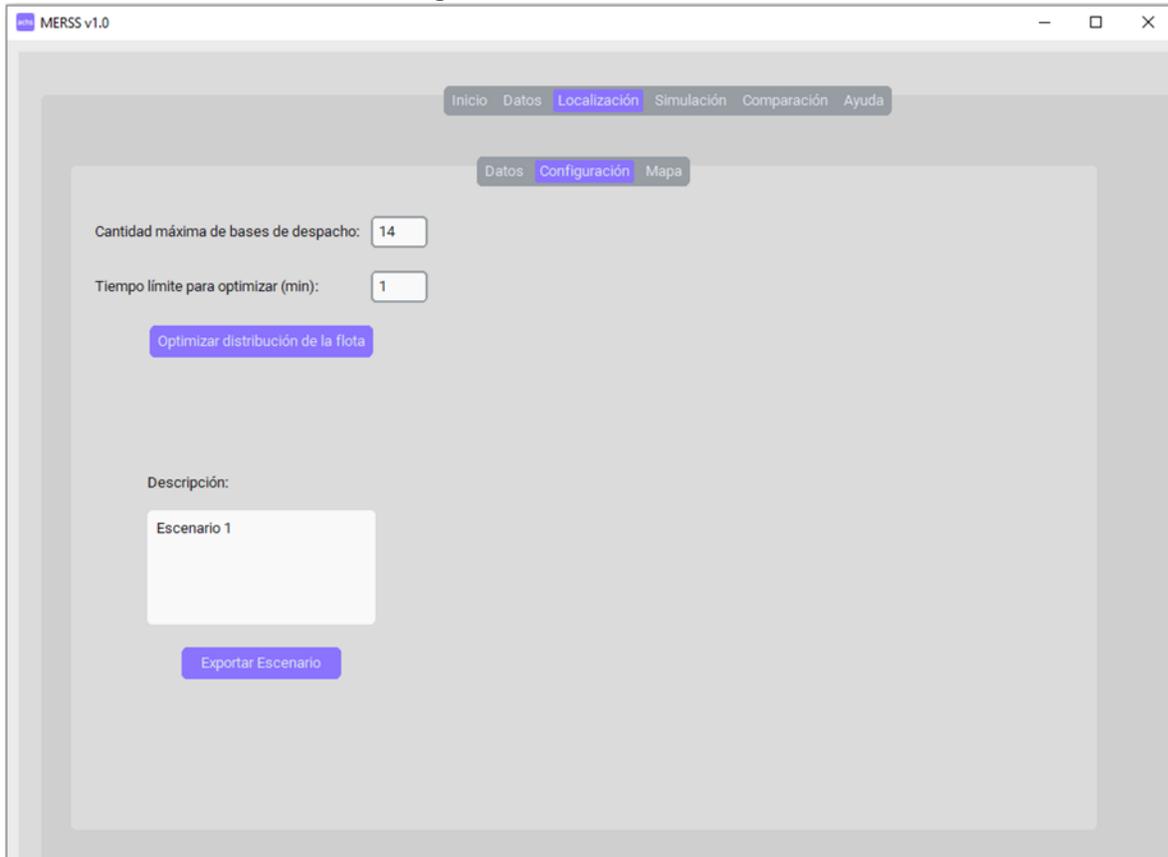
Descripción: En esta vista se puede visualizar la distribución de la demanda por tipo de movimiento a lo largo del día.

### 2.7.8. Vista “Localización -> Datos”

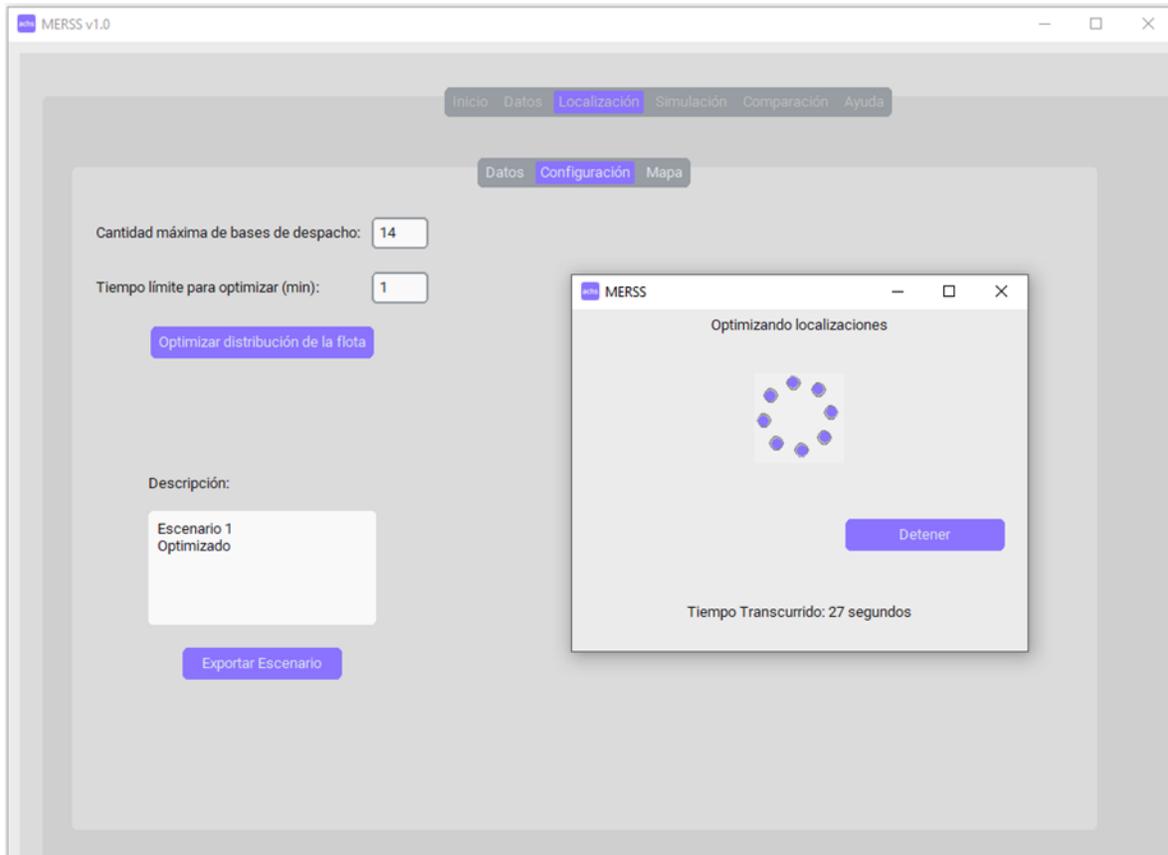


Descripción: En esta vista es posible importar un escenario y ver la información resumen de dicho escenario importado.

## 2.7.8. Vista “Localización -> Configuración”

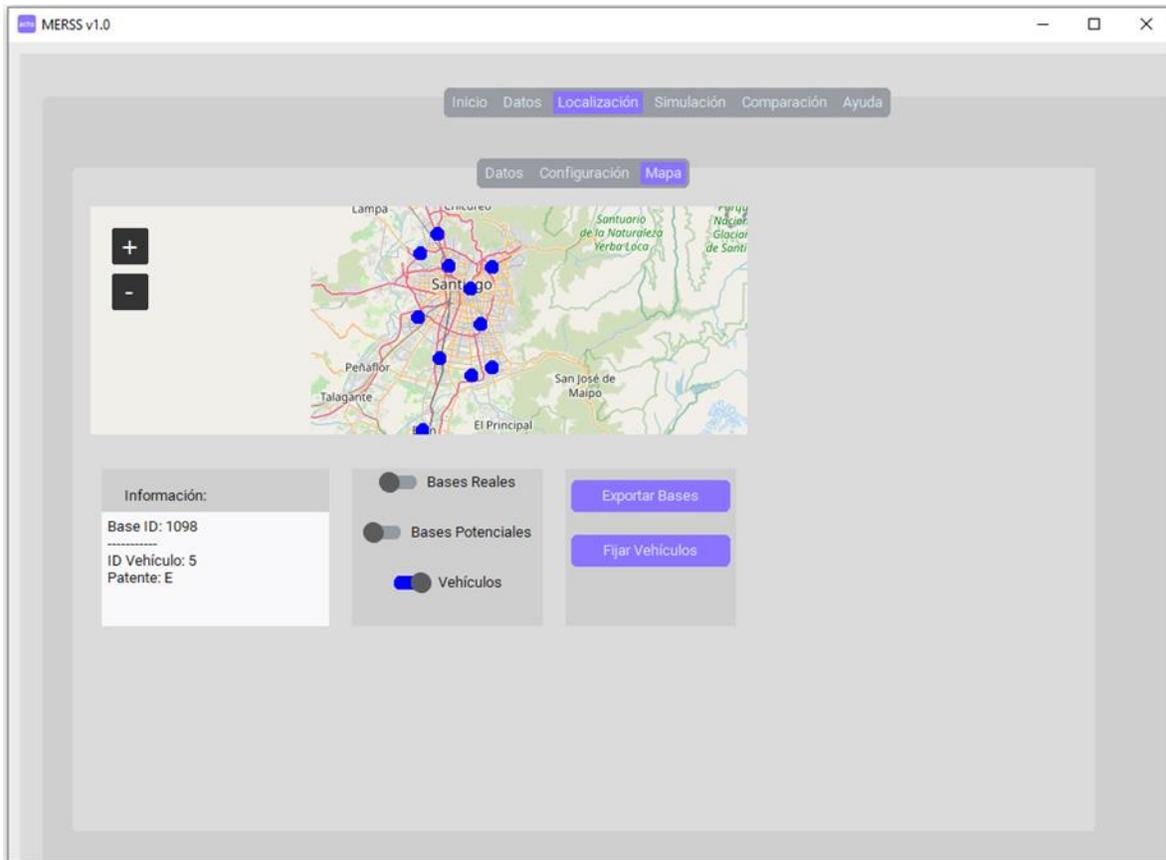


Descripción: En esta vista es posible optimizar la localización de los vehículos disponibles mediante el botón “Optimizar distribución de la flota”. Esto genera un nuevo escenario (con una localización de la flota diferente) que puede además ser exportado.

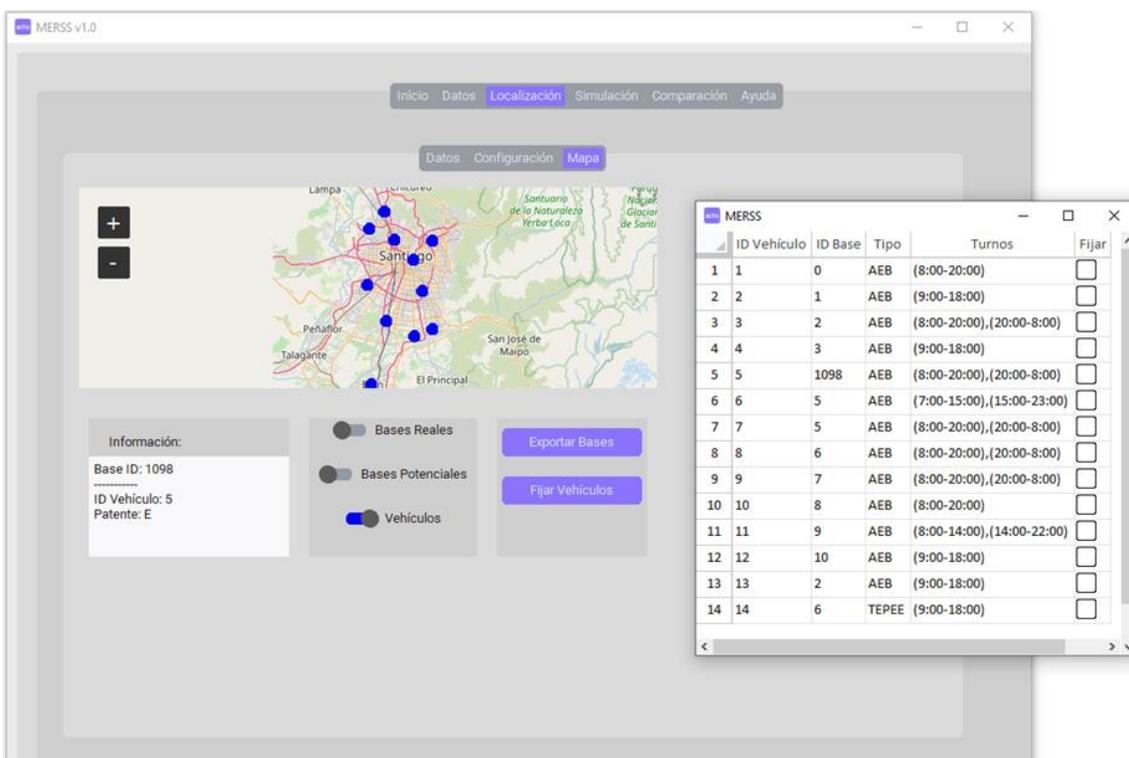


Descripción: En esta vista se aprecia que mientras se encuentra corriendo el proceso de la optimización el usuario tiene un mensaje que le indica el tiempo que lleva el proceso y puede interrumpirlo al presionar el botón “Detener”.

## 2.7.8. Vista “Localización -> Mapa”

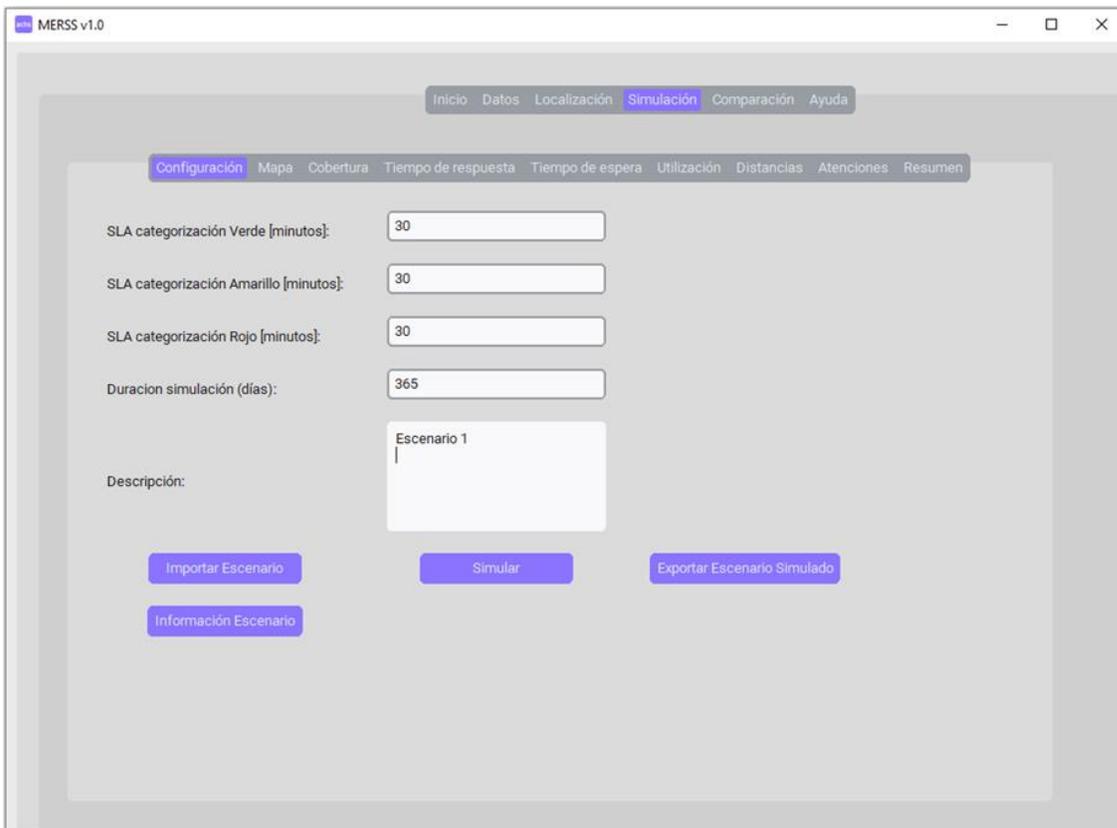


Descripción: En esta vista es posible ver un resumen de los vehículos disponibles definidos en el escenario por tipo de vehículo y turno, además de las bases reales y las bases potenciales. El botón “exportar bases” permite guardar en un archivo delimitado por comas (.csv) las bases que no han sido utilizadas (es decir las bases potenciales más las reales que no se les ha asignado vehículo(s))



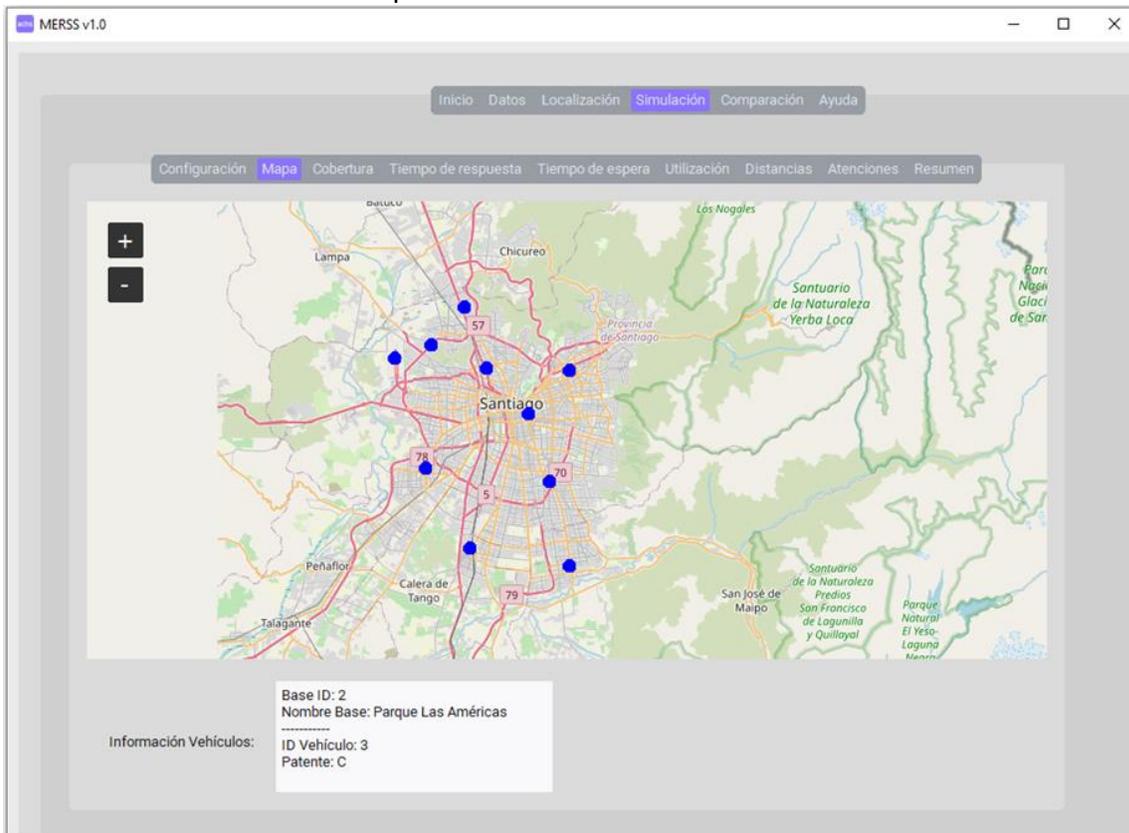
Descripción: En esta vista además se pueden “Fijar Vehículos” en su base preasignada y al volver a la pestaña de “Configuración” se puede optimizar con esta restricción que no permite mover el o los vehículos ya fijados.

### 2.7.9. Vista “Simulación->Configuración”



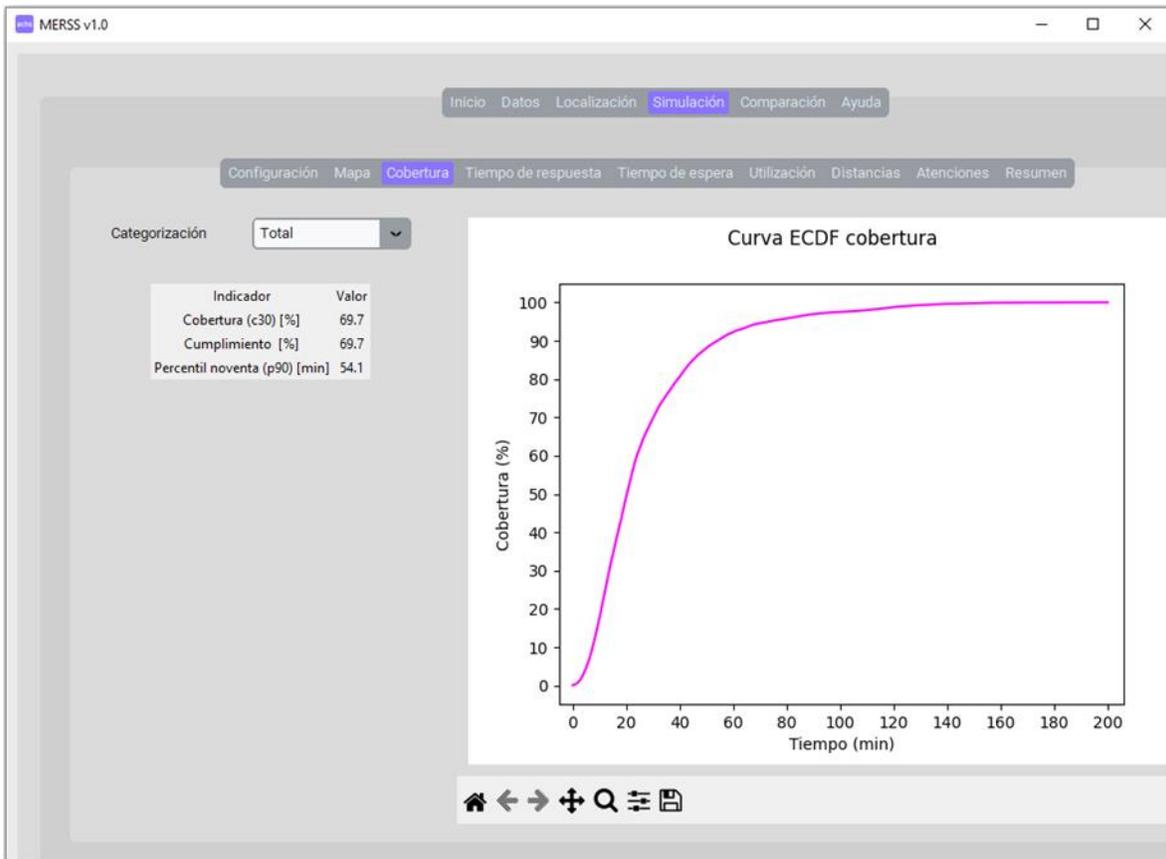
Descripción: En esta vista se tienen opciones de configuración asociadas a la simulación del escenario (los SLA considerados y el tiempo que se desea simular). Se permite importar un escenario y ver su información, para luego simular en base a las opciones de configuración y por último se puede exportar.

### 2.7.10. Vista “Simulación->Mapa”

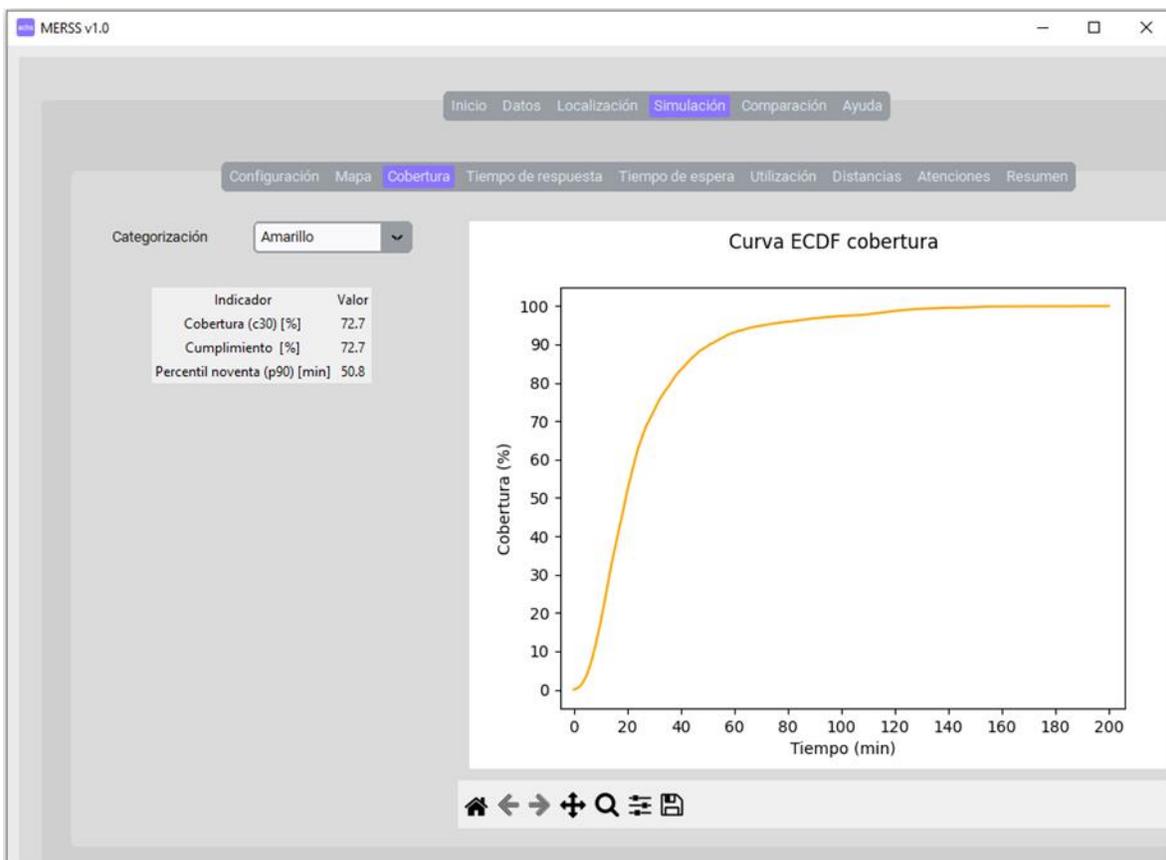


Descripción: En esta vista se pueden visualizar las localizaciones de las bases con su información y vehículos asignados.

### 2.7.11. Vista "Simulación->Cobertura"

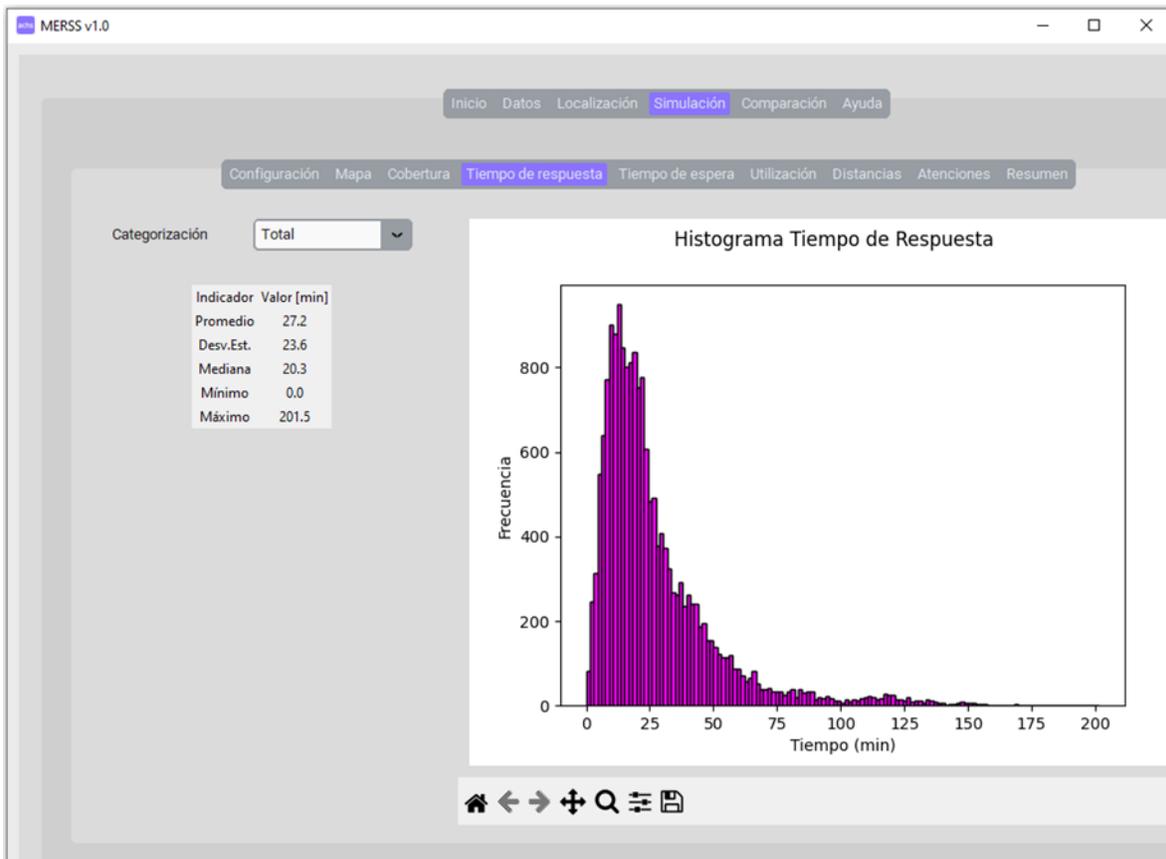


Descripción: En esta vista se muestra la cobertura simulada para cada categorización y en Total. En este caso se muestra con el seleccionador en Total.

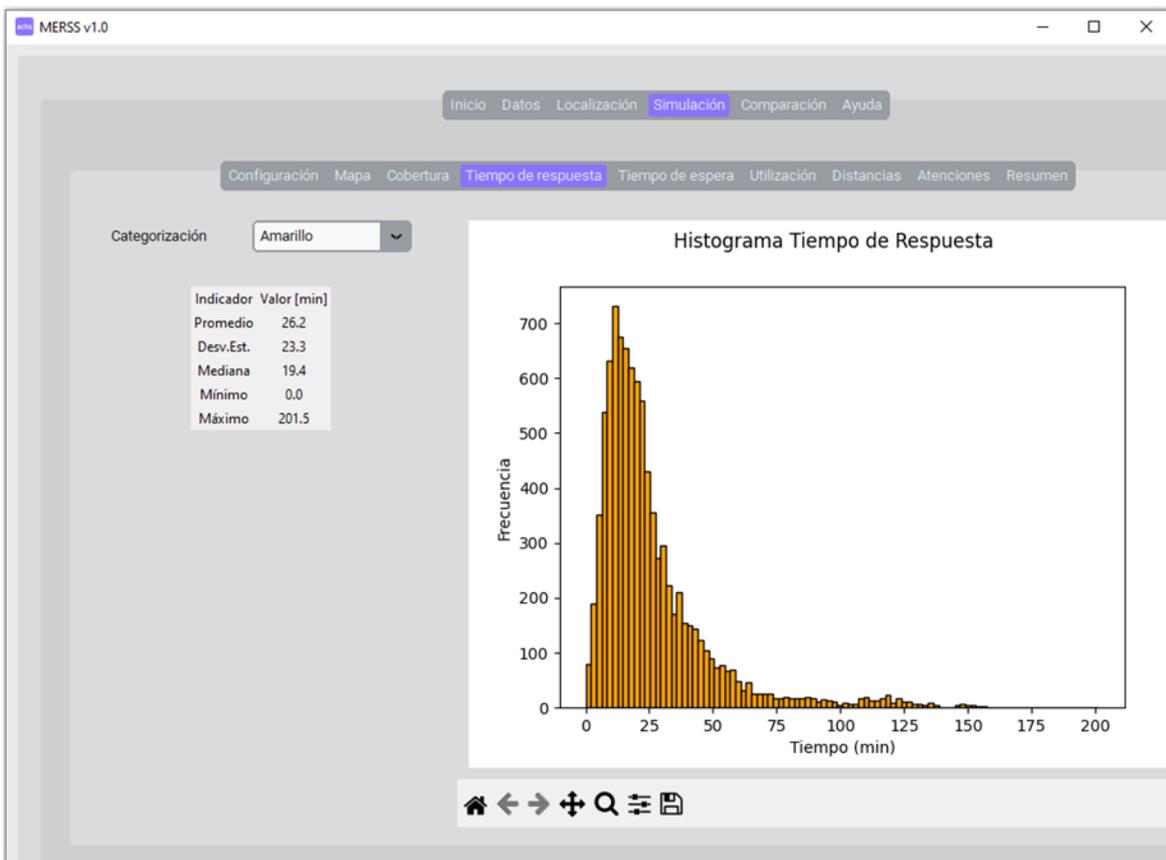


Descripción: Se muestra la cobertura simulada para categorización Amarillo.

## 2.7.12. Vista “Simulación->Tiempo de respuesta”

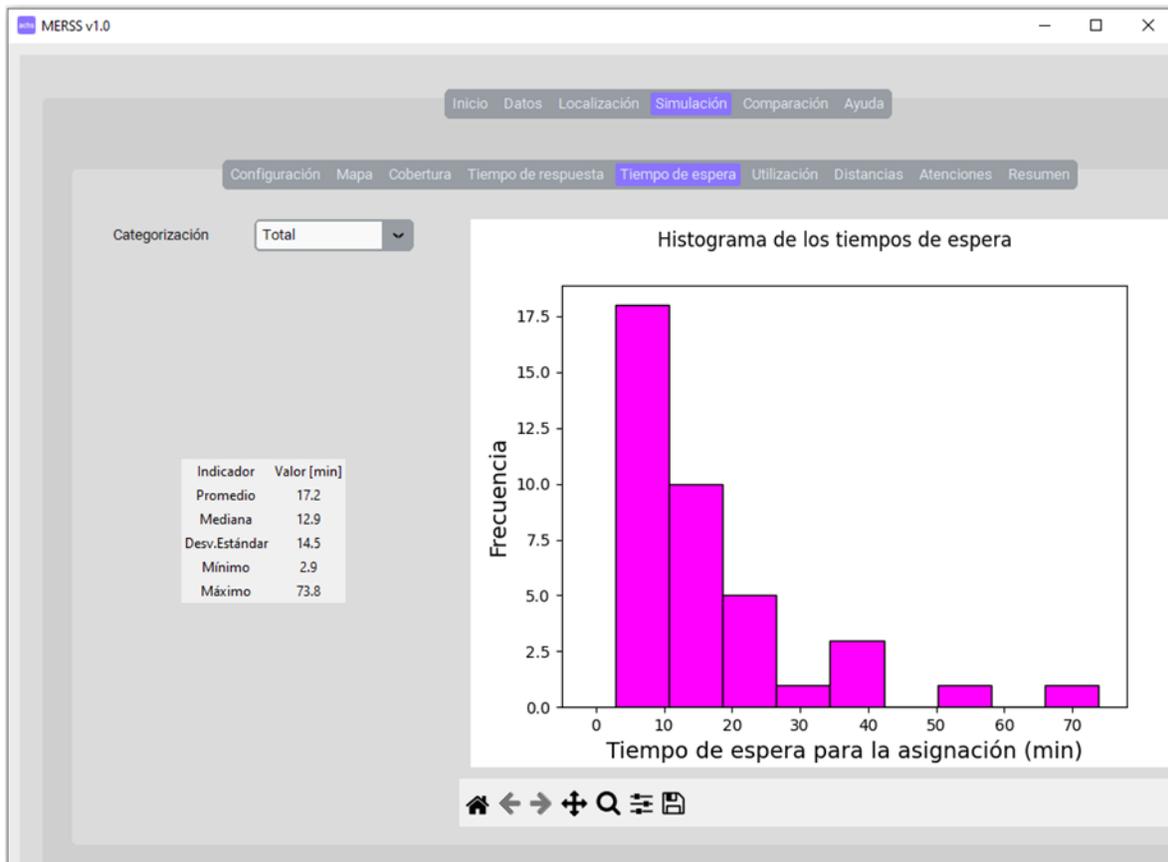


Descripción: En esta vista se muestra el histograma de tiempos de respuesta simulados para cada categorización y en Total. En este caso se muestra con el seleccionador en Total.



Descripción: En esta vista se muestra el histograma de tiempos de respuesta simulados para la categorización Amarillo.

### 2.7.13. Vista “Simulación->Tiempo de espera”



Descripción: En esta vista se muestra el histograma de tiempos de espera para la asignación, simulado para cada categorización y en Total. En este caso se muestra con el seleccionador en Total.

### 2.7.14. Vista “Simulación->Utilización”



Descripción: En esta vista se muestra la utilización de los vehículos considerando el horizonte de tiempo simulado.

### 2.7.15. Vista “Simulación->Distancias”



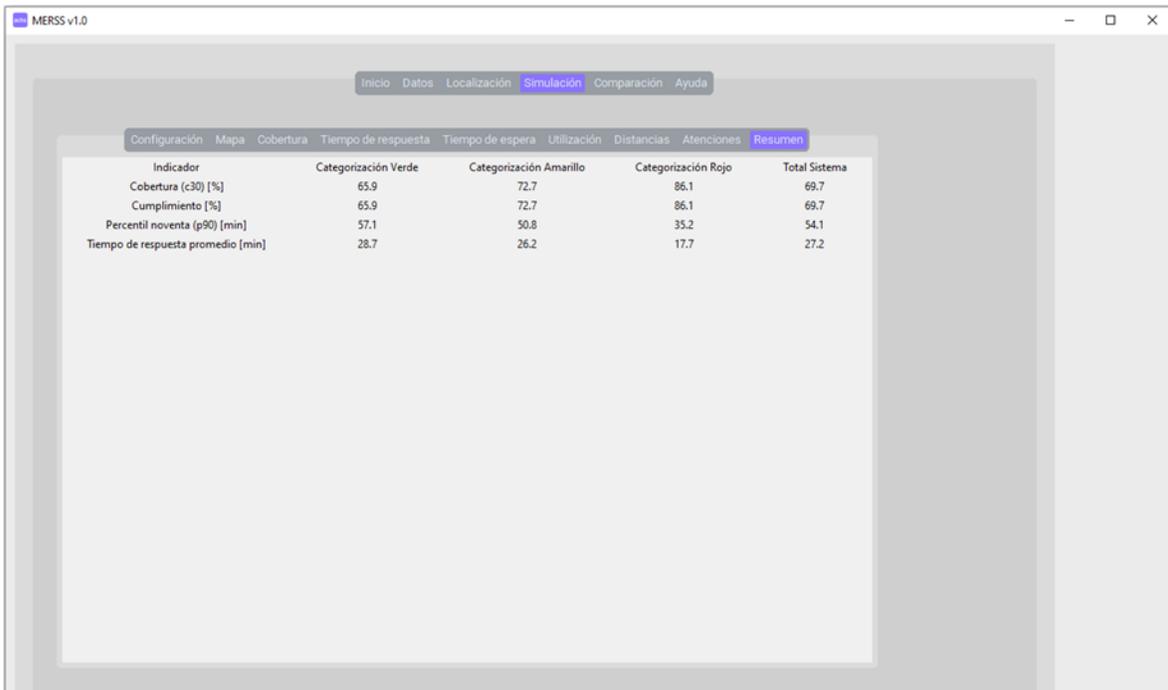
Descripción: En esta vista se muestran las distancias diarias promedio recorridas por cada vehículo considerando el horizonte de tiempo simulado.

### 2.7.16. Vista “Simulación->Atenciones”



Descripción: En esta vista se muestran las atenciones totales por vehículo y por categorización considerando el horizonte de tiempo simulado.

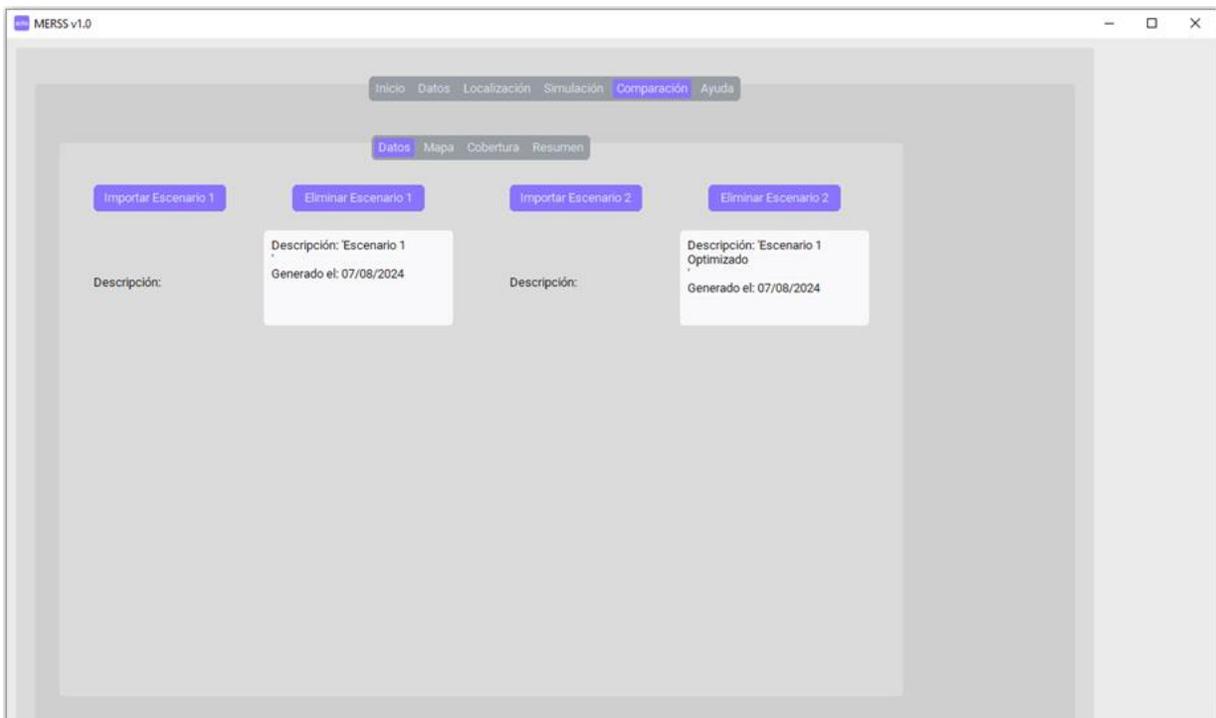
### 2.7.17. Vista “Simulación->Resumen”



Indicador	Categorización Verde	Categorización Amarillo	Categorización Rojo	Total Sistema
Cobertura (c30) [%]	65.9	72.7	86.1	69.7
Cumplimiento [%]	65.9	72.7	86.1	69.7
Percentil noventa (p90) [min]	57.1	50.8	35.2	54.1
Tiempo de respuesta promedio [min]	28.7	26.2	17.7	27.2

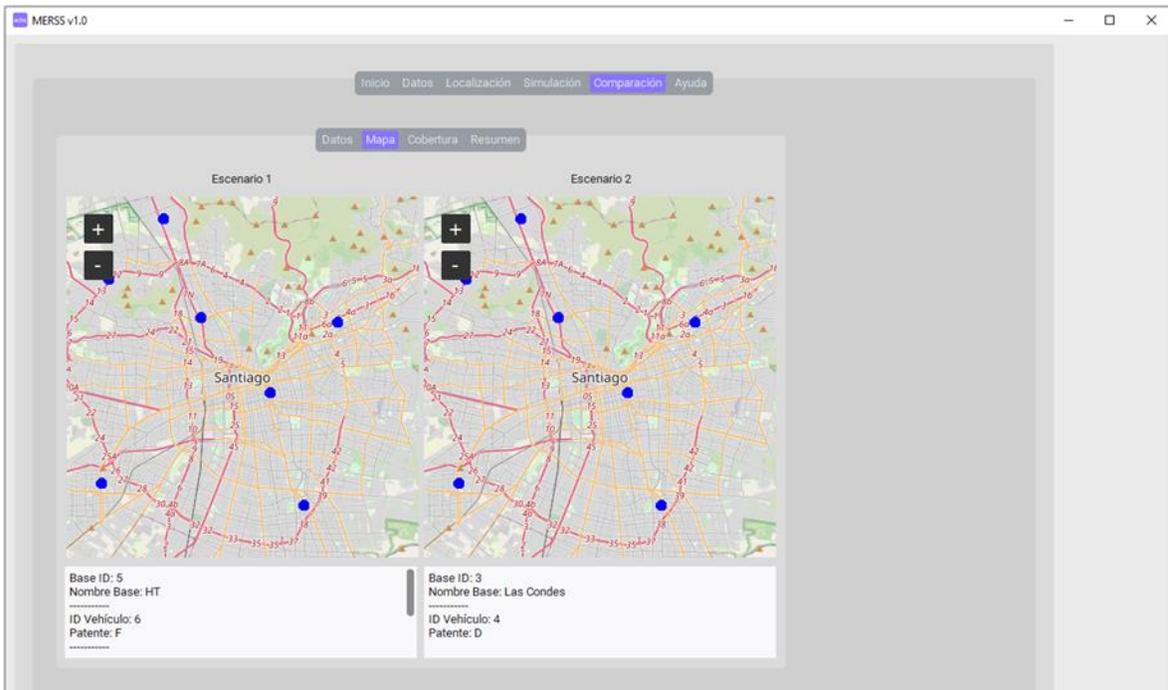
Descripción: En esta vista se presenta una tabla resumen de los indicadores de desempeño para cada categorización para el escenario simulado.

### 2.7.18. Vista “Comparación->Datos”



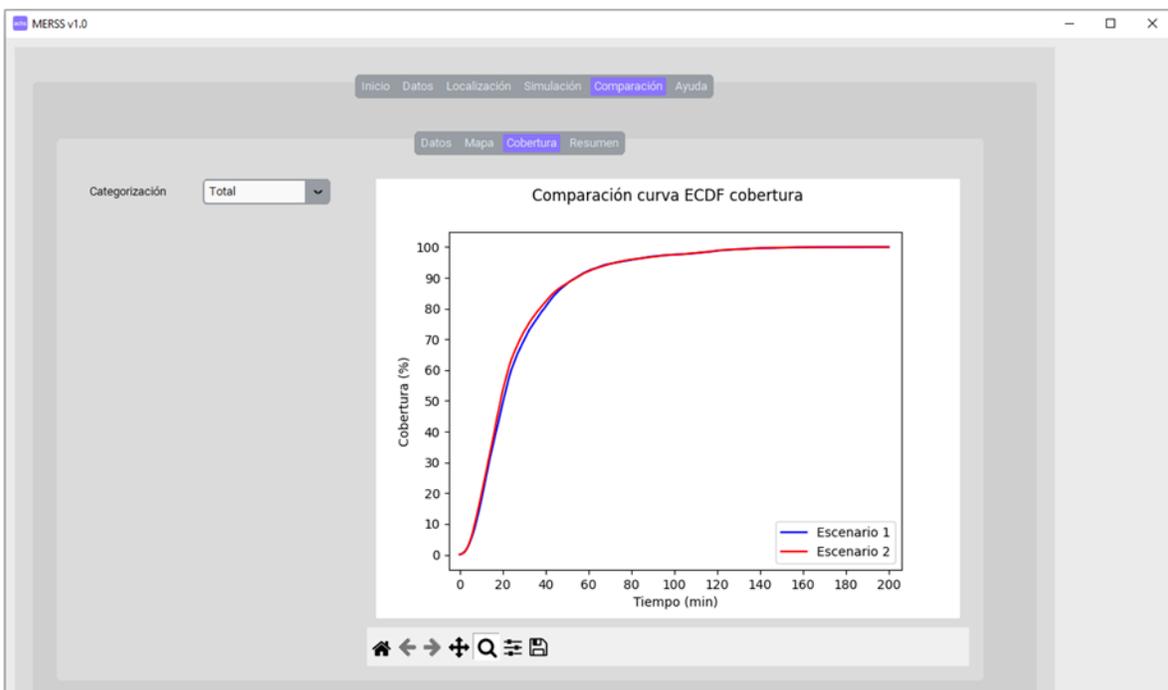
Descripción: En esta vista se pueden importar los escenarios que se desea comparar y se muestra la información descriptiva de dichos escenarios. Además, se pueden eliminar escenarios cargados, en caso que no sean los que se desean importar y se pueden volver a cargar otros escenarios para comparar.

## 2.7.19 Vista “Comparación->Mapa”



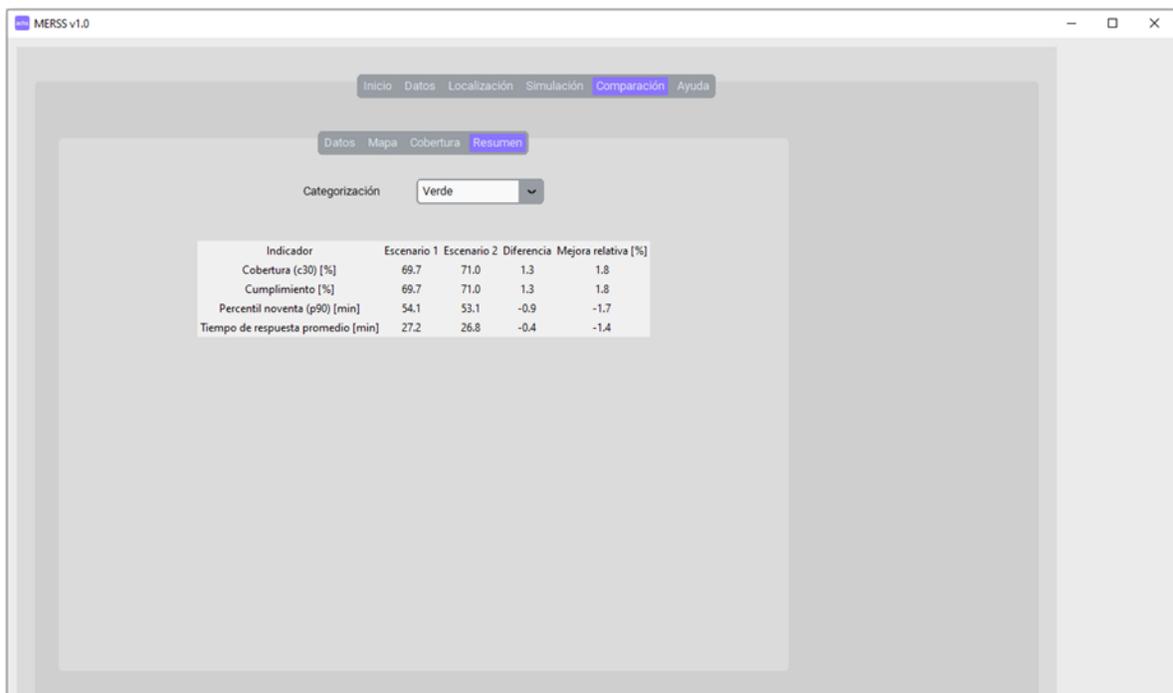
Descripción: En esta vista se pueden visualizar las localizaciones de los dos escenarios importados al mismo tiempo. El objetivo de esto es facilitar la comparación de los escenarios definidos. Los mapas se encuentran sincronizados, es decir al hacer *zoom-in* o *zoom-out* en alguno de ellos de inmediato se cambia a la misma escala del que se hizo el zoom.

## 2.7.20. Vista “Comparación->Cobertura”



Descripción: en esta vista se muestra la cobertura para cada categorización para los dos escenarios importados, para cada categorización y en Total.

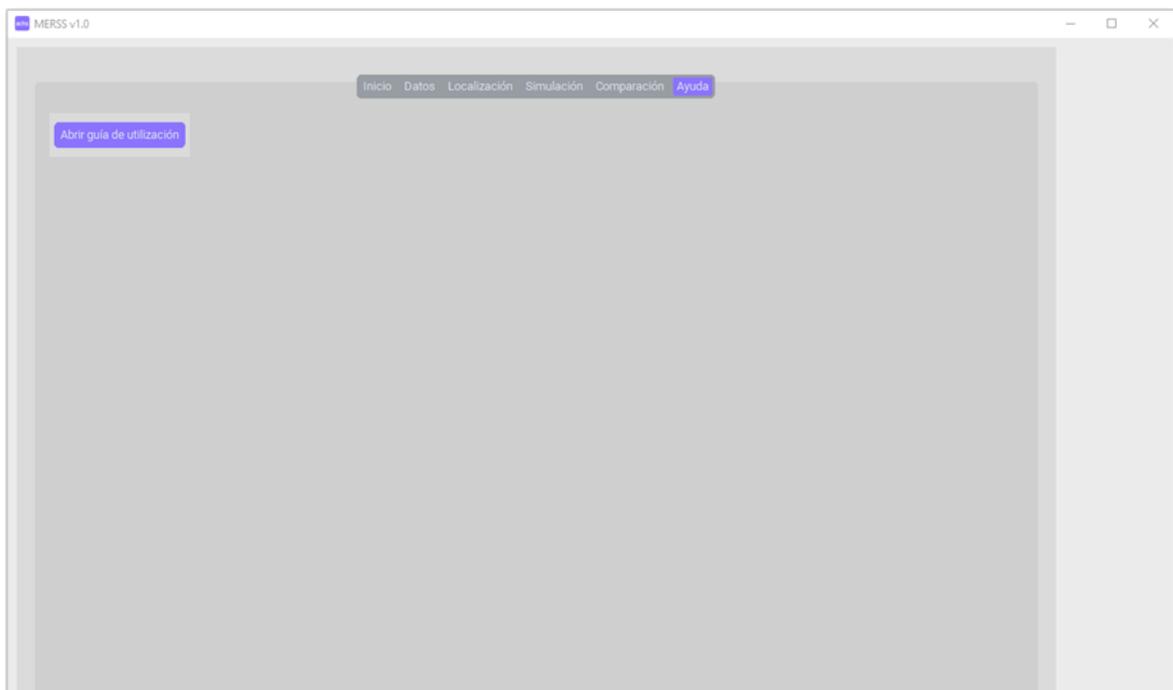
### 2.7.21. Vista “Comparación->Resumen”



Indicador	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia	Mejora relativa [%]
Cobertura (c30) [%]	69.7	71.0	1.3	1.8
Cumplimiento [%]	69.7	71.0	1.3	1.8
Percentil noventa (p90) [min]	54.1	53.1	-0.9	-1.7
Tiempo de respuesta promedio [min]	27.2	26.8	-0.4	-1.4

Descripción: En esta vista se muestra una tabla resumen, para los dos escenarios importados, de los indicadores de desempeño y su comparación (mejora relativa del escenario 2 sobre el escenario 1).

### 2.7.22. Vista “Ayuda”



Descripción: En esta vista se puede abrir una guía de utilización, que contiene información de apoyo para el uso de la interfaz.

## **VIII.- Recomendaciones para Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo**

Con el fin de aprovechar las funcionalidades de la interfaz, una recomendación relevante es tener en cuenta los datos de entrada para el sistema, ya que esta herramienta es útil para el apoyo en la toma de decisiones con datos representativos y de calidad. Los datos deben ser ingresados en el formato establecido (se han brindado ejemplos en este formato y con un conjunto de datos de testeo para que los usuarios puedan probar todas las funcionalidades).

Por otro lado, es importante considerar que esta interfaz es una herramienta para apoyar la toma de decisiones. En particular, permite apoyar el análisis del sistema, pero es esencial que los usuarios interpreten de manera pertinente los resultados asociados a las evaluaciones que pueden hacerse con la interfaz. Especialmente, se deben considerar las limitaciones asociadas al análisis en función de los datos y parámetros de entrada dado que, por ejemplo, evaluar escenarios con muy poca demanda o en periodos muy cortos puede producir resultados que no sean estadísticamente representativos. Con esto en mente, es muy importante considerar las características de los escenarios al momento de analizar los resultados que entrega la herramienta.

Otra recomendación relevante, es que idealmente se incorpore en los sistemas de información de Achs Servicios el registro de las coordenadas geográficas de los vehículos durante la operación. Esto con el objetivo de disponer en un futuro de información precisa de la operación de forma de poder evaluar con una mayor precisión los escenarios y validar los resultados contrastando con esa nueva información.

Asimismo, sería ideal aumentar la adherencia en el sistema y también registrar este fenómeno para facilitar su estimación. Es decir, la proporción del tiempo en donde se respeta de manera perfecta la política de asignación al vehículo más cercano. Esto no solo mejoraría el desempeño del sistema, sino que también permitiría profundizar los análisis y validar de forma más completa los resultados obtenidos

## IX.- Conclusiones

En relación con el cumplimiento de los objetivos propuestos, la interfaz desarrollada ha alcanzado con éxito todos los objetivos y requisitos establecidos en la propuesta. La solución implementada además de satisfacer las necesidades iniciales, incorpora también aspectos de funcionalidad y rendimiento.

Si nos referimos a la estabilidad del sistema, la interfaz ha demostrado una alta estabilidad durante la fase de pruebas; se han incluido validaciones para minimizar la probabilidad de fallas, no obstante, se deben seguir las indicaciones de uso de la interfaz para asegurar que los resultados sean útiles para el apoyo de la toma de decisiones. Esto refleja el compromiso del equipo con las mejores prácticas de desarrollo y garantiza una experiencia de usuario fluida y confiable.

Se han integrado funcionalidades innovadoras que no solo cumplen con los requisitos actuales, sino que también posicionan a esta herramienta como una solución avanzada frente a esta problemática. La capacidad de adaptación y mejora continua ha sido clave para alcanzar un diseño que facilite el análisis del sistema con sus diversas complejidades.

La interfaz ha mostrado un rendimiento apropiado en términos de los tiempos de ejecución para conjuntos de datos representativos, teniendo en cuenta los algoritmos, modelos matemáticos y heurísticas que incluye la herramienta. Esto contribuye a un mejor uso del tiempo de los usuarios, lo que se traduce en aumento de productividad y satisfacción del usuario final.

Las retroalimentaciones de los usuarios finales han sido positivas, con relación a la facilidad de uso y la usabilidad de las funcionalidades ofrecidas. La demostración en vivo y la documentación proporcionada han facilitado un adecuado aprendizaje y aceptación por parte de los usuarios.

La interfaz ha sido diseñada de manera modular y escalable, separando su *backend* de su *frontend*, lo que hace posible una expansión y adaptación para futuros requerimientos y funcionalidades. Esta flexibilidad podría permitir que la solución evolucione junto con las necesidades del negocio, teniendo en cuenta las particularidades por ejemplo para ser aplicado en otras regiones del país o incorporando nuevas políticas de operación.

El desarrollo de la interfaz ha seguido buenas prácticas y se ha trabajado con datos anonimizados de manera de garantizar la protección de la información.

Se espera que el desarrollo de esta herramienta genere un valor significativo para ACHS Servicios, permitiéndole mejorar el proceso de asignación de su flota de vehículos de emergencia, mejorando la forma en la que se evalúan sus indicadores operacionales y ofreciendo nuevas oportunidades para el crecimiento y la innovación en sus sistemas.

## X.- Referencias

- Allen, M., Pearn, K., & Monks, T. (2021). Developing an OpenAI Gym-compatible framework and simulation environment for testing Deep Reinforcement Learning agents solving the Ambulance Location Problem. arXiv preprint arXiv:2101.04434.
- Aringhieri, R. , M.E. Bruni, S. Khodaparasti, J.T. van Essen (2017) Emergency medical services and beyond: Addressing new challenges through a wide literature review. *Computers & Operations Research*, 78: 349-368
- Azizan, M. H., Go, T. L., Hatta, W. A. L. W. M., y Lim, C. S. (2017). Comparison of Emergency Medical Services Delivery Performance using Maximal Covering Location and Gradual Cover Location Problems. *IJECE*, 7(5), 2791–2797. doi: 10.11591/ijece.v7i5.pp2791-2797
- Baez-Tapia C.A. (2017) Emergency Medical Service Ambulance System Planning: History and Models, *Doctoral thesis University of California Santa Barbara*
- Van Den Berg, P. L., & Theresia Van Essen, J. (2019). Comparison of static ambulance location models. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 32(3-4), 292-321. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2019.098321>
- Bélanger, V., Lanzarone, E., Nicoletta, V., Ruiz, A., & Soriano, P. (2020). A recursive simulation-optimization framework for the ambulance location and dispatching problem. *European Journal of Operational Research*, 286(2), 713-725.
- Brotcorne, L., y Laporte, G. (2003). Ambulance location and relocation models. , 147, 451–463. doi: 10.1016/S0377-2217(02)00364-8
- Carvalho, A. S., Captivo, M. E., & Marques, I. (2020). Integrating the ambulance dispatching and relocation problems to maximize system's preparedness. *European Journal of Operational Research*, 283(3), 1064-1080.
- Farahani, RZ , S Fallah, R Ruiz, S Hosseini (2019) OR models in urban service facility location: A critical review of applications and future developments. *European Journal of Operational Research*, 276: 1-27
- Goldberg J.B. (2004) Operations research models for the deployment of emergency services vehicles *EMS Manag J*, 1: 20-39
- Kergosien, Y., V. Bélanger, P. Soriano, M. Gendreau, and A. Ruiz. (2015). "A generic and flexible simulation-based analysis tool for EMS management." *International Journal of Production Research* 53 (24): 7299–7316.
- Kergosien, Y., Bélanger, V., & Ruiz, A. (2023). A capacity sharing approach to manage jointly transportation and emergency fleets at EMS organisations. *International Journal of Production Research*, 61(3), 880-897.
- RBO Kerkkamp (2014) Facility location models in emergency medical service: Robustness and approximations – available at <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:22cb1ca1-8dbb-42d0-bbc2-c61a33dc479f/datastream/OBJ>
- Liu, Y, Y Yuan, J Shen, W Gao (2021) Emergency response facility location in transportation networks: A literature review. *Journal of traffic and transportation*, 8: 153-169
- Marín, A., Martínez-Merino, L. I., Rodríguez-Chía, A. M., & Saldanha-da-Gama, F. (2018). Multi-period stochastic covering location problems: Modeling framework and solution approach. *European journal of operational research*, 268(2), 432-449.

Marianov, V., y Serra, D. (2002). Location Problems in the Public Sector. n: Facility Location: Applications and Theory Drezner Z., Hamacher H. (eds), 2002 ISBN: 978-3-540-42172-6

Reuter-Oppermaun, M., van den Berg, P. L., & Vile, J. L. (2017). Logistics for Emergency Medical Service systems. *Health Systems*, 6(3), 187–208. <https://doi.org/10.1057/s41306-017-0023-x>

Stratman, Eric G., Justin J. Boutilier, Laura A. Albert (2023) Uncertainty in Facility Location Models for Emergency Medical Services In H.A. Eiselt and V. Marianov (eds.) Uncertainty in Facility Location. Springer Verlag

Wilde, E. T. (2013). Do emergency medical system response times matter for health outcomes? *Health Economics*, 22(7), 790–806.