

## Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

**BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA**  
UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
Chía - Cundinamarca



El presente formulario debe ser diligenciado en su totalidad como constancia de entrega del documento para ingreso al Repositorio Digital (Dspace).

<b>TITULO</b>	Análisis de estrategias para la disminución de tiempos de respuesta en el servicio de despacho de taxis.		
<b>SUBTITULO</b>			
<b>AUTOR(ES)</b> Apellidos, Nombres (Completo) del autor(es) del trabajo	<b>Niebles Rodríguez, Jaime Rafael</b>		
<b>PALABRAS CLAVE</b> (Mínimo 3 y máximo 6)	Despacho de taxi		transporte
	optimización de redes		algoritmo Munkres
	simulación discreta		ruta corta
<b>RESUMEN DEL CONTENIDO</b> (Mínimo 80 máximo 120 palabras)	<p>La convergencia de tecnología en servicios de taxis, especialmente GPRS y GPS, revoluciona la manera en que las empresas gestionan el servicio de despacho. La fuerte competencia entre empresas conlleva optimizar el servicio, buscando menores tiempos de respuesta. Este estudio explora a partir de un modelo de simulación la operación de un sistema de despacho de taxis conformando bloques de usuarios o ventanas de tiempo junto con otras estrategias de asignación para mejorar el servicio.</p> <p>Aunque disminuyen los tiempos de respuesta respecto al sistema tradicional, no es posible lograr mejoras significativas con ventanas de tiempo comparado con la asignación uno a uno. Sin embargo, es posible mejorar aspectos relevantes como la cantidad de servicios desatendidos y repartir más equitativamente las carreras.</p>		

Autorizo (amos) a la Biblioteca Octavio Arizmendi Posada de la Universidad de La Sabana, para que con fines académicos, los usuarios puedan consultar el contenido de este documento en las plataformas virtuales de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

**ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE TIEMPOS DE  
RESPUESTA EN EL SERVICIO DE DESPACHO DE TAXIS**

**ING. JAIME RAFAEL NIEBLES RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
Chía, Cundinamarca  
2013**

**ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE TIEMPOS DE  
RESPUESTA EN EL SERVICIO DE DESPACHO DE TAXIS**

**Ing. Jaime Rafael Niebles Rodríguez**

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Diseño y Gestión de  
Procesos  
Énfasis en Logística**

**Director:  
M.Sc. Luz Helena Mancera**

**Universidad de la Sabana  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Diseño y Gestión de Procesos  
Chía, Cundinamarca  
2013**

**ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE TIEMPOS DE  
RESPUESTA EN EL SERVICIO DE DESPACHO DE TAXIS**

---

**JURADO 1**

---

**JURADO 2**

---

**JURADO 3**

**M.Sc. Luz Helena Mancera  
DIRECTOR**

**“La Universidad no se hace responsable por las opiniones contenidas en el presente documento que es exclusiva responsabilidad del autor”**

## **DEDICATORIA**

*A mi familia por su paciencia y comprensión, acompaño esta dedicatoria con la firme promesa de reponerles el tiempo que este proyecto demandó.*

## RECONOCIMIENTO

*Al cuerpo docente de la Maestría por la generosidad y entrega hacia sus alumnos y la pasión que inspiran por la ciencia de la investigación de operaciones. A mis compañeros de quienes su voz de ánimo y aliento nunca faltó.*

## RESUMEN

La convergencia de tecnologías aplicables en el ámbito del servicio de transporte urbano ha revolucionado la manera tradicional en que las empresas de taxis gestionan el servicio de despacho de vehículos a los usuarios, especialmente las tecnologías de comunicación inalámbricas y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). De otro lado, la competencia permanente de las empresas por lograr el mayor número de afiliaciones de taxis ha llevado a buscar la optimización en la prestación del servicio, especialmente orientada a la satisfacción de los usuarios en términos de un menor tiempo de respuesta, lo cual se traduce en una preferencia de los usuarios por la empresa con mayor nivel de servicio. Esto a su vez, conduce a más afiliaciones de taxis en busca de un mayor número de servicios y por ende a la expansión de la empresa.

En este escenario se plantea el problema de asignar taxis de manera eficiente a clientes que esperan en diferentes ubicaciones. En torno a este problema se ha investigado ampliamente el empleo de los algoritmos de ruta corta más eficientes, mientras otras investigaciones se han enfocado en las estrategias que emplea el sistema de despacho de taxis para la asignación de vehículos a los usuarios.

Este estudio exploró la aplicación de ventanas de tiempo en conjunto con otras estrategias de asignación. Las ventanas de tiempo se refieren a la conformación de bloques de usuarios, previo a la asignación de taxis. Se estudió el efecto de la duración de esas ventanas en la eficiencia del sistema, así como su aplicación en conjunto con otras reglas de asignación de taxis para mejorar la eficiencia del sistema de despacho. El estudio comprendió el desarrollo de un modelo de simulación para la operación de un sistema de despacho de taxis en varios escenarios que corresponden al sistema de despacho actual y que emplearía

información de geoposicionamiento de los taxis en tiempo real para su asignación a los usuarios.

La implementación de información de geoposicionamiento mejora significativamente los tiempos de respuesta de un sistema de despacho de taxis, sin embargo, no es posible lograr mejoras significativas mediante la estrategia de ventanas de tiempo o asignación en bloque si se compara con la asignación uno a uno. Otras estrategias como tiempos límite de respuesta flexible, penalización a taxis con carreras por encima de la media y reorientación de taxis hacia áreas de mayor demanda pueden tener una incidencia importante en aspectos igualmente relevantes como la cantidad de servicios no atendidos y repartición equitativa de carreras entre taxis.

## **ABSTRACT**

The convergence of technologies applicable in the field of urban transportation has revolutionized the traditional way in which companies dispatch taxicabs to users, especially the wireless communication technology and the Global Positioning System (GPS). On the other hand, the continuing competence of companies to achieve the highest number of affiliations of taxicabs has led to the search optimization service provision, particularly oriented towards user satisfaction in terms of lower response time, which results in a user preference for the company with the highest level of service. This in turn leads to more affiliation of taxis in search of a greater number of services and hence the expansion of the company.

In this scenery, the problem is how to assign efficiently taxicabs to waiting customers in different locations. This problem has been extensively investigated exploring more efficient short path algorithms, while other research has focused on the strategies used by the taxicab dispatch system for assigning vehicles to users.

This study explored the application of time windows in conjunction with other assignment strategies. Time windows refer to the formation of blocks of users, prior to the allocation of taxis. The effect of the duration of these windows in the efficiency of the system and its application in conjunction with other taxicab assignment rules to improve the efficiency of the dispatching system was studied. The study included the development of a simulation model for the operation of a taxi dispatch system in various sceneries corresponding to the current dispatch system and others that would use GPS information from taxicabs in real time for the assignment to users.

The implementation of geo-information significantly improves the response time of a taxi dispatch system; however no significant improvement has been found using

the strategy of time windows or block assignment when compared with a one to one mapping. Other strategies such as flexible response deadlines, penalty for taxis with rides above the average and the reorientation of taxis to areas with high demand, can have a significant impact on equally relevant aspects such as the number of services and equitable distribution of rides between taxis.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	v
<b>RECONOCIMIENTO</b>	vi
<b>RESUMEN</b>	vii
<b>LISTA DE TABLAS</b>	xii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	xiii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	5
<b>3. MARCO DE REFERENCIA</b>	6
<b>4. METODOLOGÍA</b>	12
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	26
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	35
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	37
<b>8. ANEXOS</b>	39

## LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Funciones de probabilidad para las llamadas.	20
Tabla 2. Funciones de probabilidad para la duración de las carreras.	20
Tabla 3. Valores de tiempo de respuesta para 37 corridas.	25
Tabla 4. Resultados de la estrategia de tiempos de respuesta máximos.	28
Tabla 5. Resultados de la estrategia de penalización.	29
Tabla 6. Resultados de la estrategia de reubicación de los taxis.	30
Tabla 7. Aplicación de estrategias combinadas. Tiempos de respuesta.	31
Tabla 8. Aplicación de estrategias combinadas. Distribución de carreras.	31

## LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de colaboración del modelo conceptual.	13
Figura 2. Flujograma general del simulador.	15
Figura 3. Cuadrícula y Zonas de la ciudad.	16
Figura 4. Representación gráfica de la estrategia de ventanas de tiempo.	22
Figura 5. Acumulación de tiempos.	23
Figura 6. Gráfica de densidades acumuladas.	26
Figura 7. Ventanas de tiempo a diferentes valores de densidad.	27
Figura 8. Efecto de la política de tiempo límite.	28
Figura 9. Efecto de las penalizaciones en la distribución de las carreras.	29

## 1. INTRODUCCIÓN

En el servicio de despacho de taxis tradicionalmente una central de radio recibe los pedidos de los clientes a través de un conmutador y los comunica a los móviles vía radioteléfono indicándoles la ubicación de quien solicita el servicio, los taxis que se encuentren disponibles y ubicados relativamente cerca del cliente pueden reportarse a la central para tomar el servicio. El máximo tiempo en el que puede darse respuesta al cliente es definido por la empresa de taxis, de tal manera que sólo los taxis que se encuentran lo suficientemente cerca del cliente pueden responder a la solicitud de la central, esto con el fin de dar una respuesta en el menor tiempo posible. En este esquema la central desconoce la ubicación de los taxis, de tal forma que el servicio es tomado por el primero de ellos que se reporta y por lo tanto el tiempo de respuesta no siempre es el mejor.

La convergencia de nuevas tecnologías, específicamente el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), internet y la comunicación celular (Silva & Mateus, 2003), así como el abaratamiento de los procesadores y equipos portátiles han llevado a la implementación de esta tecnología en empresas de taxis, con el propósito de buscar la optimización del servicio principalmente en términos de la disminución del tiempo de respuesta al cliente.

Dada la complejidad de un escenario real, el cual involucra un alto número de vehículos en movimiento cuya información de geoposicionamiento cambia constantemente, una demanda del servicio que varía según la hora del día y con usuarios cuya ubicación sólo se conoce en el momento en que el servicio es solicitado, la simple aplicación de un algoritmo de la ruta más corta entre el usuario y los taxis y la posterior asignación del taxi más cercano al cliente no son

suficientes para garantizar el menor tiempo de respuesta y una repartición equitativa de los servicios.

Con este panorama, la mejora en los tiempos de respuesta puede depender de la estrategia empleada para lograr un mejor uso de la información de geoposicionamiento, de la cual se dispone gracias a las tecnologías convergentes antes mencionadas y que pueden ser complementadas mediante reglas de asignación de los taxis.

El proyecto se desarrolla sobre el sistema de despacho de taxis de la empresa Radio Taxis Libres que opera en la ciudad de Bucaramanga y que cuenta con una flota de aproximadamente 850 taxis afiliados.

Las estrategias que se proponen para mejorar los tiempos de respuesta están asociadas con el uso de reglas de asignación de taxis y más específicamente con la asignación de taxis por grupos consecutivos de usuarios, las cuales son evaluadas mediante un modelo de simulación. La parametrización del modelo se basa en los datos históricos e información empírica suministrada por esta empresa.

Para el propósito de este estudio, se considera el tiempo de respuesta como el tiempo transcurrido desde el momento en que se recibe la llamada por parte del cliente hasta el momento en que el taxi llega hasta el lugar en que fue solicitado.

El estudio no comprende el efecto en los tiempos de respuesta de los algoritmos para determinación de rutas más cortas puesto que empleará el mismo algoritmo en todos los escenarios de simulación. Tampoco abarca los aspectos relacionados con las interfaces para la adquisición de la información de geoposicionamiento de cada taxi por parte de la central de despacho y en los

escenarios de simulación en los que aplica se asume que la central ya cuenta con dicha información.

En la actualidad, existen 8 empresas de taxis en la ciudad de Bucaramanga, con 2 000 taxis afiliados del total de 7 206 taxis legales que circulan en la ciudad (Chío, 2012). Estos 2 000 taxis comparten un mercado cercano a los 20 000 servicios en promedio al día despachados a través de centrales de taxi (Navas Delgado, comunicación personal, 03 de julio de 2012).

Los usuarios buscan principalmente tiempos de respuesta cortos a la hora de solicitar un servicio de taxi, de tal forma que una respuesta rápida se traduce en la satisfacción del cliente y su preferencia por esa empresa frente a la competencia. En la medida en que se reciben más solicitudes de servicio así mismo resulta más atractivo para los propietarios de taxis y esto se traduce en el crecimiento de la empresa en términos de su capacidad para recibir más afiliaciones.

De tal manera que la inversión en los equipos necesarios para la implementación de un sistema moderno de despacho de taxis, una cifra cercana a un millón de pesos por cada vehículo, sólo se justifica si es posible obtener una disminución razonable en los tiempos de respuesta del servicio. En la actualidad la empresa se encuentra en el proceso de desarrollo de una plataforma propia para incorporar esta tecnología a su flota de taxis, lo que permite a futuro una fácil incorporación de las estrategias propuestas por este estudio.

En el capítulo 4. Metodología, se propone un modelo conceptual del servicio de despacho de taxis, se plantea el diseño del modelo de simulación y se define la parametrización del modelo. En este capítulo se presenta también el análisis estadístico efectuado a los datos de entrada y se establecen los supuestos del

modelo. Adicionalmente, se plantean las estrategias y se definen las condiciones para correr la simulación.

En el capítulo 5. Resultados y Discusión, se presentan los resultados obtenidos al correr la simulación para las diferentes estrategias propuestas y se analizan las posibles causas de esos resultados. Finalmente en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Establecer las estrategias de asignación que permitan mejorar los tiempos de respuesta de un sistema de despacho de taxis, empleando ventanas de tiempo ajustables según la demanda, en conjunto con otras reglas de asignación.

### **2.2 Objetivos específicos**

2.2.1 Caracterizar el sistema a través del análisis de los datos históricos y empíricos suministrados por la empresa.

2.2.2 Construir un modelo de simulación que represente el comportamiento del sistema.

2.2.3 Proponer estrategias de operación para el sistema de despacho de taxis basadas en ventanas de tiempo variables, en conjunto con otras reglas de asignación.

2.2.4 Simular la operación del sistema de despacho de taxis empleando las estrategias propuestas.

2.2.5 Analizar los resultados de la simulación y determinar la estrategia o combinación de estrategias más eficiente.

### **3. MARCO DE REFERENCIA**

#### **3.1 Antecedentes**

Bajo el enfoque actual los taxis operan a través de central de radio. Cuando un servicio de taxi es requerido, el cliente suministra su dirección a la operadora que recibe la llamada y ésta procede a verificar a través del radioteléfono quién puede tomar el servicio, los taxis que se encuentran lo suficientemente cerca se reportan a la central y el servicio es asignado a uno de ellos, lo que se hace bajo ciertas reglas tales como un tiempo máximo en que el taxi debe recoger al cliente para no ser penalizado o políticas FIFO para los taxis en espera de servicio, eventualmente la ciudad es sectorizada en cuyo caso los taxis reportan su ubicación a la central al llegar al área para que ésta los incluya en la lista de espera de dicha área (Silva & Mateus, 2003).

Desde la perspectiva del cliente, uno de los aspectos más relevantes en la calidad del servicio es el tiempo de respuesta, es decir, el tiempo que toma el taxi en llegar una vez solicitado el servicio. Por otro lado, los taxis demandan de la empresa un sistema de despacho equitativo y eficiente. Las empresas operadoras compiten por la afiliación de los taxis de tal manera que quien lidere la competencia será aquel que ofrezca el sistema de despacho de taxis más automatizado, con los mejores niveles de productividad y la mayor satisfacción del cliente (Seow, Dang, & Lee, 2010).

La convergencia de tecnologías, específicamente el internet, la comunicación inalámbrica y las tecnologías de localización (GPS) generan oportunidades de desarrollo para los servicios de transporte (Silva & Mateus, 2003). La información

de la ubicación del medio de transporte y del cliente que lo requiere, permite la aplicación de algoritmos para el cálculo de las distancias entre los mismos. La tecnología de comunicación inalámbrica y el internet llevan a que esa información de localización esté disponible para los administradores de las flotas de vehículos, quienes pueden interactuar de una mejor manera con su flota e implementar estrategias para la disminución del tiempo de respuesta. En adición, otra tecnología que se suma es el avance en materia de capacidad de cómputo o procesamiento que permite la ubicación de hardware portátil en cada vehículo con la robustez necesaria para dicha tarea.

Sin embargo esta convergencia tecnológica no genera por sí sola la disminución de los tiempos de respuesta del sistema, debe ir acompañada de algoritmos eficientes, estrategias y políticas de aplicación que permitan no sólo la disminución de los tiempos de respuesta al cliente sino también una distribución equitativa de los servicios entre los taxis, contribuyendo con ello al logro de las metas de crecimiento empresarial.

### **3.2 Marco Teórico**

El estudio de los sistemas de despacho de taxis se ha enfocado desde dos aspectos: el primero concerniente al empleo de algoritmos computacionalmente eficientes (Krishnan, 2008) y el segundo en la aplicación de estrategias de operación y de uso de la información con la que se cuenta gracias a la convergencia de tecnologías.

En el primer caso, cuando se cuenta con la información de localización se deben calcular eficientemente las distancias más cortas entre los taxis disponibles y el usuario, para lo cual existen diferentes algoritmos.

Dada la complejidad del cálculo cuando se trata de un número importante de taxis y usuarios, los algoritmos tradicionales requieren un tiempo de cómputo demasiado largo, por lo que se han propuesto heurísticas para realizar una búsqueda inicial eficiente en términos de tiempo. Se ha estudiado el algoritmo de búsqueda A\* que suministra una solución óptima y garantiza la ruta más corta, su efectividad ha sido evaluada contra otros algoritmos como el de Greedy y el de Dijkstra en términos de la distancia promedio de viaje y de tiempo computacional. (Chean Chung Lee, 2004)

En otro estudio se corrobora la eficiencia del algoritmo A\* cuando es comparado con los algoritmos de Dijkstra, Dijkstra bidireccional y búsqueda de radio. El algoritmo A\* reduce sustancialmente el desempeño en términos del tiempo computacional manteniendo un aceptable nivel de exactitud (Faramroze G. Engineer). También se plantea una modificación de A\* que involucra proyección de base de datos, re-mapeo de nodos y clasificación por bloques con indexación (Nataraj, V., & Kumar, 2011).

También se han aplicado con éxito algoritmos como el de Floyd-Warshall, el cual genera una matriz de distancias más cortas que luego es procesada, (Silva & Mateus, 2003). En este caso, tanto el algoritmo de Floyd-Warshall como el de asignación son integrados en el mismo ambiente de simulación.

Por otro lado, en lo que respecta a las estrategias de operación o reglas de asignación, los estudios coinciden en emplear la sectorización o división por áreas como forma de disminuir la carga computacional inherente al procesamiento de la información mediante algoritmos. En complemento a esto se ha planteado un enfoque de auto-organización que ajusta automáticamente las áreas adyacentes en función de su disponibilidad de taxis y la frecuencia con la cual un área recurre a otra adyacente (Alshamsi, Abdallah, & Rahwan, 2009). Sin embargo, el estudio

de Alshamsi emplea supuestos poco reales tales como el hecho de que en tiempo cero todos los taxis están vacantes o que sólo se emplee en la simulación información de llamadas exitosas.

Entre las estrategias encontradas también se ha propuesto un sistema de despacho de taxi multiagente colaborativo en el que los taxis dentro de un área negocian las carreras entre ellos para minimizar el tiempo de respuesta al cliente y las distancias recorridas (Seow, Dang, & Lee, 2010). Sin embargo, este modelo supone un sistema de transporte inteligente múltiple, es decir, una capacidad de cómputo en cada taxi y depende de la velocidad de la comunicación inalámbrica entre los mismos. En otra propuesta se plantea una ventana de tiempo en la cual se reasignan la carreras entre los taxis y los usuarios (Silva & Mateus, 2003), sin embargo esta simulación es desarrollada con usuarios móviles y la estrategia no es combinada con otras estrategias o políticas salvo por una penalización que la simulación aplica por asignar carreras al mismo móvil. En adición, los periodos de tiempo propuestos por Silva son fijos y no responden a la dinámica de la demanda en el tiempo. Con las estrategias mencionadas se han ofrecido disminuciones en los tiempos de espera entre 25% (Aamena Alshamsi, 2009) y 42% (Seow, Dang, & Lee, 2010).

En otro estudio se exploran las fuentes de ineficiencia basadas en los tiempos de ocupación del taxi y sus movimientos, teniendo en cuenta la información suministrada por el taxi mediante GPS (Santani, Balan, & Woodard, 2008), este estudio involucra los tiempos totales de ocupación del taxi que en la práctica no son controlados por la empresa de despacho de taxis.

En ambos enfoques los estudios concuerdan con el empleo de la simulación como herramienta para el análisis tanto de algoritmos como de las estrategias aplicadas, esto en razón a que resulta impráctico desplegar una nueva aproximación en una

flota real de vehículos sin estudiarla cuidadosamente en un ambiente simulado (Alshamsi, Abdallah, & Rahwan, 2009). En adición, la simulación permite explorar estrategias y experimentar el efecto de las variables en el sistema en tiempos mucho más cortos y sin interrumpir la operación de la compañía. Se han empleado técnicas de microsimulación con la herramienta especializada MITSIMLab en conjunto con una herramienta para simular la gestión del operador de taxi y otra para la ejecución de un algoritmo de asignación lineal colaborativo (Seow, Dang, & Lee, 2010).

Con el propósito de facilitar la simulación sin abordar la complejidad de ciudades enteras se han propuesto áreas euclidianas proyectando la cuadrícula sobre el mapa de una ciudad (Silva & Mateus, 2003).

El presente estudio por su parte analiza el impacto sobre los tiempos de respuesta de un sistema de despacho de taxis al emplear como estrategia principal ventanas de tiempo, es decir, la agrupación de clientes durante un periodo de tiempo con el propósito de lograr una asignación en bloque más eficiente. Esta estrategia ya había sido propuesta por (Silva & Mateus, 2003), sin embargo, la duración de la ventana de tiempo se consideró un parámetro fijo para alimentar la simulación, sin depender de la demanda. En esta investigación se estudió el efecto de ventanas de tiempo variables en función de la demanda, en conjunto con otras estrategias o reglas de asignación de taxis.

Con ese propósito, se desarrolló un modelo de simulación teniendo en cuenta que es la herramienta más ampliamente empleada en estudios similares. Se simuló el funcionamiento del sistema actual basado en datos históricos y parámetros empíricos suministrados por la empresa Radio Taxis Libres. Se tomaron los datos correspondientes a un mes de lunes a jueves dado que su comportamiento es similar, en comparación con los días viernes, sábados, domingos y festivos que

presentan mayor variabilidad. Se simuló un segundo escenario que supone que la central de despacho cuenta con la información de geoposicionamiento de los taxis y en el cual a cada usuario que llama se le asigna inmediatamente el taxi disponible más cercano. Y finalmente, en un tercer escenario se simuló el efecto de las ventanas de tiempo variables en los tiempos de respuesta, en conjunto con otras reglas de asignación.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Modelo conceptual del servicio de despacho de taxis.

El modelo se plantea de acuerdo con el sistema de despacho de taxis que actualmente funciona según la siguiente secuencia de eventos:

- El usuario hace una llamada para solicitar el servicio de taxi.
- La operadora recibe la llamada en la central de despacho y verifica la ubicación del cliente.
- La operadora informa del requerimiento a los taxis vía radioteléfono.
- Un taxi, responde vía radioteléfono a la operadora para tomar el servicio. Esta operación puede representar un tiempo adicional. El taxi que toma el servicio debe llegar al cliente dentro de un tiempo máximo que establece la empresa, para no ser penalizado.
- El taxi recoge al pasajero.

La implementación de un sistema de despacho basado en la ubicación satelital de los taxis en tiempo real genera un segundo escenario que seguiría la siguiente secuencia:

- El cliente hace una llamada para solicitar el servicio de taxi.
- El sistema identifica al cliente y su ubicación sobre un mapa.
- El sistema determina el taxi disponible más cercano al cliente y asigna el servicio.
- Se envía la información al taxi para su confirmación.
- El taxi recoge al pasajero.

Al incorporar el concepto de ventanas de tiempo para la agrupación de los usuarios se genera un tercer escenario, caso en el cual la secuencia de eventos es la siguiente:

- Un cliente hace una llamada para solicitar el servicio de taxi.
- Se inicia una ventana de tiempo.
- Se reciben llamadas adicionales para solicitar el servicio de taxi.
- Una vez transcurrido el tiempo la ventana se cierra conformando un bloque de usuarios.
- El sistema identifica los clientes y su ubicación.
- El sistema determina el taxi disponible más cercano para cada cliente y asigna el servicio.
- Se envía la información a los taxis para su confirmación.
- Los taxis recogen los pasajeros.

Los dos últimos escenarios que son los de interés para el estudio obedecen al mismo modelo conceptual, el cual se muestra en la figura 1,

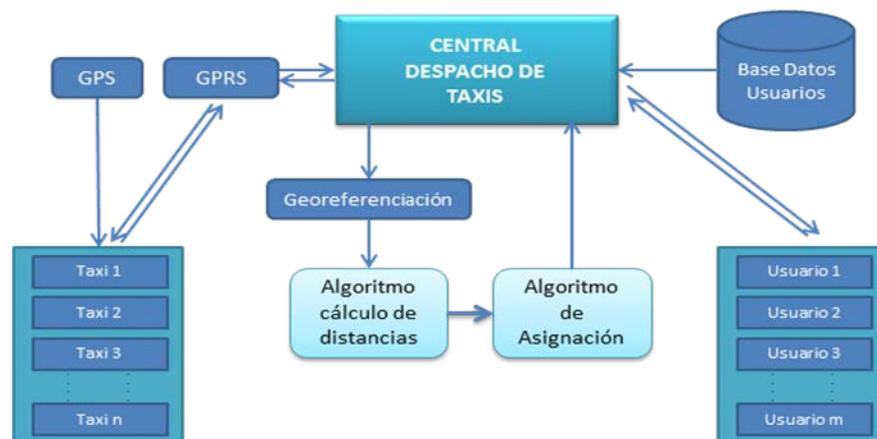


Figura 1. Diagrama de colaboración del modelo conceptual.

## **4.2 Diseño del modelo de simulación.**

El tipo de simulación aplicado en este estudio es la simulación por eventos discretos, la cual ha sido empleada exitosamente en estudios similares (Eugénie Lioris, 2011) ya que permite representar la evolución como una secuencia cronológica de eventos que para el caso del modelo están regidos por las funciones de probabilidad de las llamadas.

El modelo de simulación establece una información de entrada para su parametrización, la cual se indica en el numeral 4.3, esta información es procesada de acuerdo con los tres escenarios propuestos en el modelo conceptual y luego se generan como salida las siguientes variables de respuesta: el tiempo de respuesta, la cantidad de servicios no atendidos y la distribución de las carreras entre los taxis. La figura 2 muestra el flujograma general del modelo de simulación construido.

La ciudad es representada en una cuadrícula rectangular, lo cual permite el cálculo de las distancias entre nodos empleando distancias Manhattan, también conocida como distancia de taxi, está ha sido aplicada en modelos similares al propuesto en el estudio y en otros problemas de ruteo (Salamando, 2011)

Una vez conocidas las distancias entre los taxis disponibles y los usuarios tenemos un problema de asignación del tipo job-shop, una generalización del problema del agente viajero. El algoritmo de asignación empleado es el algoritmo de Kuhn–Munkres, también llamado algoritmo húngaro de optimización combinatoria, el cual modela un problema de asignación como una matriz de costos  $n \times m$ , donde cada elemento representa el costo de asignar el  $n$ ésimo trabajador al  $m$ ésimo trabajo. (Munkres, 1957)

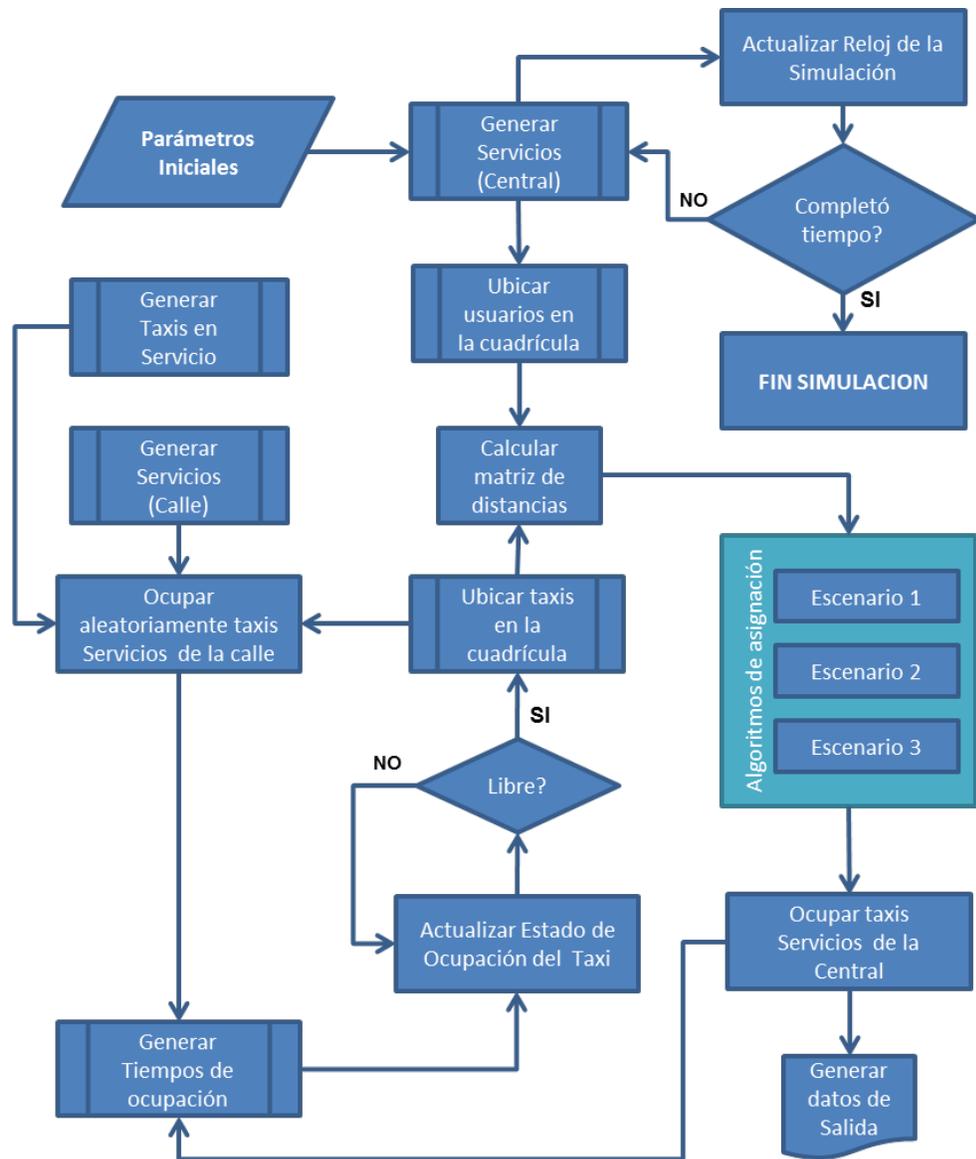


Figura 2. Flujograma general del simulador

La variable de respuesta que resulta de mayor interés en todos los escenarios es el tiempo de respuesta que se considera como el lapso de tiempo comprendido desde el momento en que el cliente hace la llamada hasta cuando el taxi recoge al pasajero.

La distribución de los servicios entre los taxis también resulta de interés, por cuanto debe ser lo más equitativa posible, es decir lo menos dispersa, una distribución desigual iría en detrimento de la satisfacción de los taxistas afiliados, por cuanto las estrategias que se empleen no deben afectar significativamente este factor. Por otro lado, el porcentaje de servicios no atendidos es una variable de respuesta que permite controlar la eficiencia del sistema, además de validar el modelo junto con el tiempo de respuesta.

### 4.3 Parámetros del Modelo.

Tamaño de la cuadrícula. Los taxis y los usuarios se ubican en una cuadrícula de 100 x 100, que representa el mapa de la ciudad, esto permite 10000 nodos posibles para su ubicación. Adicionalmente los nodos fueron divididos en tres áreas: Residencial, Intermedia y Centro, con lo que es posible controlar la probabilidad de ubicación de los taxis y los usuarios. Ver Figura 3.

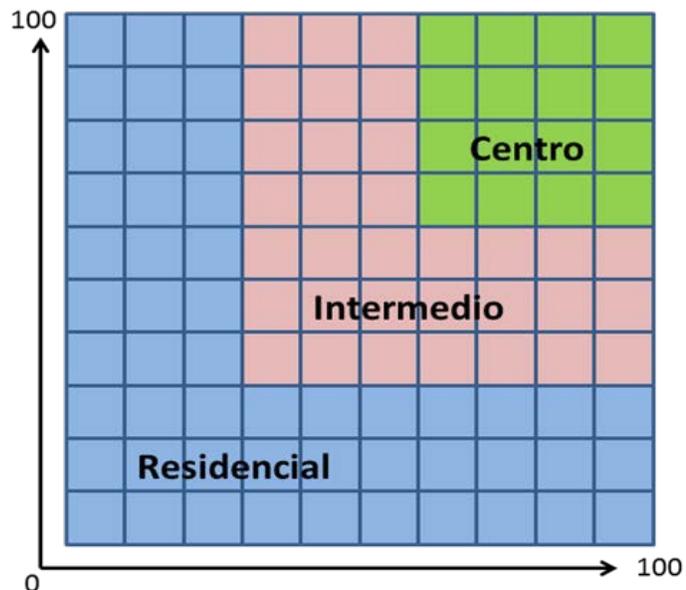


Figura 3. Cuadrícula y zonas de la ciudad.

Distancias entre nodos. Esta distancia equipara la longitud de una cuadra y su valor permite ajustar el tamaño de la cuadrícula para reproducir el área urbana de la ciudad. La longitud de los nodos permite ajustar el área total en la cual circulan los taxis que para el caso corresponde a aproximadamente 64 km<sup>2</sup> de zona urbana, del total de 1 479 km<sup>2</sup> con que cuenta el Área Metropolitana de Bucaramanga. (Alcaldía de Bucaramanga, 2010). Así mismo, este parámetro se equipara con la malla vial urbana de la ciudad de Bucaramanga que cuenta con aproximadamente 550 km de extensión (Concejo Municipal de Bucaramanga, 2012). Se incluye un parámetro de corrección que se denomina “factor de complejidad”, el cual permite ajustar los cálculos de tiempos de desplazamiento para equiparar la complejidad de la malla vial de la ciudad, absorbiendo factores como la congestión vehicular, las demoras por causa de semáforos, vías en mantenimiento y otros aspectos propios de las rutas tales como el sentido del flujo y los retornos, que pueden dificultar la movilidad sin modificar sustancialmente los valores de la longitud de los nodos.

Velocidad de circulación de los taxis. En cuanto a la velocidad de circulación algunos estudios tienen en cuenta las condiciones de tráfico incorporando los efectos de la congestión por causa de la circulación de los taxis vacíos y del tráfico normal (K.I. Wong S. W., 2001), otros estudios simplifican este aspecto asumiendo una velocidad constante de los taxis en las vías (Hai Yang, 2010). De igual manera, la velocidad promedio se definió en 30 km/h de acuerdo con estudios que indican que en horas pico la velocidad se encuentra en el orden de los 15 km/hora.

Taxis en servicio. Este parámetro indica la cantidad total de taxis afiliados a la empresa. En complemento a este requisito la simulación permite ajustar el valor del porcentaje de taxis que laboran 24 horas en dos turnos y permite establecer la

cantidad de vehículos que quedan por fuera de servicio por causa de la restricción vehicular entre las 06:00 am y las 09:00 pm. De acuerdo con la información suministrada por la empresa el 60% de los taxis laboran 24 horas y durante el horario de restricción un 20% de los taxis deja de circular.

Funciones de probabilidad para la frecuencia de las llamadas de los usuarios. Se desarrollaron con base en el análisis de los datos de llamadas suministrados por la empresa. Las funciones obtenidas se muestran en detalle en el numeral 4.4. Los datos corresponden a los días lunes, martes, miércoles y jueves de cuatro semanas del mes de septiembre de 2012. Ver Anexo 1.

Distribución del origen de las llamadas. De acuerdo con la información suministrada por la empresa la ubicación de los usuarios fue distribuida según la hora del día y las áreas definidas en la cuadrícula. Ver anexo 2.

Distribución de la ubicación de los taxis disponibles. Los taxis son distribuidos en la cuadrícula de manera uniforme empleando valores de probabilidad en proporción al área correspondiente a cada sector. Ver anexo 3

Servicios de la calle. Corresponde a la ocupación de los taxis con servicios tomados por usuarios en la calle. Representan en promedio el 60% del total de servicios prestados por cada taxi y son introducidos dentro de la simulación como funciones de probabilidad al igual que las llamadas de la central, pero con parámetros que permiten una frecuencia mayor con el mismo comportamiento.

Duración de las carreras. Este parámetro permite definir el tiempo de ocupación de los taxis una vez toman una carrera. De acuerdo con la información suministrada y su análisis estadístico la duración de las carreras se comporta

como una función de probabilidad Beta, esto se muestra en detalle en el numeral 4.4. Ver Anexo 4 con los datos de entrada.

Tiempo máximo de respuesta. Este parámetro corresponde al tiempo definido por política de la empresa como el tiempo límite en que los taxis deben recoger a los usuarios, cuando ningún taxi puede llegar por debajo de este tiempo se le informa al cliente que el servicio no puede ser atendido.

Tiempo de duración de la ventana de tiempo. La ventana de tiempo se definió en función de la demanda, la cual está asociada a las distribuciones de probabilidad que representan la frecuencia de las llamadas.

Tiempo de simulación. Cada réplica de la simulación transcurre en un tiempo de 1 440 minutos, es decir, un periodo de 24 horas, lo cual se hace teniendo en cuenta que las funciones de probabilidad de las llamadas se definieron para el mismo periodo de tiempo.

Tiempo de calentamiento. Además de inicializar con un 60% de ocupación de los taxis con servicios de la calle, el modelo de simulación corre un tiempo de calentamiento de 180 minutos para estabilizar la simulación.

#### **4.4 Análisis estadístico de los datos de entrada.**

Los datos de llamadas recibidas por la central correspondientes a los días lunes, martes, miércoles y jueves del mes de septiembre fueron analizados mediante pruebas de independencia y homogeneidad. Posteriormente, se efectuaron pruebas de bondad de ajuste para determinar la función de probabilidad correspondiente a cada intervalo de tiempo. Ver Anexos 5, 6 y 7. Las funciones de probabilidad y sus correspondientes parámetros se indican en la tabla 1.

La función de probabilidad para la duración de las carreras fue establecida con base en 161 datos de encuestas realizadas sobre duración de carreras a diferentes horas del día en la ciudad de Bucaramanga. Los datos fueron analizados mediante pruebas de independencia, homogeneidad y pruebas de bondad de ajuste. Ver Anexo 7. De acuerdo con estas pruebas, el tiempo de duración corresponde a una función de probabilidad Beta con los parámetros indicados en la tabla 2.

Tabla 1. Funciones de probabilidad para las llamadas

Desde	Hasta	Función de Probabilidad	Parámetros			
00:00	04:30	Exponencial	$\lambda=0,0441$			
04:30	08:00	GenPareto	$k=0,09493$	$\sigma=6,7396$	$\mu=0,65169$	
08:00	13:30	GenPareto	$k=0,11108$	$\sigma=12,963$	$\mu=1,1428$	
13:30	15:00	GenPareto	$k=-0,15139$	$\sigma=8,8051$	$\mu=0,26563$	
15:00	16:30	Beta	Shape=0,59791	Scale=3,6525	min=1,00	max=85,8
16:30	19:00	Lognormal	$\sigma=0,89409$	$\mu=1,521$		
19:00	22:00	GenPareto	$k=-0,00325$	$\sigma=8,7106$	$\mu=0,49302$	
22:00	24:00	Gamma	Shape=0,98674	Scale=14,464		

Tabla 2. Funciones de probabilidad para la duración de las carreras

Función de Probabilidad	Parámetros			
Beta	Shape=2,1483	Scale=9,9434	min=4,4535	max=37,823

#### 4.5 Supuestos del Modelo.

A continuación se enuncian los principales supuestos del estudio:

- El tiempo de respuesta es el tiempo transcurrido desde el momento en que el usuario llama hasta cuando el vehículo lo recoge, sin embargo la simulación sólo computa como tiempo de respuesta el tiempo que toma el taxi en llegar desde su ubicación hasta la ubicación del usuario. Para efecto de la simulación se desprecian los tiempos asociados a:
  - Tiempo para responder la llamada.
  - Tiempo para asignar el vehículo por operadora.
  - Tiempo computacional para asignar el vehículo en el sistema con GPS.
  - Tiempo para confirmar la aceptación del servicio.

Estos tiempos no se consideran dentro del modelo dado que la estrategia de mejora que se estudia sólo afecta el tiempo de desplazamiento del taxi disponible desde su ubicación hasta la del usuario.

- Se asume que los taxistas aceptarán las carreras asignadas siempre y cuando estén disponibles.
- Las vías de la ciudad se pueden simular sobre una cuadrícula rectangular y los recorridos se pueden calcular empleando distancias Manhattan, también llamadas Distancias de Taxi.
- La complejidad propia de una malla vial y todos los factores que incrementan los tiempos de desplazamiento pueden ser absorbidos mediante un factor de complejidad.
- La información sobre geoposicionamiento en un mapa se puede simular mediante el empleo de coordenadas cartesianas sobre una cuadrícula.

- Los taxis y los usuarios pueden estar ubicados en cualquier nodo de la cuadrícula y la velocidad de los vehículos en cualquier punto de la cuadrícula y hora del día es constante.
- Las carreras de la calle tienen el mismo comportamiento en cuanto a su origen y duración que las carreras tomadas por medio de la central.
- El 60% de los taxis labora 24 horas en dos turnos, y un 20% del total de taxis no circula durante la restricción vehicular de 06:00 a 21:00 horas

#### 4.6 Planteamiento de estrategias

**4.6.1 Estrategia 1: Ventanas de tiempo variables.** La principal estrategia que se propone para la disminución de los tiempos de respuesta es la asignación por bloques, es decir, la conformación de grupos con los usuarios que soliciten servicio a la Central durante una ventana de tiempo y la posterior asignación del taxi más cercano a cada usuario. Esta estrategia supone que de esta manera es posible una asignación más eficiente, como lo ilustra la figura 4.

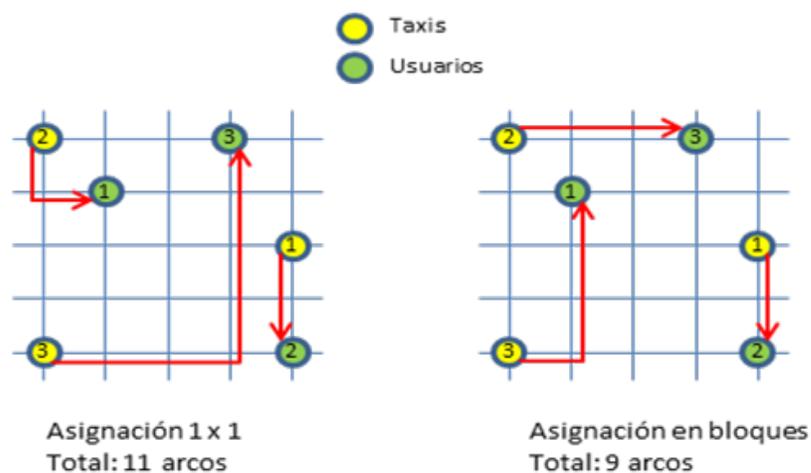


Figura 4. Representación gráfica de la estrategia de ventanas de tiempo

Sin embargo, la duración de la ventana de tiempo es un parámetro crítico, dado que el tiempo que transcurre para cada usuario a partir del momento en que llama hasta el momento en que se cierra la ventana se acumula en contra del promedio, restándole eficiencia a la estrategia y en algunos casos incrementando el tiempo de respuesta. Ver figura 5.

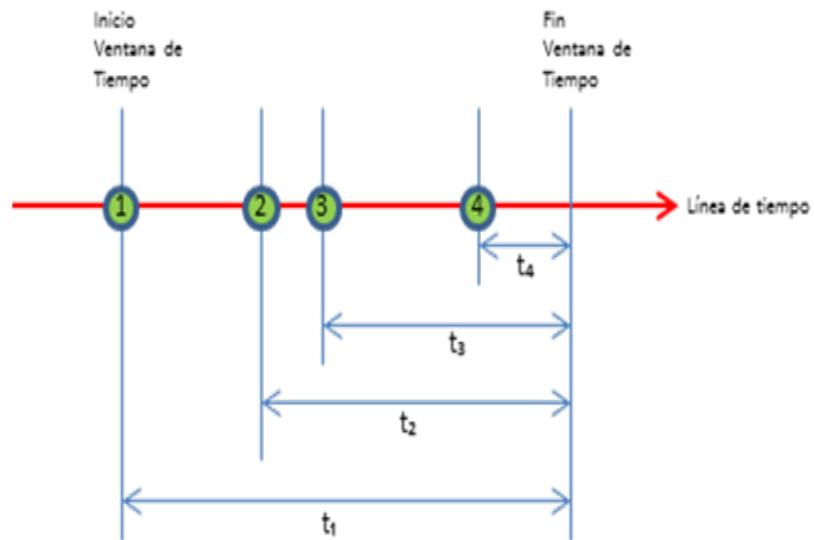


Figura 5. Acumulación de tiempos

**4.6.2 Estrategia 2: Tiempo de respuesta máximo variable.** Es el tiempo de respuesta máximo definido por la empresa como una regla antes de considerar el servicio como “No atendido”. Actualmente el tiempo de respuesta máximo es de 10 minutos, sin embargo se propone manejar tiempos de respuesta más flexibles en las horas de mayor demanda.

**4.6.3 Estrategia 3: Penalización por cantidad de carreras:** Esta regla se plantea con el propósito de contribuir a una distribución más equitativa de los servicios entre los taxis y consiste en penalizar en el algoritmo de asignación a los taxis que han acumulado un mayor número de carreras para favorecer los taxis con menos servicios.

**4.6.4 Estrategia 4: Movilización controlada de los taxis hacia zonas de mayor demanda.** Esta estrategia se basa en el hecho que si se conoce la ubicación de los taxis, es posible orientar su ubicación hacia zonas que presenten históricamente una mayor demanda.

#### **4.7 Simulación bajo el enfoque del sistema actual, ajuste de parámetros y validación del modelo.**

El sistema actual es simulado en el Escenario 1, en éste, una vez recibida la solicitud de servicio por parte del usuario e informada vía radioteléfono, cualquiera de los taxis disponibles puede tomar el servicio siempre que se encuentre dentro de un perímetro que garantice llegar hasta el usuario antes del tiempo máximo establecido por la empresa, esto teniendo en cuenta que la Central desconoce la ubicación de los taxis.

El Escenario 1 tiene como propósito validar el modelo, por lo tanto los parámetros de la simulación fueron ajustados partiendo de los datos reales hasta lograr de manera consistente una respuesta del sistema acorde con el comportamiento real de tiempos de respuesta, distribución de carreras entre taxis y porcentaje de servicios no atendidos. La tabla 3 presenta los datos obtenidos en 37 corridas para el Escenario 1.

Las medias de los tiempos de respuesta fueron comparadas para validar el modelo mediante el software StatGraphics. Ver anexo 8.

En adición el porcentaje de servicios no atendidos con un valor medio de 1,31% corresponde con el indicado por la empresa, entre 80 y 100 servicios, lo que representa entre 1,06% y 1,33% para 7 500 llamadas.

Tabla 3. Valores de tiempo de respuesta para 37 corridas.

Tiempos de respuesta Servicios no atendidos		
No.	Media	Media
1	5,28	1,37%
2	5,25	1,16%
3	5,32	1,48%
4	5,26	1,15%
5	5,26	1,16%
6	5,32	1,66%
7	5,27	1,17%
8	5,28	1,17%
9	5,26	1,32%
10	5,28	1,35%
11	5,27	1,49%
12	5,27	1,23%
13	5,26	0,99%
14	5,30	1,33%
15	5,28	1,29%
16	5,28	1,10%
17	5,28	1,25%
18	5,30	1,18%
19	5,30	1,51%
20	5,31	1,40%
21	5,31	1,51%
22	5,31	1,39%
23	5,31	1,32%
24	5,33	1,33%
25	5,30	1,35%
26	5,31	1,34%
27	5,24	1,07%
28	5,32	1,69%
29	5,28	1,09%
30	5,31	1,40%
31	5,30	1,33%
32	5,31	1,26%
33	5,31	1,32%
34	5,26	1,40%
35	5,30	1,26%
36	5,28	1,28%
37	5,25	1,40%

Mínimo	5,24	0,99%
Media	5,29	1,31%
Máximo	5,33	1,69%
DevStd	0,023935478	0,15%

Servicios por taxi (Central)		
Horario	Media	DevStd
1	8,46	2,68
2	12,05	3,02
1	8,29	2,33
2	11,95	2,92
1	8,07	2,54
2	12,12	3,04
1	8,05	2,49
2	12,05	2,95
1	7,84	2,48
2	12,11	2,90
1	8,59	2,39
2	12,19	2,97
1	8,22	2,55
2	12,02	3,16
1	8,37	2,46
2	12,10	2,96
1	8,04	2,25
2	11,91	3,20
1	8,15	2,49
2	12,27	2,87
1	8,19	2,25
2	12,06	3,20
1	8,25	2,39
2	12,07	2,99
1	8,12	2,55
2	11,70	3,02

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Resultados

Con base en la parametrización obtenida en el Escenario 1 se realizaron corridas para los Escenarios 2 y 3. Las estrategias propuestas en el estudio sólo se aplicaron al Escenario 3. Esto debido a que el propósito del Escenario 2 sólo es comparar los resultados obtenidos en el Escenario 3 al aplicar las diferentes estrategias. El Escenario 2 simula únicamente el uso de la información satelital para el cálculo de las distancias y en él la asignación se hace al taxi más cercano uno a uno en la medida en que se genera cada servicio.

La estrategia de ventanas de tiempo se implementó con base en la frecuencia de las llamadas para cada lapso durante 24 horas. Los valores de intervalos de tiempo entre llamadas para distintos porcentajes de densidad acumulada se muestran en la figura 6.

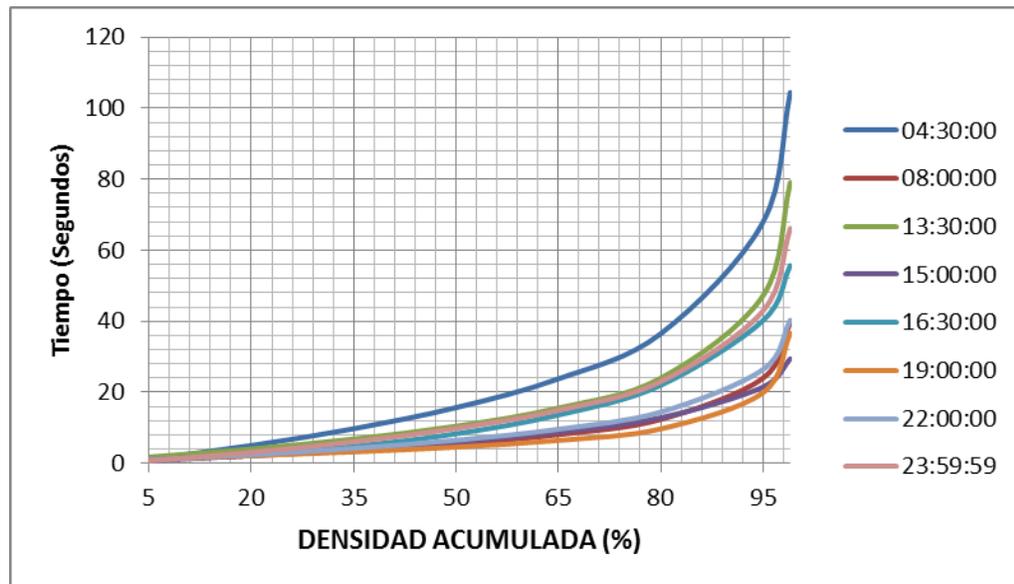


Figura 6. Gráfica de densidades acumuladas.

Se efectuaron corridas con los valores de ventana de tiempo para diferentes porcentajes de densidad acumulada, es decir, para valores de ventanas de tiempo por debajo del cual se encuentra ese porcentaje dado de datos. De igual manera, se efectuaron corridas aplicando ventanas de tiempo sólo para los periodos de mayor frecuencia de llamadas, es decir, en horas pico. Los resultados se muestran en la siguiente figura:

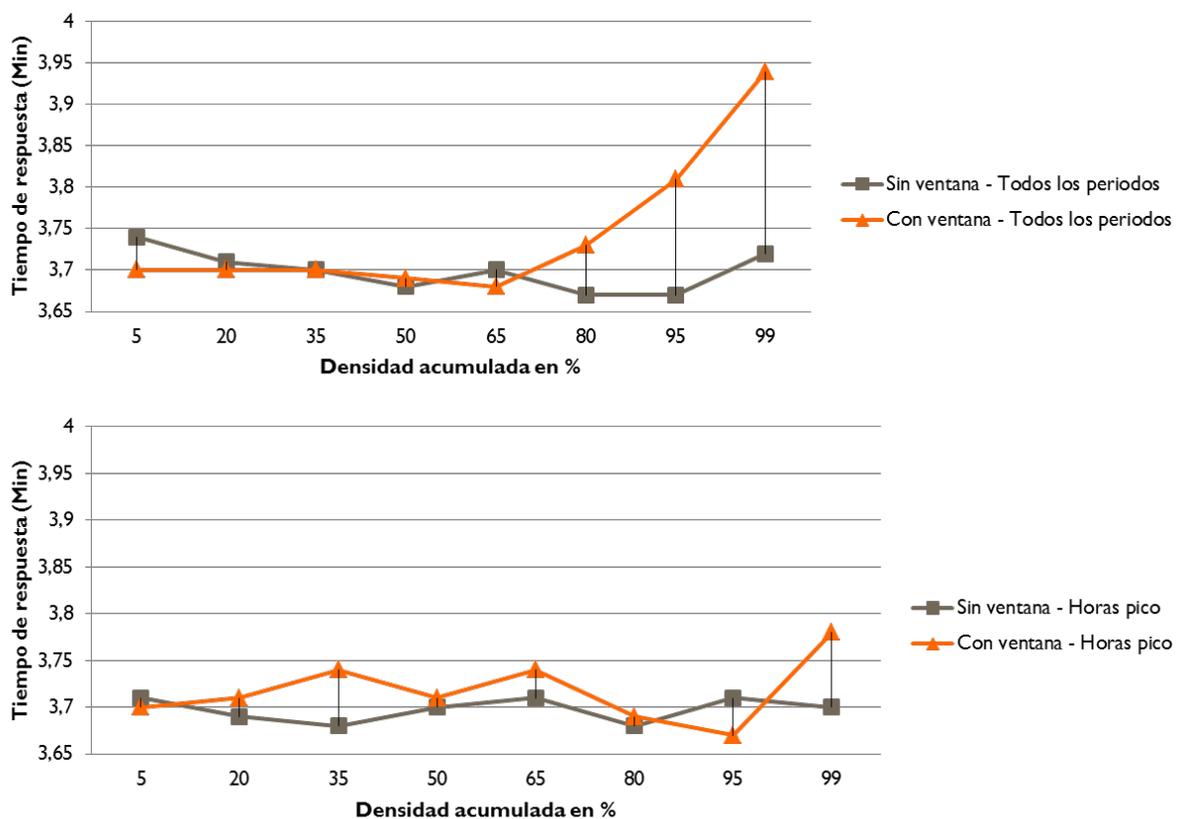


Figura 7. Curvas de tiempos de respuesta con ventanas de tiempo a diferentes valores de densidad acumulada.

En cuanto a la estrategia de flexibilizar los tiempos de respuesta máximo se corrieron simulaciones incrementando el tiempo límite para las horas de mayor

congestión, se evaluaron tiempos entre 10 y 18 minutos. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Resultados de la estrategia de tiempos de respuesta máximos.

Tiempo Máximo de Respuesta	Con GPS y Tiempos Máximos Flexibles		Sin GPS y Tiempos Máximos Flexibles	
	Tiempo de respuesta (Min)	Servicios no atendidos (%)	Tiempo de respuesta (Min)	Servicios no atendidos (%)
10	3,73	1,27%	5,28	1,31%
11	3,71	0,68%	5,57	0,70%
12	3,78	0,33%	5,89	0,42%
13	3,81	0,36%	6,2	0,36%
14	3,74	0,42%	6,44	0,41%
15	3,77	0,38%	6,72	0,33%
18	3,78	0,34%	7,71	0,44%

El comportamiento del tiempo de respuesta del sistema de despacho se incrementa notoriamente en el sistema actual, pero resulta menos sensible cuando el sistema emplea información de geoposicionamiento, esto se muestra en la figura 8.

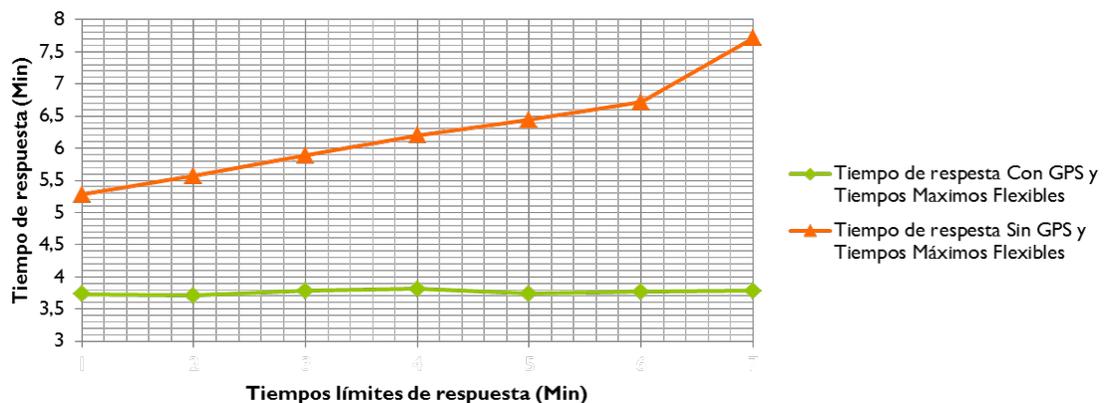


Figura 8. Efecto de la política de tiempo límite.

La estrategia de penalización fue incorporada a la simulación con el propósito de mejorar la distribución de las carreras entre los taxis. Es de aclarar que esta penalización no afecta los tiempos de respuesta y sólo incide en la decisión de

asignación. Se verificó el comportamiento del sistema con penalizaciones en incrementos sucesivos de 30 segundos a los taxis con un número de carreras superior al promedio y se generaron los siguientes resultados.

Tabla 5. Resultados de la estrategia de penalización.

Tiempo de penalización (s)	Tiempo de respuesta (s)	Promedio carreras Turno de día	Desviación Estándar	Promedio carreras Dos turnos 24 h	Desviación Estándar
0	3,66	8,07	1,91	12,01	2,45
30	3,66	8,21	1,96	11,99	2,35
60	3,68	8,16	1,97	11,93	2,30
90	3,77	8,03	1,86	11,97	2,33
120	3,77	8,08	1,58	12,00	2,16
150	3,68	8,4	1,55	12,09	2,21
180	3,81	8,12	1,55	12,06	2,13

En la siguiente gráfica se puede apreciar el efecto de las penalizaciones en la desviación estándar de la cantidad de carreras por cada taxi.

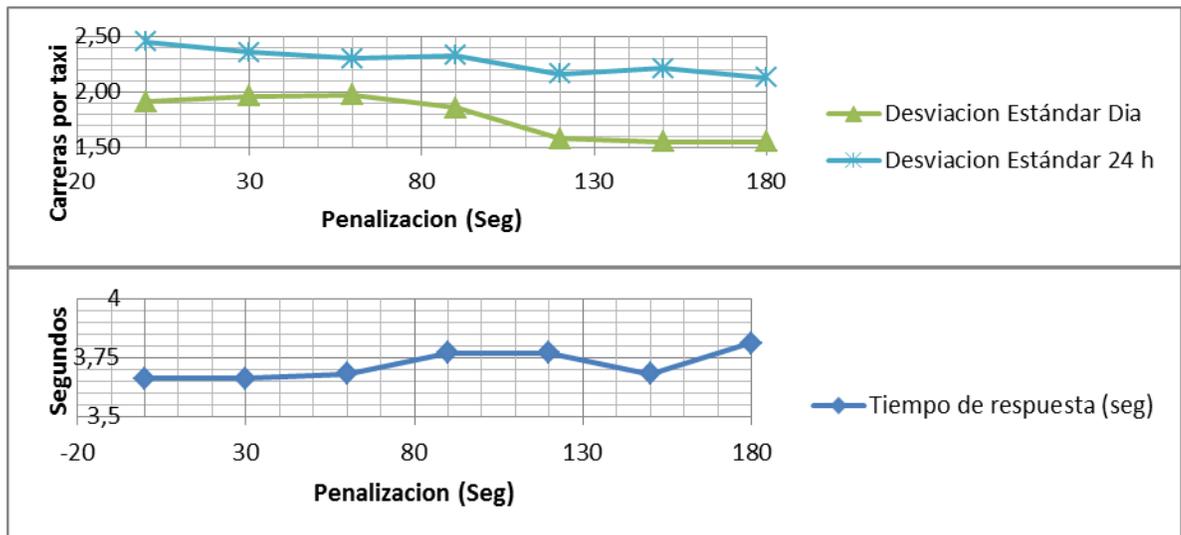


Figura 9. Efecto de las penalizaciones en la distribución de las carreras.

La estrategia 4 Movilización controlada de los taxis hacia zonas de mayor demanda, se incorporó al modelo de simulación aplicando a los taxis la misma

probabilidad de ubicación de los usuarios dentro de la cuadrícula, en lugar de la distribución uniforme que se aplicó en los demás escenarios. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados de la estrategia de reubicación de los taxis.

Ubicación de taxis con distribución uniforme		Ubicación de taxis de acuerdo a demanda prevista		
Tiempo de respuesta (Min)	Servicios no atendidos (%)	Tiempo de respuesta (Min)	Servicios no atendidos (%)	
3,7	1,38%	3,67	2,04%	
3,74	1,47%	3,65	1,94%	
3,77	0,97%	3,65	1,69%	
3,71	1,06%	3,63	1,70%	
3,7	1,32%	3,68	2,24%	
3,68	1,32%	3,66	1,87%	
3,7	1,28%	3,69	1,90%	
3,67	1,25%	3,64	1,84%	
3,67	1,30%	3,61	1,84%	
3,72	1,08%	3,64	1,66%	
		3,73	1,86%	
Media	3,706	1,243	3,65909091	1,870909
Desv Std	0,03134042	0,1568474	0,03269696	0,167

Finalmente se probó una combinación de estrategias, la cual fue implementada en el modelo introduciendo los parámetros de mejor desempeño de las estrategias anteriores, obteniéndose los resultados que se presentan en las tablas 7 y 8.

La parametrización de la estrategia corresponde a ventanas de tiempo en todos los intervalos con el valor de 5% de densidad acumulada de las funciones de probabilidad de las llamadas, tiempo máximo de respuesta de 12 minutos en horas pico, una penalización de 150 minutos para los taxis con carreras por encima de la media (9 carreras) y los mismos valores de probabilidad de ubicación en las áreas de la cuadrícula para los taxis y los usuarios.

Tabla 7. Resultados de la aplicación de las estrategias combinadas. Tiempos de respuesta

Solo GPS		Combinación de Estrategias			
Tiempo de respuesta (Min)	Servicios no atendidos (%)	Tiempo de respuesta (Min)	Servicios no atendidos (%)		
3,7	1,38%	3,76	0,94%		
3,74	1,47%	3,81	0,80%		
3,77	0,97%	3,86	0,76%		
3,71	1,06%	3,78	0,79%		
3,7	1,32%	3,75	0,89%		
3,68	1,32%	3,79	1,02%		
3,7	1,28%	3,76	0,78%		
3,67	1,25%	3,76	0,91%		
3,67	1,30%	3,75	1,09%		
3,72	1,08%	3,79	0,89%		
Promedio	3,706	1,243		3,781	0,887
Desv Std	0,03134042	0,156847413		0,03414023	0,10893933

Tabla 8. Resultados de la aplicación de las estrategias combinadas. Distribución de las carreras.

Solo GPS				Combinación de Estrategias			
Promedio carreras Turno de día	Desviación Estándar Día	Promedio carreras Dos turnos 24 h	Desviación Estándar 24 h	Promedio carreras Turno de día	Desviación Estándar Día	Promedio carreras Dos turnos 24 h	Desviación Estándar 24 h
8,26	1,90	11,70	2,32	8,36	1,77	11,84	2,31
8,35	1,97	12,12	2,39	8,06	1,67	12,20	2,22
8,15	2,01	12,27	2,30	8,11	1,53	11,98	2,24
8,27	1,82	12,19	2,48	7,99	1,53	12,05	2,25
7,86	1,93	11,96	2,29	8,09	1,72	12,13	2,21
8,43	1,91	11,98	2,44	8,25	1,70	12,01	2,50
8,39	1,89	12,07	2,44	8,01	1,66	11,94	2,31
8,25	1,79	12,13	2,39	7,78	1,72	12,13	2,33
8,27	1,96	11,88	2,36	8,03	1,62	11,93	2,18
8,53	1,99	12,25	2,35	8,23	1,63	12,20	2,34
Promedio	8,28	12,05	2,38	8,09	1,66	12,04	2,29

## 5.2 Discusión

El efecto de las ventanas de tiempo no es el esperado, aun considerando el alto número de servicios prestados. Lo cual puede deberse al hecho de que los tiempos transcurridos desde el momento en que cada usuario llama no son compensados con el beneficio de la asignación en bloque. Estos tiempos penalizan significativamente el tiempo de respuesta y éste se incrementa en la medida en que la ventana de tiempo se hace más grande (Ver figura 5). Esto se evidencia en el comportamiento mostrado en la figura 7, cuando se aplican ventanas de tiempo en todos los periodos el tiempo de respuesta se incrementa notoriamente a partir del 65% de densidad acumulada. El mismo efecto se aprecia con menos intensidad cuando las ventanas de tiempo sólo se aplican a los periodos de mayor demanda.

Para valores de ventanas de tiempo por debajo del 65% de probabilidad acumulada no hay una clara evidencia de disminución en los tiempos de respuesta. Sólo usando el valor más bajo, correspondiente al 5% de probabilidad acumulada se aprecia una pequeña diferencia en los tiempos de respuesta en favor de esta estrategia cuando se aplica en todos los intervalos de tiempo.

En lo que respecta a los resultados obtenidos con la estrategia No. 2, la cual consiste en flexibilizar los tiempos de respuesta en horas de mayor congestión, la tabla 4 permite comparar los resultados de aplicar esta estrategia en el sistema de despacho actual con el sistema de despacho propuesto que emplearía información satelital. En ambos escenarios el porcentaje de carreras no atendidas disminuye al incrementar los límites de tiempo de respuesta, sin embargo en el primer caso se genera un incremento en el tiempo de respuesta, mientras que al aplicar esta estrategia en el sistema de despacho con geoposicionamiento el tiempo de respuesta no varía significativamente. Ver figura 8. También se aprecia que a

partir del tiempo de respuesta máximo de 12 minutos el porcentaje no se estabiliza, esto es de relevancia teniendo en cuenta que una mayor espera va en detrimento de la satisfacción del usuario.

La estrategia No. 3 de penalización tiene como propósito lograr una distribución más equitativa de las carreras y este efecto puede apreciarse en la disminución de los valores de desviación estándar de la cantidad de carreras por taxi (Ver figura 9), tanto para el turno de día como para los taxis que laboran 24 horas en dos turnos, sin embargo también se aprecia un leve incremento en el tiempo de respuesta en la medida en que esta penalización se incrementa como se muestra en la tabla 5. Esto se explica porque el sistema penaliza los taxis con mayor número de carreras asignándole esas carreras a taxis que se encuentren más lejos, por lo tanto, una mayor penalización implica que serán asignados taxis que se encuentran mucho más lejos del usuario, lo que trae como consecuencia el incremento en el tiempo de respuesta. Es de aclarar que esta penalización se da en unidades de tiempo sólo para ser incorporada en el algoritmo de asignación, pero no tiene incidencia alguna en el cálculo de los tiempos de respuesta.

La cuarta estrategia se refiere a la orientación que puede darse desde la central para lograr una redistribución más adecuada de los taxis disponibles si se conoce su ubicación sobre la ciudad, con lo que se esperaría una mejora en los tiempos de respuesta. Este comportamiento se corrobora con los resultados obtenidos en la simulación mostrados en la tabla 6, sin embargo aunque hay una pequeña mejora en los tiempos de respuesta el porcentaje de servicios no atendidos se eleva considerablemente. Este efecto puede deberse al hecho de que los taxis en lugar de estar distribuidos más uniformemente se están agrupando en cercanías a las zonas de mayor demanda y como consecuencia algunos servicios solicitados en otras zonas no pueden ser cubiertos dentro de los tiempos límite.

Finalmente se compararon los Escenarios 2 y 3, ambos con información del geoposicionamiento de los taxis, el escenario 3 incorporando adicionalmente una combinación de las estrategias antes vistas. No se encontraron diferencias entre las medias de los tiempos de respuesta de los dos escenarios, sin embargo, el porcentaje de servicios no atendidos y la desviación estándar de las carreras atendidas por cada taxi presentan una diferencia favorable para la combinación de estrategias.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

Con base en las actividades realizadas dentro del proyecto es conveniente resaltar en primer lugar que en situaciones como la planteada se reivindica la importancia y validez de la simulación como herramienta para abordar escenarios que desde la práctica resultan difíciles y costosos de analizar. En este caso, la herramienta desarrollada como parte del proyecto le permite a la empresa hacer una primera aproximación a diversas situaciones antes de pasar a una escala mayor de implementación.

Se evidencia, pese a las expectativas que la asignación en bloque no mejora los tiempos de respuesta debido a la penalización implícita en el tiempo de espera. Mediante la implementación de sistemas de geoposicionamiento en conjunto con estrategias adecuadas aunque no es posible disminuir significativamente el tiempo de respuesta se mejora en un 28% los servicios no atendidos y mejora la distribución de las carreras entre taxis.

Por otro lado, la orientación de taxis hacia zonas de mayor demanda puede incrementar hasta en un 50% los servicios no atendidos sin mejorar substancialmente los tiempos de respuesta. El porcentaje de carreras no atendidas puede disminuir hasta en un 74% flexibilizando el tiempo máximo de respuesta en horas de mayor demanda, sin embargo para el escenario analizado es contraproducente si excede 12 minutos.

También se encontró una disminución cercana al 30% en el tiempo de respuesta con la implementación de sistemas de geoposicionamiento que concuerda con la literatura (25 a 40%).

## **6.2 Recomendaciones**

Para futuros estudios sobre este campo se recomienda incorporar dentro del modelo información respecto al origen de las llamadas y la ubicación de los taxis basado en datos reales, los cuales pueden diferir de los supuestos planteados en este estudio, así como su análisis en un contexto dinámico.

Aunque este estudio se centró en el tiempo asociado al desplazamiento del taxi hasta el usuario, es de interés determinar qué otros tiempos inciden en la rapidez de respuesta del servicio y cómo se pueden mejorar.

En cuanto a la implementación de las estrategias se debe vigilar cuidadosamente los efectos que producen en el sistema puesto que todas las variables están relacionadas y se ven afectadas al modificar la parametrización.

Si bien los tiempos de respuesta al usuario que solicita el servicio son importantes, no debe dejarse de lado la satisfacción de los propietarios de taxis afiliados a la empresa, que puede mejorar con una distribución más equitativa de las llamadas, por lo tanto las estrategias que contribuyan a este aspecto deben ser incorporadas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Bucaramanga, O. A. (2010). Plan de Ordenamiento Territorial. Bucaramanga.
- Alshamsi, A., Abdallah, S., & Rahwan, I. (2009). Multiagent Self-organization for a Taxi Dispatch System. Proc. of 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. Budapest, Hungary: Decker, Sichman, Sierra and Castelfranchi.
- Chean Chung, L. (2004). GPS Taxi dispatch system based on A\* shortest path algorithm. Department of Transportation and Logistics.
- Chío, J. C. (2012, Mayo 22). "Es posible que todos los taxis pasen a ser metropolitanos". Vanguardia. p1.
- Concejo Municipal de Bucaramanga. (2012). Acuerdo No.14 Plan de Desarrollo de Bucaramanga. Bucaramanga.
- Eugénie Lioris, G. C. (2011). Optimal Real Time Management and Performance Appraisal by a Discrete Event Simulation Model. International Journal on Advances in System and Measurements, 4.
- Faramroze, E. (n.d.). Fast shortest path algorithms for large road networks. Department of Engineering Science, University of Auckland, New Zealand.
- Hai Yang, C. W. (2010). Equilibria of bilateral taxi–customer searching and meeting on networks. Transportation Research Part B-Methodological, 203-210.
- K.I. Wong, S. W. (2001). Modeling urban taxi services in congested road networks with elastic demand. Transportation Research Part B-Methodological, 35, 819-842.

- K.I. Wong, S. W. (2008). Modeling urban taxi services with multiple user classes and vehicle modes. *TRANSPORTATION RESEARCH PART B-METHODOLOGICAL*, 42, 985-1007.
- Krishnan, S. (2008). Thesis Simulation on Service Vehicle Dispatching. University of Toronto: Department of Mechanical and Industrial Engineering.
- Munkres, J. (1957). Algorithms for the Assignment and Transportation Problems. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 32-38.
- Nataraj, R., V., S., & Kumar, V. S. (2011). An efficient GPS based vehicle routing algorithm for shortest path finding in real road networks. *National Journal of Technology*, Vol. 7 No. 3, pp.11-17.
- Salamando, A. (2011). Modelo de ruteo de cuadrillas de suspensión y reconexión de energia en Bogotá. Bogotá: Biblioteca Universidad de la Sabana.
- Santani, D., Balan, R. k., & Woodard, C. J. (2008). Undersatanding and improving a GPS-Based taxi system. 6a. USENIX International Conference on Mobile System. Breckenridge, Colorado.
- Seow, K. T., & Dang, N. H. (2010). A collaborative multiagent taxi-dispath system. *Automation Science and Engineering*, 607-616.
- Silva, A. P., & Mateus, G. R. (2003). A Location-Based service application for a mobile computing enviromento. *Society for Modeling and Simulation International*, 343-360.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Horas de llamadas de usuarios.

Dia1	Dia2	Dia3	Dia4	Dia5	Dia6	Dia7	Dia8	Dia9	Dia10	Dia11	Dia12	Dia13	Dia14	Dia15	Dia16
03/09/12	04/09/12	05/09/12	06/09/12	10/09/12	11/09/12	12/09/12	13/09/12	17/09/12	18/09/12	19/09/12	20/09/12	24/09/12	25/09/12	26/09/12	27/09/12
00:00:20	00:00:18	00:00:16	00:00:11	00:00:08	00:00:18	00:00:13	00:00:42	00:00:11	00:00:28	00:00:09	00:00:08	00:00:02	00:00:15	00:00:16	00:00:08
00:00:48	00:00:21	00:00:22	00:00:43	00:00:48	00:00:51	00:00:46	00:01:19	00:00:12	00:00:38	00:00:14	00:00:20	00:00:15	00:00:15	00:00:17	00:00:12
00:00:50	00:00:48	00:00:30	00:01:15	00:01:00	00:01:07	00:01:13	00:01:20	00:00:25	00:01:22	00:00:16	00:00:37	00:00:25	00:00:31	00:00:29	00:00:14
00:01:00	00:00:52	00:00:32	00:01:27	00:01:03	00:01:12	00:01:43	00:01:34	00:00:34	00:01:37	00:00:22	00:00:38	00:00:30	00:00:47	00:00:34	00:00:26
00:01:05	00:01:44	00:00:38	00:01:28	00:01:14	00:01:27	00:01:50	00:01:39	00:00:51	00:01:39	00:00:38	00:00:50	00:01:11	00:01:12	00:00:55	00:01:18
00:01:12	00:02:19	00:00:53	00:01:46	00:01:28	00:01:34	00:01:52	00:01:44	00:01:04	00:02:23	00:00:44	00:01:35	00:01:25	00:01:33	00:01:22	00:01:20
00:01:23	00:02:30	00:00:57	00:02:00	00:01:35	00:01:44	00:01:57	00:01:56	00:01:06	00:02:50	00:01:29	00:01:41	00:01:39	00:02:40	00:01:35	00:02:31
00:01:54	00:02:47	00:01:28	00:02:19	00:01:44	00:02:00	00:02:16	00:02:01	00:01:16	00:02:51	00:01:54	00:02:23	00:02:14	00:03:25	00:01:37	00:02:42
00:01:55	00:02:56	00:01:48	00:02:42	00:01:47	00:02:08	00:02:45	00:02:24	00:01:24	00:03:18	00:02:06	00:02:25	00:02:21	00:03:28	00:01:48	00:03:21
00:02:13	00:03:08	00:01:50	00:02:44	00:02:14	00:02:12	00:02:38	00:02:38	00:01:27	00:03:26	00:02:44	00:02:31	00:02:30	00:03:57	00:02:03	00:03:27
00:03:01	00:03:19	00:02:01	00:03:35	00:02:15	00:02:24	00:03:09	00:02:49	00:01:30	00:03:49	00:02:52	00:03:32	00:02:48	00:04:02	00:02:05	00:03:38
00:03:13	00:03:38	00:02:22	00:03:38	00:02:21	00:02:51	00:03:21	00:03:11	00:01:34	00:03:57	00:02:59	00:03:52	00:03:20	00:04:32	00:02:11	00:03:45
00:03:26	00:03:50	00:02:29	00:04:14	00:02:33	00:02:55	00:03:38	00:03:12	00:01:44	00:04:41	00:03:14	00:04:03	00:03:51	00:04:36	00:02:17	00:03:57
00:03:32	00:03:51	00:02:34	00:04:30	00:02:57	00:03:12	00:03:48	00:03:23	00:02:01	00:05:02	00:03:24	00:04:09	00:04:04	00:05:03	00:02:22	00:04:04
00:03:38	00:03:53	00:02:42	00:04:33	00:03:02	00:03:14	00:04:11	00:03:30	00:02:08	00:05:04	00:03:39	00:04:12	00:04:25	00:05:19	00:02:38	00:04:21
00:03:43	00:03:57	00:03:06	00:04:39	00:03:22	00:03:19	00:04:18	00:03:46	00:02:13	00:05:22	00:03:45	00:04:34	00:04:29	00:05:36	00:03:25	00:04:37
00:04:03	00:04:23	00:03:49	00:04:50	00:04:04	00:03:24	00:04:34	00:03:56	00:02:38	00:05:33	00:04:18	00:04:50	00:04:31	00:05:39	00:03:34	00:04:54
00:04:14	00:04:30	00:03:56	00:05:02	00:04:28	00:03:51	00:05:00	00:04:00	00:02:46	00:05:42	00:04:36	00:04:51	00:05:26	00:05:56	00:03:54	00:05:05
00:04:54	00:04:42	00:04:03	00:05:29	00:04:38	00:05:13	00:05:06	00:04:29	00:03:20	00:05:54	00:04:45	00:05:06	00:05:37	00:06:18	00:04:29	00:05:16
00:05:19	00:04:48	00:04:24	00:06:37	00:04:41	00:05:41	00:05:08	00:04:41	00:03:22	00:06:04	00:05:00	00:05:17	00:05:53	00:06:22	00:04:37	00:05:32
00:05:30	00:05:01	00:04:33	00:06:38	00:04:44	00:05:43	00:05:28	00:04:46	00:03:31	00:06:05	00:05:12	00:05:32	00:05:58	00:06:37	00:05:17	00:05:34
00:05:38	00:05:10	00:04:35	00:07:04	00:04:45	00:06:05	00:05:32	00:06:22	00:03:37	00:06:17	00:05:27	00:05:38	00:06:07	00:07:09	00:05:32	00:05:37
00:06:14	00:05:27	00:04:57	00:07:25	00:04:47	00:06:14	00:05:34	00:06:54	00:04:29	00:06:30	00:06:15	00:05:52	00:06:39	00:07:16	00:05:47	00:06:27
00:06:44	00:05:58	00:05:00	00:07:48	00:04:53	00:06:21	00:05:37	00:07:09	00:05:45	00:06:37	00:06:20	00:06:22	00:07:22	00:07:23	00:05:50	00:06:41
00:07:04	00:06:01	00:05:16	00:07:55	00:05:10	00:06:37	00:05:39	00:07:10	00:06:00	00:06:47	00:06:46	00:06:28	00:07:29	00:07:34	00:06:00	00:06:43
00:07:11	00:06:13	00:05:40	00:08:07	00:05:13	00:06:39	00:06:29	00:07:24	00:06:35	00:06:49	00:07:01	00:07:14	00:07:52	00:07:46	00:06:06	00:07:24
00:07:13	00:06:37	00:06:11	00:08:09	00:05:17	00:06:55	00:06:36	00:08:28	00:07:04	00:07:13	00:07:22	00:07:15	00:08:00	00:07:48	00:06:21	00:07:32
00:07:27	00:06:38	00:06:16	00:08:12	00:05:34	00:07:03	00:06:38	00:09:04	00:07:10	00:07:29	00:07:29	00:07:17	00:08:01	00:08:07	00:06:39	00:07:35
00:07:52	00:06:43	00:06:17	00:08:22	00:05:41	00:07:29	00:06:41	00:09:55	00:07:20	00:07:46	00:07:43	00:07:46	00:08:07	00:08:17	00:07:00	00:07:48
00:08:14	00:06:49	00:07:09	00:08:23	00:06:13	00:07:43	00:06:46	00:10:09	00:07:40	00:08:27	00:08:10	00:07:52	00:08:21	00:08:20	00:07:05	00:08:19
00:08:26	00:06:56	00:07:26	00:08:28	00:06:19	00:08:11	00:07:14	00:10:11	00:07:42	00:08:30	00:08:13	00:08:05	00:09:03	00:08:22	00:07:06	00:08:21
00:08:33	00:07:14	00:07:40	00:08:41	00:06:38	00:08:15	00:07:42	00:10:17	00:07:43	00:08:41	00:08:21	00:08:25	00:09:32	00:08:29	00:07:09	00:08:24
00:09:26	00:07:31	00:07:51	00:09:11	00:07:02	00:08:50	00:08:11	00:10:33	00:08:27	00:09:02	00:09:12	00:08:26	00:09:33	00:09:24	00:07:24	00:08:33
00:09:33	00:08:25	00:07:52	00:09:59	00:07:30	00:09:00	00:08:25	00:10:36	00:08:31	00:09:08	00:09:21	00:08:44	00:09:45	00:09:35	00:07:47	00:08:40
00:09:35	00:09:46	00:08:15	00:10:01	00:08:36	00:09:01	00:08:41	00:10:38	00:08:45	00:10:16	00:09:33	00:09:02	00:09:49	00:09:45	00:08:08	00:09:06
00:10:00	00:09:48	00:08:31	00:10:16	00:09:19	00:09:23	00:08:56	00:10:57	00:08:55	00:10:24	00:09:46	00:09:07	00:10:07	00:09:51	00:08:47	00:09:10
00:10:07	00:10:15	00:08:51	00:10:20	00:09:28	00:09:27	00:09:25	00:11:16	00:09:03	00:10:38	00:10:01	00:09:32	00:10:19	00:09:55	00:08:50	00:09:23
00:10:08	00:10:16	00:09:02	00:10:21	00:09:29	00:09:39	00:09:39	00:11:33	00:09:10	00:10:40	00:10:19	00:10:11	00:10:43	00:11:03	00:10:40	00:09:42
00:10:15	00:10:22	00:09:05	00:10:25	00:10:36	00:10:05	00:09:48	00:11:56	00:09:13	00:11:13	00:10:26	00:10:45	00:11:17	00:11:08	00:10:47	00:10:30
00:10:55	00:10:30	00:09:36	00:10:45	00:10:41	00:10:06	00:10:03	00:11:57	00:09:26	00:11:40	00:10:39	00:11:04	00:11:34	00:11:18	00:10:59	00:11:00
00:11:15	00:10:31	00:09:42	00:11:09	00:11:08	00:10:19	00:10:10	00:12:03	00:10:27	00:11:41	00:10:47	00:11:10	00:11:37	00:11:28	00:11:04	00:11:03
00:11:29	00:10:46	00:09:56	00:11:50	00:11:43	00:10:31	00:10:39	00:12:13	00:10:28	00:11:42	00:11:00	00:11:13	00:11:50	00:11:51	00:11:33	00:11:34
00:11:30	00:10:59	00:10:08	00:12:01	00:12:04	00:10:34	00:11:21	00:13:19	00:10:48	00:11:46	00:11:04	00:11:22	00:12:30	00:12:11	00:11:40	00:11:47
00:12:03	00:11:04	00:10:51	00:12:03	00:12:11	00:10:35	00:11:41	00:13:31	00:10:53	00:11:47	00:11:34	00:11:24	00:12:57	00:12:30	00:12:05	00:12:00
00:12:34	00:11:16	00:10:53	00:12:37	00:12:24	00:10:42	00:11:58	00:13:41	00:11:12	00:12:04	00:11:37	00:11:44	00:13:16	00:13:00	00:12:11	00:12:03
00:12:52	00:11:46	00:11:01	00:12:43	00:12:39	00:10:50	00:12:05	00:13:56	00:11:22	00:12:17	00:11:53	00:11:45	00:13:32	00:14:00	00:12:19	00:12:06
00:12:53	00:12:00	00:11:30	00:12:50	00:12:59	00:11:12	00:12:16	00:15:16	00:11:28	00:12:52	00:11:58	00:12:03	00:13:37	00:14:36	00:12:37	00:12:34
00:13:02	00:12:06	00:11:31	00:12:55	00:13:01	00:11:17	00:12:19	00:15:19	00:11:43	00:13:17	00:12:00	00:13:05	00:14:18	00:14:37	00:12:46	00:12:39
00:13:28	00:12:14	00:12:41	00:13:04	00:13:17	00:11:49	00:14:22	00:16:01	00:12:09	00:13:18	00:12:11	00:13:15	00:14:23	00:14:43	00:12:47	00:12:41
00:13:41	00:12:17	00:12:49	00:13:31	00:14:24	00:12:28	00:14:32	00:16:16	00:12:13	00:13:20	00:12:13	00:13:18	00:15:20	00:15:36	00:12:49	00:12:48
00:14:43	00:13:07	00:12:50	00:13:43	00:15:00	00:12:32	00:14:48	00:16:21	00:12:16	00:13:23	00:12:30	00:13:27	00:15:33	00:16:03	00:13:24	00:12:51
00:15:06	00:13:13	00:13:15	00:14:05	00:15:12	00:12:43	00:14:50	00:16:26	00:12:30	00:13:29	00:12:33	00:13:33	00:15:34	00:16:27	00:13:30	00:12:52
00:15:25	00:13:16	00:13:27	00:14:16	00:15:39	00:12:51	00:14:53	00:16:54	00:12:31	00:14:02	00:12:41	00:13:51	00:16:20	00:16:28	00:13:44	00:12:53
00:15:56	00:13:24	00:13:45	00:14:17	00:15:54	00:13:13	00:14:56	00:17:00	00:13:07	00:14:40	00:12:43	00:13:52	00:16:27	00:16:47	00:13:52	00:13:07
00:16:25	00:13:30	00:13:46	00:14:42	00:16:14	00:13:18	00:15:04	00:17:13	00:13:11	00:14:47	00:12:49	00:14:12	00:16:36	00:17:02	00:13:56	00:13:56
00:16:40	00:13:38	00:14:08	00:15:11	00:16:23	00:14:02	00:15:18	00:17:18	00:13:23	00:15:09	00:12:51	00:14:30	00:16:37	0		

00:17:04	00:15:12	00:14:22	00:16:54	00:18:07	00:14:16	00:16:02	00:17:25	00:14:21	00:15:36	00:13:19	00:14:49	00:17:03	00:17:40	00:14:30	00:15:10
00:17:25	00:15:15	00:15:10	00:16:57	00:18:43	00:14:51	00:16:35	00:17:41	00:14:36	00:15:42	00:13:29	00:14:52	00:17:30	00:17:44	00:14:31	00:15:14
00:17:54	00:15:25	00:15:56	00:17:15	00:18:58	00:14:52	00:16:40	00:18:18	00:14:56	00:15:46	00:13:30	00:15:00	00:18:04	00:18:19	00:14:48	00:15:22
00:18:50	00:15:36	00:16:50	00:17:34	00:19:05	00:15:09	00:16:59	00:18:34	00:15:33	00:15:58	00:13:36	00:15:46	00:18:13	00:18:50	00:15:49	00:16:38
00:19:03	00:17:14	00:17:50	00:17:54	00:19:09	00:15:17	00:17:02	00:18:47	00:15:57	00:16:01	00:13:52	00:15:50	00:18:18	00:18:54	00:16:30	00:16:42
00:19:24	00:17:22	00:18:15	00:18:00	00:19:14	00:16:37	00:17:56	00:18:56	00:16:13	00:16:09	00:13:55	00:17:00	00:18:27	00:18:58	00:16:35	00:16:44
00:19:34	00:17:35	00:18:22	00:19:10	00:19:44	00:16:52	00:18:11	00:18:57	00:16:20	00:17:28	00:13:58	00:17:07	00:18:44	00:19:38	00:17:19	00:17:31
00:20:32	00:17:51	00:18:43	00:19:20	00:20:17	00:16:55	00:18:12	00:19:24	00:16:30	00:17:51	00:14:12	00:17:15	00:18:52	00:19:45	00:17:27	00:17:34
00:20:45	00:17:54	00:18:48	00:19:35	00:20:21	00:16:59	00:18:24	00:20:15	00:16:45	00:18:08	00:14:23	00:17:23	00:18:54	00:20:22	00:18:02	00:17:45
00:20:59	00:17:59	00:18:58	00:19:53	00:21:16	00:17:02	00:18:36	00:20:26	00:17:01	00:18:12	00:14:24	00:18:22	00:19:20	00:20:35	00:18:16	00:18:24
00:21:08	00:18:04	00:19:00	00:20:02	00:21:24	00:17:42	00:19:33	00:21:21	00:17:07	00:18:27	00:14:31	00:18:35	00:19:22	00:21:26	00:18:47	00:18:38
00:21:31	00:18:27	00:19:09	00:21:32	00:22:08	00:18:05	00:19:45	00:21:31	00:17:30	00:18:28	00:14:39	00:18:41	00:19:41	00:21:28	00:18:57	00:20:05
00:22:08	00:19:37	00:19:10	00:21:43	00:22:10	00:18:12	00:19:49	00:21:39	00:17:36	00:18:36	00:14:56	00:19:40	00:20:01	00:21:39	00:19:02	00:20:17
00:22:13	00:20:31	00:19:18	00:22:12	00:23:03	00:18:30	00:20:03	00:21:54	00:18:12	00:18:37	00:15:19	00:19:44	00:20:02	00:22:03	00:19:52	00:20:25
00:22:25	00:20:54	00:19:27	00:22:13	00:23:05	00:18:41	00:20:43	00:22:33	00:18:15	00:18:41	00:16:16	00:19:46	00:20:03	00:22:10	00:20:08	00:20:35
00:23:04	00:21:00	00:19:29	00:22:22	00:23:12	00:18:51	00:21:14	00:22:42	00:18:39	00:18:48	00:16:32	00:20:25	00:20:21	00:22:17	00:20:44	00:20:54
00:23:19	00:21:04	00:20:59	00:22:44	00:23:15	00:19:20	00:21:41	00:23:02	00:18:51	00:19:09	00:17:23	00:20:34	00:20:45	00:22:28	00:20:51	00:20:55
00:23:32	00:21:14	00:21:32	00:23:08	00:23:16	00:19:25	00:21:51	00:23:08	00:19:31	00:19:57	00:18:09	00:20:47	00:21:03	00:22:31	00:20:55	00:21:06
00:24:29	00:21:37	00:21:42	00:23:11	00:24:25	00:19:58	00:22:07	00:23:11	00:19:37	00:20:05	00:18:30	00:21:16	00:21:16	00:22:40	00:21:05	00:21:13
00:24:44	00:21:38	00:21:46	00:23:12	00:24:59	00:20:15	00:22:41	00:23:20	00:19:45	00:20:23	00:19:01	00:21:37	00:21:22	00:23:40	00:21:07	00:21:26
00:25:28	00:21:57	00:21:50	00:23:21	00:25:08	00:20:16	00:23:00	00:23:36	00:20:07	00:20:43	00:19:19	00:21:57	00:21:23	00:23:49	00:21:10	00:21:56
00:25:45	00:21:59	00:22:03	00:24:16	00:25:18	00:20:20	00:23:04	00:23:46	00:20:12	00:20:58	00:19:26	00:22:09	00:21:34	00:24:10	00:21:21	00:22:11
00:26:04	00:22:32	00:22:47	00:24:38	00:25:42	00:20:35	00:23:19	00:23:51	00:20:26	00:21:11	00:20:10	00:22:19	00:21:38	00:24:36	00:22:00	00:22:25
00:26:12	00:22:55	00:23:01	00:25:43	00:25:55	00:21:20	00:23:42	00:24:10	00:20:40	00:21:16	00:20:15	00:22:24	00:22:00	00:25:48	00:22:31	00:22:26
00:26:19	00:23:28	00:24:18	00:26:08	00:26:34	00:21:32	00:23:44	00:24:14	00:20:45	00:21:36	00:20:34	00:23:49	00:23:24	00:26:26	00:22:34	00:22:27
00:26:21	00:23:42	00:24:44	00:26:17	00:27:06	00:22:23	00:23:51	00:24:34	00:20:51	00:22:15	00:21:28	00:24:10	00:24:03	00:26:33	00:22:51	00:22:51
00:26:38	00:23:43	00:24:47	00:26:22	00:27:20	00:22:28	00:24:08	00:24:48	00:21:13	00:22:24	00:21:37	00:24:35	00:24:27	00:28:22	00:23:02	00:22:52
00:26:50	00:23:50	00:24:55	00:26:47	00:27:31	00:23:10	00:25:47	00:25:07	00:21:58	00:22:33	00:22:04	00:25:04	00:24:30	00:28:47	00:23:22	00:23:01
00:27:54	00:24:00	00:25:03	00:26:48	00:27:42	00:23:28	00:26:02	00:25:14	00:21:59	00:22:56	00:22:10	00:26:12	00:24:31	00:29:17	00:23:33	00:23:50
00:28:06	00:24:33	00:25:23	00:27:45	00:27:50	00:23:31	00:26:06	00:25:56	00:22:23	00:22:59	00:22:12	00:26:13	00:24:34	00:29:28	00:24:13	00:23:55
00:28:11	00:24:45	00:25:47	00:28:31	00:29:14	00:23:39	00:26:14	00:26:28	00:22:29	00:23:28	00:23:10	00:26:25	00:24:41	00:29:45	00:24:14	00:24:27
00:28:31	00:25:13	00:25:51	00:28:40	00:30:07	00:23:43	00:26:26	00:26:35	00:22:33	00:23:33	00:23:14	00:26:28	00:24:44	00:29:58	00:24:39	00:24:34
00:28:38	00:25:20	00:26:25	00:29:06	00:31:16	00:23:47	00:26:29	00:26:44	00:23:20	00:23:48	00:23:15	00:26:51	00:25:03	00:30:12	00:24:47	00:25:06
00:30:13	00:25:30	00:26:28	00:29:13	00:31:37	00:24:44	00:26:33	00:26:46	00:23:39	00:24:08	00:23:18	00:27:09	00:25:05	00:30:36	00:25:09	00:25:29
00:32:06	00:25:39	00:26:34	00:29:16	00:32:15	00:26:50	00:27:10	00:26:59	00:24:35	00:24:43	00:23:25	00:27:10	00:25:08	00:30:45	00:25:23	00:25:44
00:32:34	00:26:54	00:26:40	00:30:31	00:32:59	00:28:40	00:27:33	00:27:23	00:24:44	00:24:44	00:23:55	00:27:14	00:25:24	00:30:48	00:25:27	00:25:49
00:32:55	00:26:55	00:26:51	00:31:40	00:33:20	00:28:50	00:27:34	00:27:24	00:25:01	00:24:57	00:24:04	00:27:26	00:25:31	00:30:52	00:25:41	00:26:03
00:33:05	00:28:33	00:27:29	00:31:50	00:33:53	00:29:02	00:27:52	00:27:43	00:25:25	00:25:12	00:24:15	00:27:40	00:25:44	00:31:11	00:25:47	00:26:23
00:33:07	00:28:58	00:27:58	00:31:53	00:34:10	00:29:26	00:27:56	00:27:55	00:25:45	00:25:20	00:24:21	00:28:20	00:26:20	00:31:13	00:26:09	00:26:32
00:33:22	00:29:24	00:28:06	00:31:54	00:34:43	00:29:56	00:28:18	00:28:02	00:25:55	00:25:33	00:24:32	00:28:45	00:26:27	00:31:48	00:26:13	00:26:37
00:34:49	00:29:28	00:28:31	00:32:25	00:34:49	00:30:51	00:28:32	00:28:06	00:25:59	00:25:43	00:24:35	00:28:53	00:26:44	00:31:54	00:26:55	00:26:44
00:35:16	00:29:56	00:28:34	00:33:05	00:35:47	00:32:42	00:28:36	00:28:20	00:26:29	00:25:45	00:25:00	00:29:23	00:26:45	00:33:29	00:27:03	00:26:47
00:35:18	00:30:25	00:29:12	00:33:54	00:36:16	00:32:54	00:28:39	00:29:09	00:27:02	00:25:54	00:26:03	00:29:33	00:27:40	00:34:30	00:27:05	00:27:09
00:35:20	00:31:08	00:29:38	00:33:57	00:37:34	00:33:03	00:28:53	00:29:46	00:27:10	00:26:28	00:26:12	00:29:44	00:28:32	00:34:58	00:27:29	00:27:13
00:36:48	00:31:49	00:30:46	00:34:00	00:37:35	00:33:08	00:30:24	00:29:49	00:27:22	00:26:33	00:26:31	00:29:52	00:28:46	00:34:59	00:27:48	00:27:19
00:37:03	00:32:42	00:30:56	00:34:31	00:38:41	00:33:38	00:30:48	00:30:02	00:27:26	00:26:36	00:27:15	00:29:53	00:28:51	00:35:27	00:28:31	00:27:22
00:38:33	00:32:53	00:31:24	00:36:00	00:38:48	00:33:46	00:31:19	00:30:15	00:27:33	00:26:51	00:27:20	00:32:01	00:28:53	00:35:46	00:28:42	00:27:30
00:39:10	00:32:55	00:32:21	00:36:05	00:39:02	00:33:49	00:31:43	00:31:04	00:27:35	00:26:53	00:27:35	00:32:40	00:29:19	00:35:50	00:28:47	00:27:31
00:39:18	00:33:04	00:33:27	00:36:14	00:39:44	00:34:56	00:33:19	00:31:45	00:28:40	00:26:56	00:27:37	00:32:42	00:29:41	00:36:01	00:28:48	00:27:34
00:39:44	00:33:13	00:34:02	00:37:50	00:40:56	00:35:15	00:33:20	00:31:51	00:28:44	00:27:01	00:27:56	00:33:13	00:29:54	00:36:04	00:29:30	00:27:38
00:40:29	00:33:24	00:34:03	00:38:00	00:41:11	00:35:31	00:34:04	00:31:55	00:30:21	00:27:11	00:28:57	00:33:20	00:29:55	00:36:12	00:29:35	00:27:56
00:40:38	00:33:53	00:34:09	00:38:13	00:41:37	00:35:33	00:34:05	00:32:25	00:30:52	00:27:14	00:29:22	00:34:22	00:30:52	00:37:43	00:30:04	00:27:57
00:40:57	00:33:56	00:35:38	00:38:33	00:42:01	00:35:45	00:34:56	00:32:28	00:31:51	00:27:42	00:29:27	00:34:30	00:31:43	00:38:49	00:30:11	00:28:35
00:41:09	00:34:14	00:37:01	00:39:02	00:42:23	00:36:21	00:35:12	00:32:47	00:32:02	00:27:47	00:29:56	00:34:56	00:31:59	00:39:52	00:30:44	00:28:39
00:41:16	00:35:05	00:37:23	00:39:40	00:42:52	00:36:35	00:35:34	00:33:11	00:32:14	00:28:14	00:30:08	00:35:08	00:33:32	00:40:18	00:31:44	00:29:14
00:41:35	00:35:12	00:37:33	00:40:26	00:42:56	00:36:45	00:36:42	00:33:35	00:33:14	00:28:32	00:30:59	00:37:33	00:33:38	00:40:41	00:31:48	00:29:16
00:41:42	00:35:23	00:38:18	00:41:48	00:43:03	00:36:58	00:37:01	00:33:46	00:33:20	00:28:34	00:31:01	00:38:04	00:34:01	00:41:45	00:32:03	00:29:49
00:42:18	00:35:57	00:38:27	00:43:07	00:43:09	00:37:28	00:37:02	00:34:00	00:33:30	00:28:43	00:31:09	00:38:15	00:34:35	00:43:10	00:32:27	00:30:0

## Anexo 2. Distribución del origen de las llamadas.

Desde	Hasta	Coordenada X		Coordenada Y		Probabilidad
		Desde	Hasta	Desde	Hasta	
00:00	04:00	1	30	1	100	0,4
		31	100	1	30	0,28
		31	60	31	100	0,16
		61	100	31	60	0,09
		61	100	61	100	0,07
04:00	9:00	1	30	1	100	0,4
		31	100	1	30	0,28
		31	60	31	100	0,16
		61	100	31	60	0,09
		61	100	61	100	0,07
09:00	011:00	1	30	1	100	0,36
		31	100	1	30	0,252
		31	60	31	100	0,145
		61	100	31	60	0,083
		61	100	61	100	0,16
11:00	13:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,16
		61	100	31	60	0,09
		61	100	61	100	0,24
13:00	15:00	1	30	1	100	0,26
		31	100	1	30	0,17
		31	60	31	100	0,16
		61	100	31	60	0,09
		61	100	61	100	0,32
15:00	19:00	1	30	1	100	0,26
		31	100	1	30	0,17
		31	60	31	100	0,16
		61	100	31	60	0,09
		61	100	61	100	0,32
19:00	20:00	1	30	1	100	0,36
		31	100	1	30	0,252
		31	60	31	100	0,145
		61	100	31	60	0,083
		61	100	61	100	0,16
22:00	00:00	1	30	1	100	0,4
		31	100	1	30	0,28
		31	60	31	100	0,16
		61	100	31	60	0,09
		61	100	61	100	0,07

### Anexo 3. Distribución de la ubicación de los taxis disponibles.

Desde	Hasta	Coordenada X		Coordenada Y		Probabilidad
		Desde	Hasta	Desde	Hasta	
00:00	04:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,21
		61	100	31	60	0,12
		61	100	61	100	0,16
04:00	9:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,21
		61	100	31	60	0,12
		61	100	61	100	0,16
09:00	011:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,21
		61	100	31	60	0,12
		61	100	61	100	0,16
11:00	13:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,21
		61	100	31	60	0,12
		61	100	61	100	0,16
13:00	15:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,21
		61	100	31	60	0,12
		61	100	61	100	0,16
15:00	19:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,21
		61	100	31	60	0,12
		61	100	61	100	0,16
19:00	22:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,21
		61	100	31	60	0,12
		61	100	61	100	0,16
22:00	00:00	1	30	1	100	0,3
		31	100	1	30	0,21
		31	60	31	100	0,21
		61	100	31	60	0,12
		61	100	61	100	0,16

## Anexo 4. Información suministrada por Radio Taxis Libres S.A.



### RESULTADOS ENCUESTAS DE SEGUIMIENTO A 161 SERVICIOS (Sep 05 a Sep 06)

No.	Tiempo para recoger cliente	Duración reportada de la carrera (minutos)	No.	Tiempo para recoger cliente	Duración reportada de la carrera (minutos)
1	00:03:18	5	82	00:07:14	15
2	00:04:20	9	83	00:03:23	13
3	00:05:30	8	84	00:04:35	11
4	00:03:30	11	85	00:03:50	14
5	00:06:34	7	86	00:05:02	11
6	00:03:32	13	87	00:04:44	5
7	00:04:57	16	88	00:04:04	7
8	00:04:07	6	89	00:06:26	15
9	00:04:45	7	90	00:06:12	8
10	00:05:44	15	91	00:06:15	9
11	00:03:29	17	92	00:06:13	11
12	00:03:55	11	93	00:06:08	18
13	00:06:58	6	94	00:06:00	6
14	00:04:12	16	95	00:07:07	10
15	00:06:42	8	96	00:05:43	12
16	00:04:17	13	97	00:04:59	11
17	00:04:55	7	98	00:06:09	11
18	00:06:35	10	99	00:05:52	7
19	00:05:52	10	100	00:03:43	14
20	00:05:10	6	101	00:03:28	8
21	00:03:52	11	102	00:04:59	10
22	00:06:43	23	103	00:03:33	8
23	00:04:30	12	104	00:05:19	10
24	00:03:28	14	105	00:05:28	13
25	00:04:22	10	106	00:05:33	10
26	00:06:51	9	107	00:03:50	12
27	00:04:01	8	108	00:06:05	13
28	00:04:05	8	109	00:05:19	8
29	00:05:48	6	110	00:06:14	11
30	00:04:13	13	111	00:05:39	7
31	00:06:24	9	112	00:06:37	6
32	00:05:04	12	113	00:06:44	10
33	00:04:38	8	114	00:05:26	11
34	00:03:55	16	115	00:03:59	8
35	00:06:04	6	116	00:06:22	8
36	00:04:07	8	117	00:05:31	11
37	00:03:38	6	118	00:03:53	5
38	00:04:55	9	119	00:06:32	6
39	00:05:12	10	120	00:06:50	9
40	00:06:15	8	121	00:05:52	10
41	00:07:16	10	122	00:06:19	18
42	00:06:14	8	123	00:03:47	12
43	00:06:27	8	124	00:06:00	5
44	00:05:25	8	125	00:06:50	11
45	00:06:51	13	126	00:06:21	11
46	00:06:07	17	127	00:05:31	11
47	00:07:14	12	128	00:03:41	17
48	00:07:13	11	129	00:06:59	10
49	00:04:28	9	130	00:05:13	7
50	00:05:01	11	131	00:05:57	9
51	00:03:19	13	132	00:06:05	15
52	00:04:29	8	133	00:06:13	6
53	00:07:05	13	134	00:04:21	6
54	00:03:07	13	135	00:04:41	8
55	00:06:38	11	136	00:06:55	8



No.	Tiempo para recoger cliente	Duración reportada de la carrera (minutos)	No.	Tiempo para recoger cliente	Duración reportada de la carrera (minutos)
56	00:04:35	11	137	00:04:37	9
57	00:05:37	14	138	00:07:05	7
58	00:06:35	9	139	00:05:38	10
59	00:06:25	11	140	00:05:25	13
60	00:04:32	8	141	00:06:45	6
61	00:04:13	10	142	00:03:39	7
62	00:05:46	9	143	00:04:35	12
63	00:05:28	10	144	00:03:23	7
64	00:03:21	19	145	00:04:35	18
65	00:04:23	15	146	00:03:30	18
66	00:04:08	11	147	00:06:29	23
67	00:07:09	5	148	00:06:34	13
68	00:05:40	11	149	00:03:22	10
69	00:04:36	10	150	00:05:10	8
70	00:03:53	10	151	00:04:10	6
71	00:07:04	10	152	00:03:17	6
72	00:03:55	11	153	00:06:17	11
73	00:03:50	10	154	00:05:17	7
74	00:06:50	8	155	00:03:50	14
75	00:06:38	16	156	00:04:20	10
76	00:03:37	11	157	00:03:32	9
77	00:04:04	11	158	00:05:14	9
78	00:06:30	11	159	00:04:38	9
79	00:07:07	7	160	00:04:37	11
80	00:06:26	5	161	00:05:49	9
81	00:05:05	17			

**OTRA INFORMACION REQUERIDA:**

1. Porcentaje de servicios no atendidos por no disponibilidad de taxis:  
Entre 80 y 100 servicios, principalmente en horas pico.
2. Horarios de Servicio de los Taxis:  
El 60% labora en dos turnos de 3am a 3pm, el 40% solo labora de día de 6am a 9pm.  
Debe tener en cuenta el pico y placa en el que no labora el 20% del parque automotor de servicio público de 6am a 9pm.
3. Ubicación de los usuarios:  
No se ha hecho un estudio para este aspecto, sin embargo a primera hora de la mañana y al iniciar la tarde la mayor parte de las llamadas se proviene de zonas residenciales y al final de la tarde. El resto del tiempo es distribuido por igual en la ciudad.
4. Cantidad de servicios de la calle:  
Tampoco hay una información exacta, pero se estima que por cada 4 carreras despachadas por la empresa a un taxi, hace 6 carreras por fuera.

## Anexo 5. Pruebas de Independencia

11/11 11:22:00

---

Welcome to Minitab, press F1 for help.

### Runs Test: 00:00 a 04:3. 00:00 a 04:3. 00:00 a 04:3. 00:00 a 04:3. ...

Runs test for 00:00 a 04:30

Runs above and below K = 20,9416

The observed number of runs = 348  
The expected number of runs = 355,962  
277 observations above K. 494 below  
P-value = 0,533

Runs test for 00:00 a 04:30\_1

Runs above and below K = 21,3659

The observed number of runs = 344  
The expected number of runs = 350,649  
274 observations above K. 483 below  
P-value = 0,601

Runs test for 00:00 a 04:30\_2

Runs above and below K = 20,1357

The observed number of runs = 354  
The expected number of runs = 363,894  
277 observations above K. 526 below  
P-value = 0,439

Runs test for 00:00 a 04:30\_3

Runs above and below K = 20,1860

The observed number of runs = 341  
The expected number of runs = 353,604  
262 observations above K. 539 below  
P-value = 0,311

Runs test for 04:30 a 08:00

Runs above and below K = 8,33951

The observed number of runs = 683  
The expected number of runs = 689,789  
531 observations above K. 980 below  
P-value = 0,702

Runs test for 04:30 a 08:00\_1

Runs above and below K = 9,04519

The observed number of runs = 628  
The expected number of runs = 620,778  
465 observations above K. 929 below  
P-value = 0,663

Runs test for 04:30 a 08:00\_2

Runs above and below K = 9,00500

The observed number of runs = 636  
The expected number of runs = 637,755  
490 observations above K. 909 below  
P-value = 0,918

Runs test for 04:30 a 08:00\_3

Runs above and below K = 9,26579

The observed number of runs = 615  
The expected number of runs = 616,624  
470 observations above K. 892 below  
P-value = 0,922

Runs test for 08:00 a 13:30

Runs above and below K = 16,2287

The observed number of runs = 534  
The expected number of runs = 562,502  
438 observations above K. 782 below  
P-value = 0,076

Runs test for 08:00 a 13:30\_1

Runs above and below K = 15,8630

The observed number of runs = 551  
The expected number of runs = 576,481  
450 observations above K. 798 below  
P-value = 0,118

Runs test for 08:00 a 13:30\_2

Runs above and below K = 16,5670

The observed number of runs = 536  
The expected number of runs = 556,712  
440 observations above K. 754 below  
P-value = 0,198

Runs test for 08:00 a 13:30\_3

Runs above and below K = 16,5192

The observed number of runs = 548  
The expected number of runs = 555,644  
436 observations above K. 762 below  
P-value = 0,633

Runs test for 13:30 a 15:00

Runs above and below K = 7,44260

The observed number of runs = 334  
The expected number of runs = 334,001  
260 observations above K. 463 below  
P-value = 1,000

Runs test for 13:30 a 15:00\_1

Runs above and below K = 7,57163

The observed number of runs = 321  
The expected number of runs = 334,75  
267 observations above K. 445 below  
P-value = 0,271

Runs test for 13:30 a 15:00\_2

Runs above and below K = 7,79683

The observed number of runs = 343  
The expected number of runs = 326,187  
260 observations above K. 434 below  
P-value = 0,173

Runs test for 13:30 a 15:00\_3

Runs above and below K = 7,43664

The observed number of runs = 335  
The expected number of runs = 337  
264 observations above K. 462 below  
P-value = 0,872

Runs test for 15:00 a 16:30

Runs above and below K = 11,7511

The observed number of runs = 223  
The expected number of runs = 222,026  
183 observations above K. 279 below  
P-value = 0,924

Runs test for 15:00 a 16:30\_1

Runs above and below K = 12,1074

The observed number of runs = 203  
The expected number of runs = 208,123  
163 observations above K. 284 below  
P-value = 0,601

Runs test for 15:00 a 16:30\_2

Runs above and below K = 13,1484

The observed number of runs = 176  
The expected number of runs = 184,981  
139 observations above K. 272 below  
P-value = 0,322

Runs test for 15:00 a 16:30\_3

Runs above and below K = 11,6379

The observed number of runs = 224  
The expected number of runs = 220,431  
178 observations above K. 286 below  
P-value = 0,726

Runs test for 16:30 a 19:00

Runs above and below K = 6,75751

The observed number of runs = 599  
The expected number of runs = 626,616  
502 observations above K. 830 below  
P-value = 0,107

Runs test for 16:30 a 19:00\_1

Runs above and below K = 6,49892

The observed number of runs = 636  
The expected number of runs = 640,569  
502 observations above K. 881 below  
P-value = 0,790

Runs test for 16:30 a 19:00\_2

Runs above and below K = 6,61087

The observed number of runs = 605  
The expected number of runs = 625,012  
484 observations above K. 878 below  
P-value = 0,236

Runs test for 16:30 a 19:00\_3

Runs above and below K = 6,97523

The observed number of runs = 622  
The expected number of runs = 606,875  
485 observations above K. 807 below  
P-value = 0,369

Runs test for 19:00 a 22:00

Runs above and below K = 8,65918

The observed number of runs = 570  
The expected number of runs = 571,082  
441 observations above K. 806 below  
P-value = 0,947

Runs test for 19:00 a 22:00\_1

Runs above and below K = 9,00835

The observed number of runs = 555  
The expected number of runs = 544,092  
416 observations above K. 782 below  
P-value = 0,487

Runs test for 19:00 a 22:00\_2

Runs above and below K = 8,99001

The observed number of runs = 565  
The expected number of runs = 572,704  
469 observations above K. 732 below  
P-value = 0,640

Runs test for 19:00 a 22:00\_3

Runs above and below K = 8,67365

The observed number of runs = 577  
The expected number of runs = 572,987  
447 observations above K. 794 below  
P-value = 0,805

Runs test for 22:00 a 24:00

Runs above and below K = 13,6300

The observed number of runs = 239  
The expected number of runs = 239,907  
183 observations above K. 344 below  
P-value = 0,930

Runs test for 22:00 a 24:00\_1

Runs above and below K = 13,2435

The observed number of runs = 266  
The expected number of runs = 256,886  
207 observations above K. 335 below  
P-value = 0,406

Runs test for 22:00 a 24:00\_2

Runs above and below K = 12,5505

The observed number of runs = 269  
The expected number of runs = 266,801  
209 observations above K. 365 below  
P-value = 0,843

Runs test for 22:00 a 24:00\_3

Runs above and below K = 13,3660

The observed number of runs = 247  
The expected number of runs = 250,982  
196 observations above K. 345 below  
P-value = 0,711

---

**17/11 11:57:51**

---

Welcome to Minitab, press F1 for help.  
Retrieving project from file: 'G:\TRABAJO DE GRADO -  
TAXIS\ESTADISTICA\DATOS ENTRADA\PRUEBA INDEPENDENCIA.MPJ'

## Anexo 6. Pruebas de Homogeneidad

STATGRAPHICS Centurion - Datos Combinados Parte2-V2.sgp - [Comparación de Varias Muestras]

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats! Herramientas Ver Ventana Ayuda

**Comparación de Varias Muestras**

Muestra 1: Datos Combinados\_1 (00:00 a 04:30)  
 Muestra 2: Datos Combinados\_2 (04:30 a 08:00)  
 Muestra 3: Datos Combinados\_3 (08:00 a 11:30)  
 Muestra 4: Datos Combinados\_4 (11:30 a 15:00)  
 Muestra 5: Datos Combinados\_5 (15:00 a 18:30)  
 Muestra 6: Datos Combinados\_6 (18:30 a 19:00)  
 Muestra 7: Datos Combinados\_7 (19:00 a 22:00)  
 Muestra 8: Datos Combinados\_8 (22:00 a 24:00)

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	619035	7	88436,5	606,05	0,0000
Dentro grupos	4,48409E6	30729	145,924		
Total (Corr.)	5,10314E6	30736			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 606,046, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 8 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, selección Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**Prueba de Kruskal-Wallis**

Tamaño de Muestra	Rango Promedio
Datos Combinados_1	3132
Datos Combinados_2	20249,7
Datos Combinados_3	14150,4
Datos Combinados_4	18676,1
Datos Combinados_5	12984,0
Datos Combinados_6	16615,7
Datos Combinados_7	11955,1
Datos Combinados_8	14126,8
Datos Combinados_8	17443,3

Estadístico = 2992,11 Valor-P = 0

**El StatAdvisor**

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 8 columnas es la misma. Primero se combinan los datos de todas las columnas y se ordenan de menor a mayor. Después, se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada columna. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medianas son significativamente diferentes de otras, selección Gráfico de Caja y Bigotes, de la lista de Opciones Gráficas; y selección la opción de máscara de mediana.

**Dispersión según Muestra**

**ANALISIS Gráfico para Muestra Combinada 1**

## Anexo 7. Resumen Pruebas de Bondad de Ajuste

**Exponential [1]** 00:00 04:30

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	281				
Estadística	0,04816				
Valor P	0,51677				
Rango	3				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,06401	0,07296	0,08101	0,09056	0,09718
Rechazar?	No	No	No	No	No

**Gen. Pareto [2]** 04:30 08:00

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	285				
Estadística	0,07636				
Valor P	0,06834				
Rango	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,06356	0,07244	0,08044	0,08992	0,09649
Rechazar?	Sí	Sí	No	No	No

**Gen. Pareto [3]** 08:00 13:30

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	292				
Estadística	0,04356				
Valor P	0,6206				
Rango	2				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,06279	0,07157	0,07947	0,08883	0,09533
Rechazar?	No	No	No	No	No

**Gen. Pareto [4]** 13:30 15:00

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	184				
Estadística	0,08051				
Valor P	0,1743				
Rango	2				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,0791	0,09016	0,10011	0,11191	0,12009
Rechazar?	Sí	No	No	No	No

**Beta [Duracion de las carreras]**

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	161				
Estadística	0,09976				
Valor P	0,07569				
Rango	20				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,08456	0,09639	0,10703	0,11964	0,12838
Rechazar?	Sí	Sí	No	No	No

**Beta [5]** 15:00 16:30

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	175				
Estadística	0,06782				
Valor P	0,37975				
Rango	5				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,08111	0,09245	0,10266	0,11475	0,12314
Rechazar?	No	No	No	No	No

**Lognormal [6]** 16:30 19:00

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	198				
Estadística	0,0961				
Valor P	0,04825				
Rango	8				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,07625	0,08691	0,09651	0,10788	0,11577
Rechazar?	Sí	Sí	No	No	No

**Gen. Pareto [7]** 19:00 22:00

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	268				
Estadística	0,05751				
Valor P	0,32558				
Rango	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,06554	0,07471	0,08295	0,09273	0,09951
Rechazar?	No	No	No	No	No

**Gamma [8]** 22:00 24:00:00

Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	213				
Estadística	0,07978				
Valor P	0,1258				
Rango	19				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,07352	0,0838	0,09305	0,10401	0,11162
Rechazar?	Sí	No	No	No	No

## Anexo 8. Comparación de medias de tiempos de respuesta.

