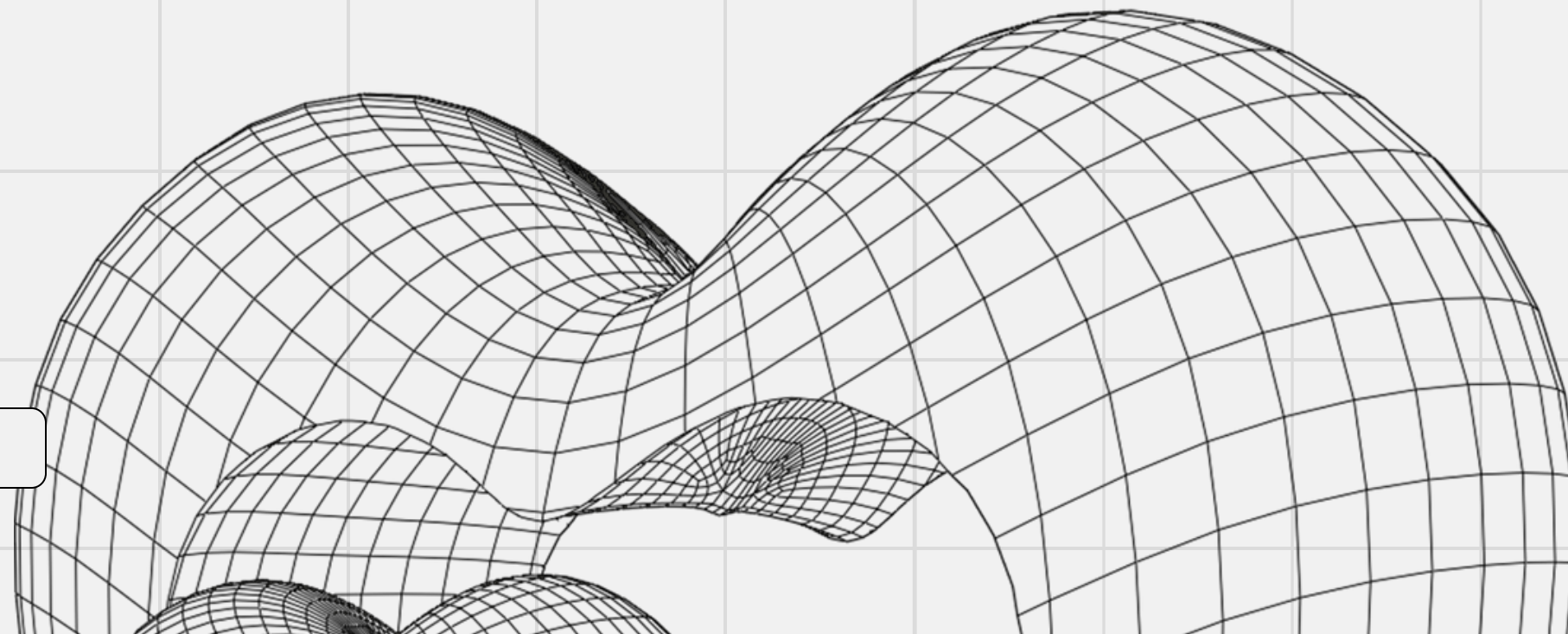


INVESTIGACION DE OPERACIONES

MODELO DE SIMULACIÓN DE UN PARQUE DE Bomberos

MARCO RODRIGUEZ Y MAXIMILIAN LATYSH



PORTADA



1/17

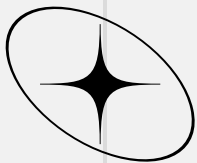
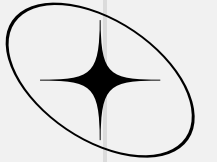


TABLA DE CONTENIDO

1	MARCO TEORICO	5	PROCEDIMIENTO
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6	METODO DE ANALISIS
3	METODOLOGIA	7	CONCLUSIONES
4	HIPOTESIS Y VARIABLES	8	RECOMENDACIONES

MARCO TEORICO



Conceptos clave

Parque de bomberos: Una instalación donde se ubican los equipos y personal necesarios para la respuesta a emergencias de incendios y otros tipos de incidentes.

Modelos SED: Modelos de simulación de eventos discretos son un conjunto de métodos que permiten modelar y analizar varios aspectos críticos de la respuesta y gestión de emergencias. Pueden simular la respuesta de los bomberos a varias emergencias en diferentes escenarios, como incendios, accidentes y rescates. Por medio de un contador temporal, optimizan los periodos de simulación intensiva detectando los momentos críticos.

R: Lenguaje de programación utilizado para la implementación de simulaciones debido a sus capacidades estadísticas avanzadas y de análisis de datos.

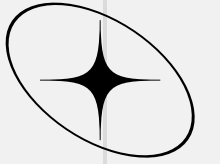
Conceptos adicionales

Simulación basada en agentes: Modelo de simulación que representa actores individuales (bomberos, camiones, etc.) con capacidad de decisión, interactuando en un entorno.

Modelos de colas: Simula el proceso de gestión de emergencias en el parque de bomberos, donde las llamadas de emergencia forman una cola que se atiende en función de la disponibilidad de recursos (bomberos y camiones).

Modelos híbridos: Combina la SED y la SBA combinan ambos enfoques para aprovechar lo mejor de cada uno, integrando sus fortalezas y proporcionando una simulación más completa.





PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Limitaciones operativas y estrategias de optimización en los parques de bomberos actuales

PROBLEMA

Los parques de bomberos actualmente tienen limitaciones operativas y estratégicas que reducen su eficiencia y efectividad al responder a emergencias. Esto incluye una mala gestión de recursos, falta de coordinación y tiempos de respuesta largos, lo que puede afectar la atención rápida en situaciones críticas.

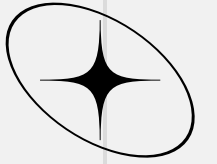
ALCANCE

Desarrollar un modelo de simulación de las operaciones diarias de un parque de bomberos, abarcando la respuesta a emergencias, la gestión de recursos y la planificación de rutas para poder replicar las dinámicas operativas, optimizar la asignación de recursos y los tiempos de respuesta en situaciones críticas.

OBJETIVO PRINCIPAL

Investigar, cuantificar y proveer una solución para las alertas que quedan sin atender debido a la falta de personal. Además, desarrollar estrategias para optimizar la asignación de recursos y mejorar la eficiencia en la respuesta a emergencias.



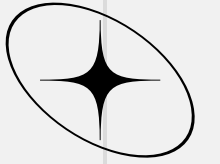


METODOLOGIA

Se basa en la creación y análisis de un modelo de simulación que evalúa la incidencia de alertas no atendidas en un parque de bomberos debido a la insuficiencia de personal. A través del análisis de datos estadísticos sobre las llamadas de emergencia y la disponibilidad de los recursos se busca correlacionar estos factores con las tasas de respuesta efectiva.

El proceso incluye la comparación de modelos de simulación previos, evaluando sus fortalezas y debilidades, y la implementación de un modelo empírico que simula las operaciones diarias del parque. Finalmente, los resultados obtenidos de la simulación serán analizados para proponer mejoras que optimicen la gestión de emergencias y maximicen la efectividad del parque de bomberos.

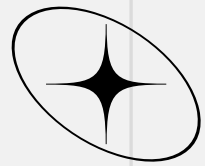




HIPOTESIS

Al simular las operaciones diarias de un parque de bomberos durante una semana, utilizando datos sobre el número de bomberos, la disponibilidad de camiones y los tipos de emergencias, se puede identificar cómo estos factores afectan la capacidad de respuesta. El modelo busca demostrar que, con una mejor planificación y gestión de los recursos, se pueden reducir las emergencias no atendidas y optimizar los tiempos de respuesta, mejorando así la eficiencia general del parque.

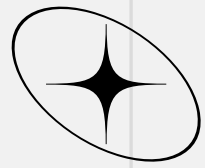




VARIABLES BOMBEROS

- **Número de Bomberos** El sistema comienza con 15 bomberos.
- **Ubicación de los Bomberos** La ubicación de cada bombero se actualiza continuamente ya sea en la estación o en un evento. Cuando se asignan a un evento, su estado cambia.
- **Eventos en Curso** El sistema rastrea qué bombero está atendiendo qué evento.
- **Tiempo Restante de Evento** Cada evento tiene un tiempo asignado que se actualiza regularmente hasta que se completa. Esto asegura que los bomberos no se liberen antes de tiempo y puedan ser reasignados cuando terminen.
- **Bomberos Devueltos** El sistema lleva un registro de los bomberos que han regresado a la estación tras finalizar un evento.
- **Camión Asignado a Bombero** Cada bombero necesita un camión para atender emergencias. Si no hay camiones disponibles, no se puede responder a eventos.

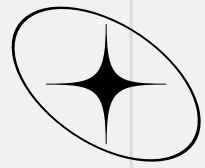




VARIABLES CAMIÓN DE BOMBEROS

- **Disponibilidad de los Camiones** El sistema inicia con 2 camiones.
- **Asignación de Camiones** El sistema asigna un camión disponible a cada evento.
- **Liberación de Camiones** Al finalizar un evento, el camión se libera y vuelve a estar disponible para futuros eventos.
- **Interacción con los Bomberos** El sistema registra qué camión se asigna a cada equipo de bomberos durante los eventos.
- **Camión Devuelto** Tras completar un evento, el camión se registra como devuelto para garantizar que esté disponible para futuros incidentes.
- **Registro y Análisis** El sistema registra continuamente la disponibilidad, asignación y devolución de camiones permitiendo un análisis para mejorar la gestión de recursos.

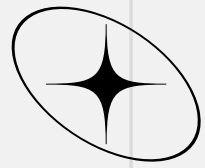




VARIABLES EVENTOS

- **Tipos de Eventos** El sistema simula cuatro tipos de eventos: Incendio, Emergencia médica, Rescate y Ninguno (null). Permiten simular diferentes tipos de emergencias que un parque de bomberos podría enfrentar.
- **Probabilidades de Eventos** Las probabilidades de que ocurra un evento varían según el *datetime*. Esto permite que el sistema capture patrones de demanda realistas, con ciertos eventos ocurriendo con mayor frecuencia en momentos específicos.
- **Generación de Eventos** La función de generar eventos decide qué tipo de evento ocurre en un momento dado, basándose en probabilidades previamente definidas. Esto asegura que la simulación refleje la variabilidad diaria y semanal en la demanda de emergencias.
- **Duración de los Eventos** Cada evento tiene una duración predefinida, que puede variar entre 30 y 120 minutos.
- **Registro y Análisis** Cada evento (con todos sus datos asociados) se registra en un archivo CSV.



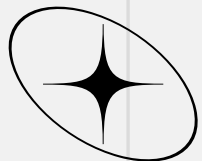


VARIABLES

TIEMPO

- **Segmentación del Tiempo** El tiempo en la simulación se segmenta en intervalos de 60 minutos, permitiendo que el sistema actualice el estado de los eventos y los recursos en intervalos.
- **Duración Total del Período Simulado** La simulación cubre un total de 7 días.
- **Cálculo de Hora y Minuto** Cada iteración de la simulación calcula la hora y el minuto actuales.
- **Determinación del Día de la Semana** El día de la semana se determina en función de una fecha de inicio, permitiendo ajustar las probabilidades de eventos según el día.
- **Registro y Análisis** El sistema registra datos que corresponden al tiempo dentro de un CSV.





PROCEDIMIENTO

Los tres prototipos fueron implementados en el lenguaje de programación R. El enfoque metodológico adoptado implica una iteración progresiva de los prototipos, cada uno construido sobre la base del anterior y con mejoras significativas en funcionalidad y complejidad.

PROTOTIPO 1

Simula las operaciones diarias de un parque de bomberos, enfocándose en 3 variables clave: **tiempo, bomberos disponibles y eventos de emergencia**. La simulación abarca **un día**, dividido en **intervalos de 15 minutos**. Las emergencias como **incendios, rescates o emergencias médicas** se generan **aleatoriamente**. Cada emergencia tiene una **duración específica**, lo que influye en la asignación de recursos.

PROTOTIPO 2

Introduce una **mejora** en la **capacidad de respuesta** del parque de bomberos al implementar un mecanismo para **asignar dinámicamente** el número de bomberos según la **gravedad**. Esto permite una gestión más eficiente de los recursos. Además, se incorpora la **capacidad de registrar el momento exacto en que finaliza cada emergencia**, optimizando la asignación de personal.

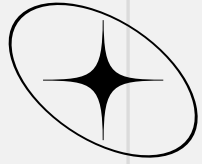
PROTOTIPO 3

Amplía la funcionalidad al **introducir la gestión de los camiones de bomberos** como **recursos asignables** en cada emergencia. Además, se registra el **tipo de camión asignado** y el **momento** en que **regresa** a la estación. Extiende la **simulación** a una **semana completa** con **intervalos de una hora**, permitiendo una **mayor granularidad** al modelar la carga de trabajo y la demanda de servicios según la probabilidad de eventos a lo largo de la semana.

OUTPUT FINAL

Ofrece una visión detallada de las operaciones del parque de bomberos, utilizando intervalos de una hora para hacer seguimiento de actividades, recursos y camiones asignados a emergencias. Durante la simulación se generan varios tipos de eventos, como emergencias médicas, incendios y rescates, los cuales afectan la disponibilidad de bomberos y camiones. Cada evento tiene una duración específica, determinando cuántos recursos son liberados o siguen en uso al finalizar. La simulación muestra la disponibilidad dinámica de bomberos y camiones, optimizando su retorno y reasignación para futuros eventos.





PROCEDIMIENTO

Dia	Tiempo	Bomberos en estacion	Evento	Duracion del evento (minutos)	Bomberos devueltos	Bomberos requeridos	Camion asignado	Camion devuelto	Camiones en estacion
lunes	0:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	1:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	2:00	14	Incendio	62	0	6	A		2
lunes	3:00	14	Ninguno	0	0	0			2
lunes	4:00	14	Ninguno	0	0	0			2
lunes	4:00	20	Ninguno	0	6	0		A	3
lunes	5:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	6:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	7:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	8:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	9:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	10:00	16	Emergencia médica	79	0	4	A		2
lunes	11:00	16	Ninguno	0	0	0			2
lunes	12:00	16	Ninguno	0	0	0			2
lunes	12:00	20	Ninguno	0	4	0		A	3
lunes	13:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	14:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	15:00	20	Ninguno	0	0	0			3
lunes	16:00	16	Rescate	145	0	4	B		2
lunes	17:00	16	Ninguno	0	0	0			2
lunes	18:00	11	Incendio	113	0	5	C		1
lunes	19:00	11	Ninguno	0	0	0			1
lunes	20:00	7	Incendio	77	0	4	A		0
lunes	21:00	7	Ninguno	0	0	0			0
lunes	21:00	16	Ninguno	0	9	0		B	2

Figura 4.1: Output de la Simulación



METODO DE ANALISIS

PRIMERA SIMULACIÓN

Se evaluó el desempeño inicial del modelo con 15 bomberos y 2 camiones disponibles, revelando que estos recursos eran **insuficientes** para cubrir la demanda de emergencias ya que varios eventos quedaron sin atender, especialmente los días **viernes, sábado y domingo**. La distribución mostró una mayor concentración de emergencias hacia el final de la semana. Esta variabilidad sugiere la necesidad de ajustar los turnos y recursos según la demanda para mejorar la respuesta y reducir los eventos no atendidos.

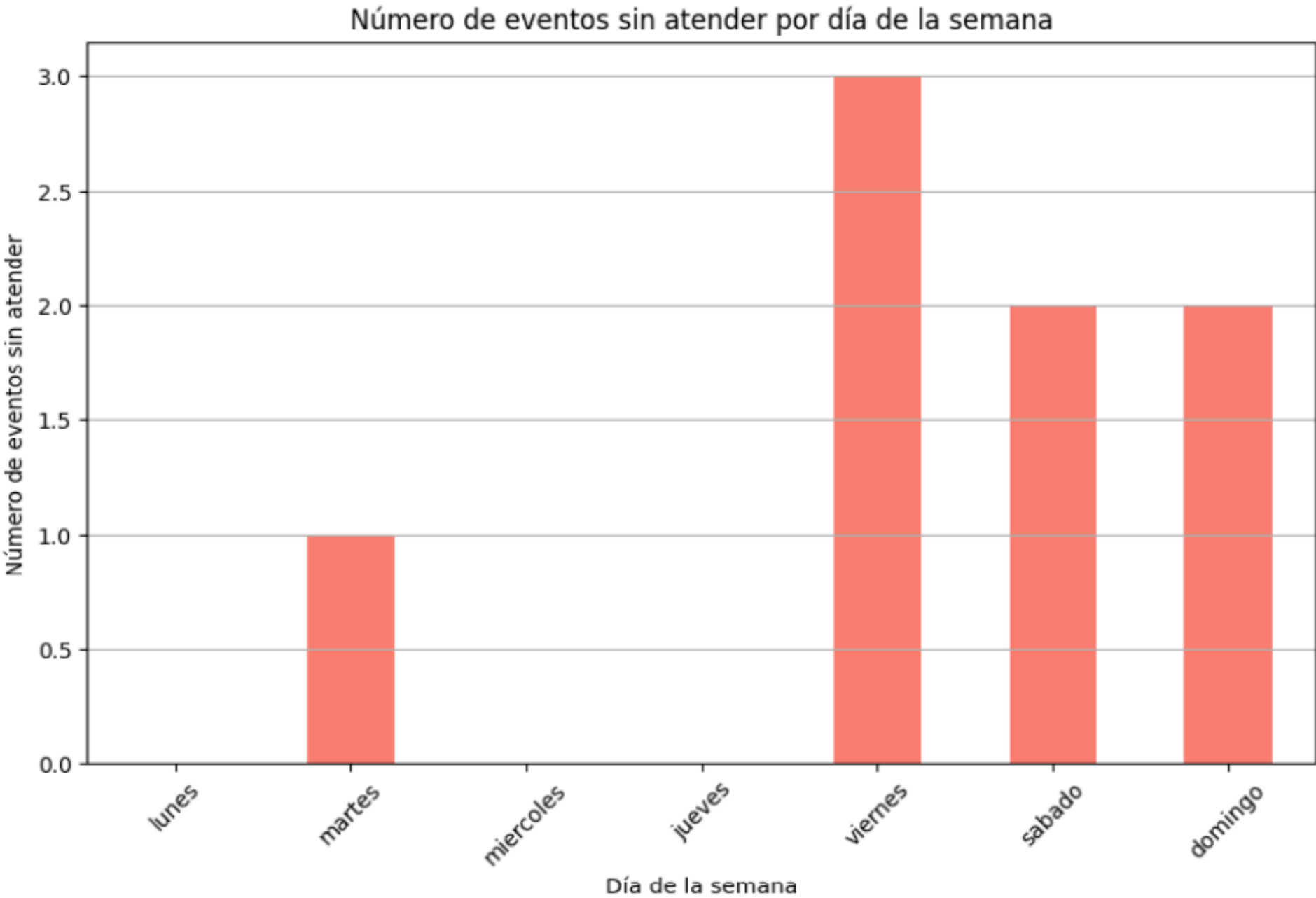
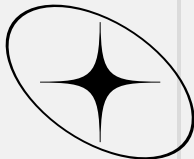


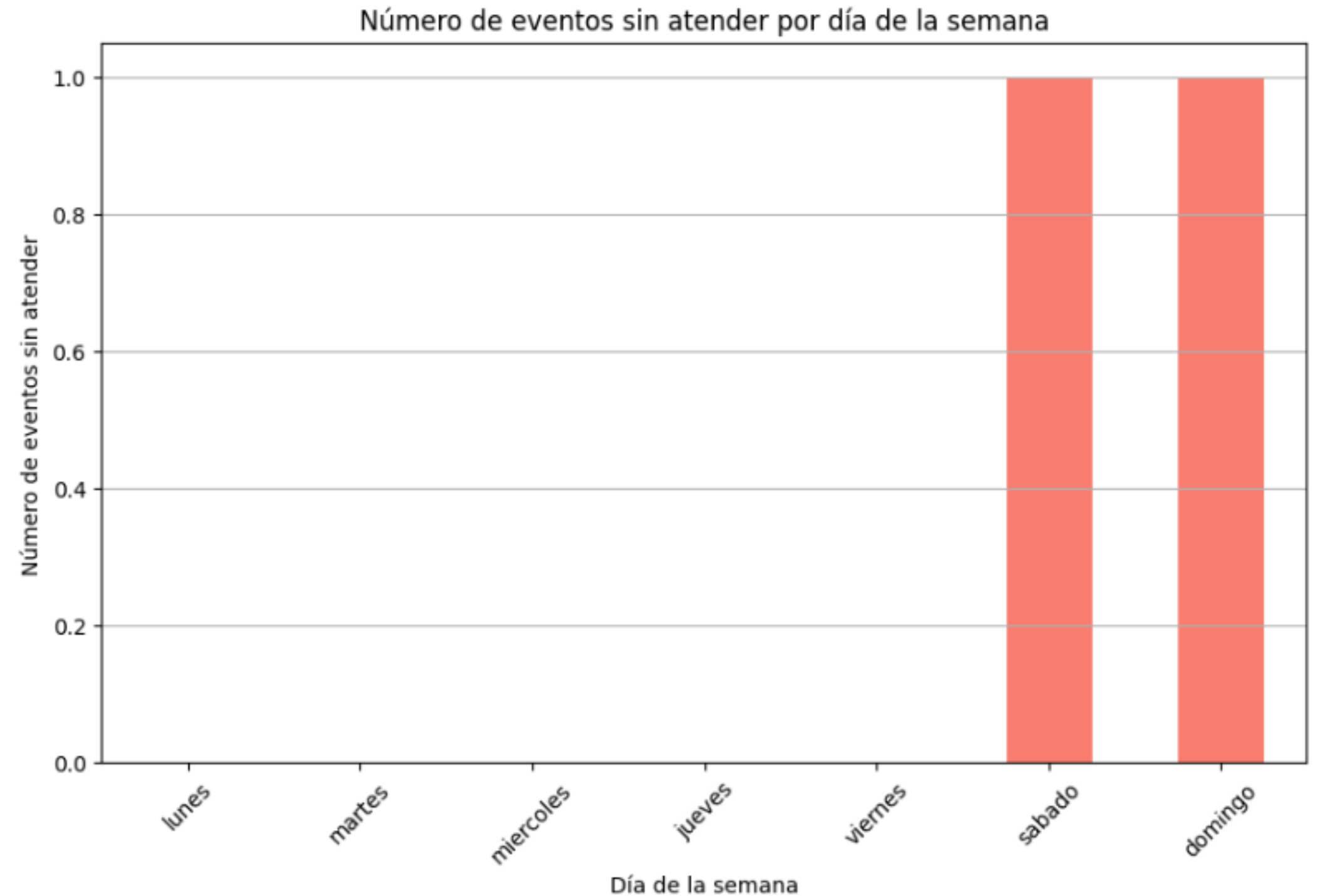
Figura 5.2: Número de eventos sin atender por día de la semana.

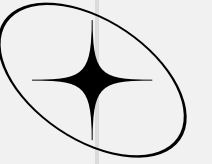


METODO DE ANALISIS

SEGUNDA SIMULACIÓN

Se ajustaron los recursos **aumentando** a 20 bomberos y 3 camiones para **mejorar la capacidad de respuesta**. Esto permitió **reducir significativamente** los **eventos no atendidos**. Sin embargo, los **fines de semana** todavía presentaron **algunos eventos sin atender**, lo que indica **margen de mejora** en la asignación de recursos para esos días. Se sugiere la necesidad de **reajustar turnos** para mantener una respuesta más rápida en toda la semana.



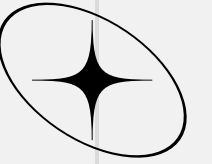


CONCLUSIONES

El estudio desarrolló con éxito un modelo de simulación numérica para abordar las limitaciones operativas y estratégicas de un parque de bomberos, mejorando la gestión de recursos y la respuesta a emergencias. Mediante la implementación y evaluación de distintos modelos experimentales, incluyendo la gestión de camiones de bomberos y el registro detallado de la respuesta. El modelo demostró ser efectivo en la detección y medición de incidencias no resueltas por falta de personal, permitiendo evaluar estrategias y reducir los tiempos de respuesta.

Las simulaciones basadas en agentes y eventos discretos fueron metodologías clave para comprender la complejidad de las operaciones del parque de bomberos. El modelo no solo mejora las operaciones actuales, sino que también establece una base sólida para futuras mejoras, permitiendo adaptarse a las necesidades cambiantes de los servicios de emergencia y asegurando una respuesta rápida en situaciones críticas.





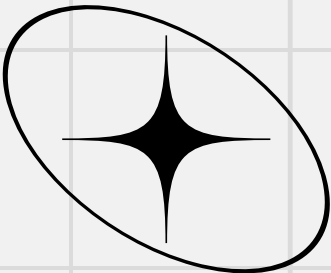
RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar el modelo de simulación incorporando nuevas variables y funcionalidades para aumentar su complejidad. Las sugerencias incluyen:

- Condiciones ambientales como temperatura y humedad
- Ampliar los tipos de eventos simulados para incluir emergencias específicas como fugas químicas y desastres naturales
- Añadir recursos adicionales como equipos de rescate especializados y vehículos médicos
- Considerar factores de estrés y fatiga del personal
- Incorporar técnicas de aprendizaje automático para analizar datos históricos y predecir futuras emergencias.

Estas mejoras podrían permitir el desarrollo de un prototipo más completo que refleje con mayor precisión las complejidades de las operaciones de un parque de bomberos.





GRACIAS

