

**Simulación del comportamiento del inventario frente a la reducción de *Lead time* mediante estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales. Un caso de estudio en Bogotá.**

**Guillermo Rodríguez Vargas  
Ingeniero Industrial  
Especialista en Gerencia Logística**

**Universidad de La Sabana  
Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas  
Maestría en Gerencia de Operaciones  
Chía, Colombia,  
2022**

**Simulación del comportamiento del inventario frente a la reducción de *Lead time* mediante estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales. Un caso de estudio en Bogotá.**

**Guillermo Rodriguez Vargas  
Ingeniero Industrial  
Especialista en Gerencia Logística**

Tesis en profundización para optar al título de  
Magíster en Gerencia de Operaciones

Director  
Jairo Alberto Jarrin Quintero  
Ingeniero de Sistemas, M. Sc.

Colaboración  
Nicolás Giedelman Lasprilla  
Ingeniero Industrial. M. Sc.

**Universidad de La Sabana  
Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas  
Maestría en Gerencia de Operaciones  
Chía, Colombia,  
2022**



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer infinitamente a mi esposa Marcela quien, con su apoyo, ejemplo y fuerza de voluntad, me ha demostrado que no hay meta inalcanzable, ni tarea ardua. Estaré siempre agradecido con ella por ser un ejemplo de esfuerzo y trabajo duro para mi vida.

## RESUMEN

La congestión en los centros urbanos es un factor determinante en el bajo desempeño y en la pobre ejecución de los modelos logísticos de una ciudad. En Bogotá, la creciente congestión generada por una deficiente planeación urbanística, el incremento de las operaciones económicas y ambiciosos planes de construcción en infraestructura, han llevado a que Bogotá sea considerada como una de las ciudades más congestionadas en el mundo. Inclusive, el tiempo de desplazamiento en comparación con otras ciudades súper-congestionadas como lo son Sao Paulo y Ciudad de México es de 2.7 y 2.8 veces más en Bogotá que en las ciudades previamente mencionadas. Lo cual es determinante si consideramos que la población Bogotana es de 7 millones de habitantes, Sao Paulo tiene 12 millones de habitantes y Ciudad de México tiene más de 22 millones de habitantes. (Calatayud et al., 2021a)

Bogotá al ser una ciudad súper-congestionada, presenta fuertes disminuciones en las velocidades de movilidad presentando como síntoma una eficiencia y eficacia totalmente disminuidas desde el punto de vista logístico, afectando los modelos de distribución en la ciudad e impactando directamente en la competitividad de las organizaciones que realizan actividades logísticas tanto dentro como alrededor de ella. Una limitada y disminuida velocidad de desplazamiento en la ciudad (considerada como una de las características más importantes en el desempeño logístico) en términos generales aumenta el *lead time* de entrega de un proveedor a un cliente. Generando en la estricta teoría, un mayor *lead time*, forzando a los clientes a tomar decisiones que permitan mejorar la disponibilidad de materiales o productos para la venta, como lo puede ser el aumento de los niveles de inventario (considerando sus inventarios de seguridad), sus costos de almacenamiento y en general una disminución del flujo de caja por la fuerte inversión en *buffers* de inventarios.(Riezebos & Zhu, 2020)

Desde un punto de vista teórico, un mejoramiento en las velocidades de desplazamiento de los vehículos que transportan los inventarios de un proveedor a un cliente, podría mejorar la sección del *lead time* de distribución, reduciéndolo como un todo. De esta forma, al tener un menor *lead time*, los clientes podrán contar con inventarios de una forma mucho más rápida, y bajo modelos de políticas de inventarios esto podría tener una influencia positiva en los inventarios finales de los clientes, siendo estos menores. Entonces, la disminución y control del *lead time* es un factor importante a ser tenido en cuenta frente a una potencial reducción de la base de inventarios, lo que podría mejorar la gestión del flujo de caja, el nivel de servicio ofrecido a los clientes, la disminución de factores externos que afecten la planeación de la demanda y la limitación de quiebres de inventario o agotados.(Iida, 2015)(van Wingerden et al., 2014)

La clave se encuentra entonces en el mejoramiento de las velocidades de desplazamiento de los vehículos que transportan los inventarios a los clientes. La congestión inherente de la ciudad de Bogotá no es algo controlable por las organizaciones, puesto que es un factor externo incontrolable. Pero, los horarios de actividad logística si pueden ser cambiados y modificados en

conjunto entre el proveedor y cliente, lo cual puede dar paso a la adopción de estrategias logísticas novedosas como lo son el cargue y descargue en horarios no convencionales. Estas estrategias están enfocadas en la optimización del uso de la capacidad instalada de las vías, al movilizar carga en horarios de menor congestión en la ciudad (horarios nocturnos), potencialmente se puede mejorar de manera directa las velocidades de entrega de los productos y por lo tanto generar una optimización de los niveles promedio en los inventarios anuales por lo mencionado anteriormente en relación a un menor *lead time*. Adicionalmente, las organizaciones pueden contribuir de forma indirecta en la disminución de los niveles de congestión urbana y mejorar los parámetros medioambientales de la ciudad como consecuencia.(Dias et al., 2019)

La presente tesis de maestría pretende demostrar mediante un modelo de simulación de inventarios, la incidencia del comportamiento de la mejoría de velocidad de tránsito de los vehículos de carga, su influencia en el comportamiento del *lead time*, y sus consecuencias en los niveles de inventario promedio de una organización que cuente con una política de inventarios de punto de reorden y EOQ. Lo cual, no ha sido tratado o analizado en la literatura, dejando una oportunidad para evidenciar las ventajas de la mejora del *lead time* y su consecuencia en los inventarios.

La presente tesis de maestría encontró una relación entre la reducción teórica del *lead time* mediante el incremento de las velocidades de desplazamiento de los vehículos de carga y el mínimo punto de reorden, generando como consecuencia una disminución de los niveles de inventario promedio de una organización ficticia bajo ciertos supuestos en un ambiente simulado. La relación encontrada en el documento entre la disminución del *lead time* y el punto de reorden, demostró bajo una simulación de Montecarlo que a una reducción del 10% en los tiempos de *lead time*, se puede obtener hasta una reducción de 2% en el promedio anual de unidades inventariadas vía disminución del punto de reorden. Se indica entonces, una potencial ventaja competitiva desde la logística, influenciando la gestión de los inventarios si una organización evalúa e implementa alguna estrategia o modelo logístico que efectivamente reduzca el *lead time*.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>SECCIÓN 1. OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>Pregunta de Investigación. ....</b>	<b>13</b>
<b>Objetivo General. ....</b>	<b>13</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>SECCIÓN 2. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>14</b>
<b>Estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales.....</b>	<b>16</b>
<b>Estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales en la ciudad de Bogotá.</b> <b>.....</b>	<b>17</b>
<b>SECCIÓN 3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>
<b>SECCIÓN 4. SIMULACIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>Supuestos de la simulación. ....</b>	<b>24</b>
<b>Supuestos.....</b>	<b>24</b>
<b>Variables y constantes.....</b>	<b>25</b>
<b>Ecuaciones.....</b>	<b>26</b>
<b>SECCIÓN 5. RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
<b>SECCIÓN 6. ANÁLISIS .....</b>	<b>32</b>
<b>SECCIÓN 7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>38</b>

## TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 1 Índices de gestión del piloto de cambio de horario de operación. ....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 2 Modelo de columnas formuladas en la simulación. ....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 3 Modelo de columnas resultantes en la simulación. ....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 4 Resultados generales de la relación del lead time, unidades promedio de inventarios y porcentaje de reducción. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 5 Resultados generales de la relación del lead time, unidades valorizadas estimadas con valores promedio de inventarios estimados, con valores arbitrarios.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 6 Lead Time 2 &amp; 1.8 días.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 7 Lead Time 1.6 &amp; 1.4 días.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 8 Lead Time 1.2 &amp; 1 días.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 9 Lead Time 2 días, Módulo de estadística descriptiva. ....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 10 Lead Time 1.8 días, Módulo de estadística descriptiva. ....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 11 Lead Time 1.6 días, Módulo de estadística descriptiva. ....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 12 Lead Time 1.4 días, Módulo de estadística descriptiva. ....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 13 Lead Time 1.2 días, Módulo de estadística descriptiva. ....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 14 Lead Time 1 día, Módulo de estadística descriptiva.....</b>	<b>50</b>

## TABLA DE CONTENIDO DE GRÁFICAS E IMÁGENES

<b>Ilustración 1 Polígono Piloto. Corredor Calle 13 y Av. Ciudad de Cali .....</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 2 Simulación anual – Comportamiento del inventario en unidades.....</b>	<b>30</b>
<b>Ilustración 3 Simulación anual – Comportamiento de entrega del proveedor en unidades.</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 4 Iteraciones – Promedio de inventario final en unidades.....</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 5 Importe de datos a SPSS.....</b>	<b>38</b>
<b>Ilustración 6 Estadística descriptiva – IBM SPSS Statistics.....</b>	<b>38</b>
<b>Ilustración 7 Lead Time 2 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales. .....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 8 Lead Time 1.8 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales. ....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 9 Lead Time 1.6 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales. ....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 10 Lead Time 1.4 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales. ....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 11 Lead Time 1.2 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales. ....</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 12 Lead Time 1 día – Promedio de inventario final en unidades y valores finales. ....</b>	<b>41</b>

## TABLA DE CONTENIDO DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1 Unidades promedio demandadas por año .....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 2 Costo de mantenimiento de una unidad de inventario al año .....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 3 Costo total de mantenimiento y pedido .....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 4 Cantidad económica de pedido EOQ (Economic Order Quantity).....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 5 Desviación estandar de la demanda en el Leadtime .....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 6 Punto de Reorden.....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 7 Stock de seguridad o inventario de seguridad.....</b>	<b>26</b>

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas y modelos logísticos son indicadores que tienen relación con el desarrollo económico y social de un país. Modelos logísticos más eficientes y efectivos pueden contribuir a que los habitantes de un país o ciudad accedan a más y mejores oportunidades socioeconómicas, lo cual puede ser traducido en una mejor calidad de vida y en un mejor nivel económico para una sociedad. En Colombia, se hace fundamental el monitoreo, evaluación y evolución de sus sistemas y modelos logísticos como país, mediante herramientas como la Encuesta Nacional Logística desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación de la República de Colombia, la cual identifica la posición logística de Colombia y los campos logísticos donde se debe mejorar como nación. (Gómez Gaviria, 2020)

La última Encuesta Nacional Logística realizada durante el 2020 para Colombia, encuestó a 3.383 empresas en el territorio colombiano las cuales tienen una representación estadística de 1.036.782 empresas de todo el país, abarcando macro sectores productivos de la nación como lo son el 78% del sector agropecuario, 87% del sector industrial, 70% del sector de la construcción, 70% del sector minero, 83% del sector del transporte/almacenamiento y el 90% del sector comercio. Del total de la muestra estadísticamente representativa, el 87,7% de las empresas son micro, 10,1% pequeñas, 1,8% medianas y 0,4% grandes. (Gómez Gaviria, 2020)

Del total de empresas encuestadas, las cuales llevan seguimiento de sus indicadores logísticos y también, valoran el costo logístico del ejercicio operativo frente a las ventas netas, se evidencio que en Colombia el 12,6% de las ventas totales son usadas para el pago de los costos logísticos operativos. Del total del costo logístico, el 43,2% se representa en el almacenamiento y en los inventarios. Adicionalmente, como resultado de la encuesta en un apartado especial sobre problemas logísticos, se asoció el 65,8% de los problemas logísticos al transporte y se pidió al gobierno nacional que mejoraran la movilidad vial el 36% de los encuestados y el 22% solicitó una mejora frente a las restricciones horarias de cargue y descargue de mercancías. (Gómez Gaviria, 2020)

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, se evidencia entonces que la movilidad, el transporte de mercancías y los inventarios son un problema relevante para la logística colombiana, incluyendo su repercusión en los costos logísticos relacionados al almacenamiento y el mantenimiento de los inventarios como porcentaje frente a las ventas. Así, se hace imperativa la búsqueda de estrategias o métodos logísticos que permitan mitigar las problemáticas indicadas anteriormente para el mejoramiento del desempeño logístico del país y la competitividad de las organizaciones colombianas.

En términos de movilidad, Bogotá está caracterizada por la congestión y la limitada movilidad vial ha generado un incremento del 35% en el tiempo de desplazamiento de los vehículos en

comparación con su velocidad de flujo libre (la cual es la velocidad promedio en condiciones normales de desplazamiento), generando como consecuencia un incremento semanal de 31 horas en los desplazamientos por habitante de la ciudad, 186 horas mensuales para los ciudadanos que se desplazan en vehículos privados y pérdida del 9% del total de horas trabajadas anuales de un habitante de la ciudad. (Calatayud et al., 2021a)

La congestión en Bogotá impacta directamente en los tiempos de desplazamiento de los diferentes actores viales, lo cual tiene efectos directos en la economía de la ciudad. Bogotá, gasta el 0.9% de su PIB por la congestión (lo que puede representar 2/3 del total anual en inversión en la atención de la población vulnerable de la ciudad), llegando a cerca de US\$341 por persona. Adicionalmente, en los puntos más altos de congestión de la ciudad el BID identificó costos superiores a los US\$600 millones anuales relacionados con fenómenos derivados de la congestión en la ciudad. (Calatayud et al., 2021a)

Desde el punto de vista gubernamental, varias han sido las estrategias implementadas para minimizar la congestión de Bogotá. Una de las más conocidas e importantes fue la implementación de la restricción por número de placa o matrícula de vehículo conocida en Bogotá como “Pico y Placa” en 1998, la cual tuvo buenos resultados en el corto plazo pero a mediano y largo plazo fomentó el incremento de la congestión por el aumento en el stock automotor de la ciudad debido a la adquisición de un segundo vehículo, aumento en el parque automotor de motocicletas (exentas de la restricción), mayor consumo de gasolina y altas concentraciones de CO<sub>2</sub> en los horarios diurnos de la ciudad. (Calatayud et al., 2021a)

Una posible respuesta para el mejoramiento de la movilidad y la disminución de la congestión, considerados como importantes retos logísticos puede ser la integración de estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales. Estrategias que se enfocan en el mejoramiento en los promedios de velocidad de operación de los vehículos de carga, la optimización en la movilidad terrestre, la disminución de la congestión urbana e hipotéticamente, la mejora en los niveles de inventarios y niveles de inventarios de seguridad de las organizaciones que tengan relación entre el *lead time* y los niveles de inventarios. (Heydari, 2014) (Hemalatha & Annadurai, 2020a) (Grace Hua & Willems, 2016) (Yang et al., 2005) (Pan et al., 2004) (Sajadieh & Eshghi, 2009)

La presente tesis se encuentra dividida inicialmente por una introducción en la que se describe la problemática de la congestión en los modelos logísticos de Bogotá, como también de forma general los hallazgos obtenidos desde el proceso de simulación realizada, luego en la sección 1. se presenta la pregunta de investigación, la cual busca identificar el impacto que tiene la variación de la velocidad de desplazamiento de los vehículos de carga en el *lead time* y en consecuencia en el punto de reorden, también considera el objetivo general y los objetivos específicos. En la sección 2. se presenta la revisión del estado del arte, analizando temas tales como: punto de reorden, *EOQ*, *lead time* y estrategias para la disminución de la congestión en ciudades y optimización de los horarios de operación como estrategia logística. La sección 3. presenta la metodología de estudio, la simulación propuesta y sus fuentes de información. La sección 4. describe de forma detallada la simulación, sus supuestos, sus variables, sus constantes, las ecuaciones usadas y el desarrollo bajo la programación en Excel del modelo de inventarios. La sección 5. muestra los resultados obtenidos de la simulación. La sección 6. dispone de un análisis de los resultados y la sección 7. contiene las conclusiones finales.

## SECCIÓN 1. OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

### **Pregunta de Investigación.**

¿Cómo podría medirse mediante un modelo de simulación el impacto que tiene la variación de la velocidad de circulación de los vehículos de carga, en la disminución del *lead time* y del punto mínimo de reorden?

### **Objetivo General.**

Evaluar por medio de un modelo de simulación, si existe una relación o comportamiento específico o impacto directo, entre los inventarios promedio finales de una empresa en la ciudad de Bogotá, para un único producto, no perecedero. De una organización que haya adoptado técnicas de cargue y descargue en horarios no convencionales.

### **Objetivos Específicos.**

- Desarrollar un modelo simulado de un sistema de inventarios bajo la metodología de Montecarlo que considere una demanda aleatoria independiente de tiempos de recepción, procesos generales del ciclo de la orden, transporte de mercancías, cantidad económica de pedido, punto de reorden e inventario final para una organización arbitraria que sea abastecida por un proveedor que tenga implementadas estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales.
- Analizar y aplicar información real de GPS y telemetría de vehículos de transporte de carga almacenada en el observatorio de carga larga, corta y media distancia de la Universidad de La Sabana, como base de velocidad de distribución media.
- Analizar los resultados del modelo simulado bajo diferentes escenarios con y sin la implementación de estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales, desde el punto de vista del nivel promedio de inventarios finales y su costo.
- Identificar las oportunidades en reducción de inventarios, en una organización que cuente con proveedores que practiquen estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales.

## SECCIÓN 2. ESTADO DEL ARTE

La metodología de la dinámica de sistemas es una herramienta excepcional para el análisis y simulación de entornos con un alto grado de complejidad que cuenten con diferentes actores que mantienen relaciones de retroalimentación entre sí, afectándose continuamente y estimulando respuestas de flujo de materiales y de información. Estos flujos se generan y se presentan mediante el modelado matemático para definir un comportamiento sistémico de un todo. La dinámica de sistemas es usada en diversos campos científicos que tengan una gran cantidad de actores interrelacionados. En el campo logístico, la dinámica de sistemas es útil para identificar y modelar los diferentes bucles de las relaciones entre los procesos de las organizaciones, como lo puede ser un sistema complejo de producción de respuesta rápida (Marin Martinez et al., 2021) o modelos tan complejos como los urbanos, inclusive permitiendo la simulación de políticas que afectan el flujo y el transporte de ciudades completas para poder evaluar la eficiencia y la efectividad de las políticas gubernamentales antes de su implementación en la realidad urbana. (Fontoura & Ribeiro, 2021)

Existen también otras herramientas de simulación más prácticas para modelos o sistemas no tan complejos como lo puede ser un sistema de inventarios o un modelo de cadena de abastecimiento, con las cuales se puede realizar la inclusión de diferentes escenarios obteniendo rápidos resultados cuando se le compara con otros métodos estimativos o exactos, manteniendo de acuerdo a la literatura, altos niveles de eficiencia frente a la confiabilidad de los resultados de una red de abastecimiento o modelo de inventarios. Esta herramienta es la simulación de Montecarlo, la cual puede ser usada para la simulación de redes logísticas que involucren proveedores, centros de distribución, distribuidores y clientes finales. Inclusive, la simulación de Montecarlo se ha usado para la simulación de tácticas militares relacionadas con la distribución logística entre la brigada, regentes, batallones, compañías y su relación con la zona de combate. (Ozkan & Kilic, 2019)

Desde la década de los 80s los gerentes de operaciones encontraron una ventaja competitiva al implementar estrategias cuyo objetivo era la reducción de los tiempos operacionales y su variación durante el tiempo. La reducción en los tiempos operacionales tiene un impacto directo en la competitividad puesto que indica un alto grado de flexibilidad en las cadenas de suministro de las operaciones. En concordancia al modelo *SCOR* (*Supply Chain Operations Reference Model*) los modelos logísticos deben ser confiables, ágiles, costo-competitivos, capaces y eficientes. En específico, la agilidad de los modelos logísticos radica en la velocidad de la ejecución (de la cual, hace parte el *lead time*) de las actividades logísticas, en especial el cumplimiento del ciclo de pedido, considerando desde la recepción del pedido generado por el cliente, hasta la recepción efectiva de la mercancía del mismo cliente. (APICS Members & SCOR Practitioners, 2017) El *lead time* o tiempo de ciclo, como un general, consolida otros tiempos internos dentro del ciclo de la orden, como lo son los tiempos organizacionales de gestión de la orden, tiempos de producción, alistamiento, despacho, transporte y entrega solo por nombrar algunos. (Saoud et al., 2022)

Así que el objetivo de toda organización es el de poder satisfacer a sus clientes mediante el cumplimiento de sus órdenes de la forma más rápida posible, las cuales dependerán de una demanda de mercado que estará fluctuando de acuerdo con puntos específicos de la naturaleza de la mercancía, horizonte de tiempo, tipo de producto y en especial, la necesidad del mercado. El *lead time* entonces es una variable determinante en el objetivo de que la organización sea más ágil para satisfacer las necesidades del cliente, puesto que determina la antelación con la cual debe generarse un pedido al proveedor para poder abastecer la demanda del cliente en el momento adecuado. Cuando una organización no es ágil y cuenta con *lead times* amplios por parte de sus proveedores, las organizaciones deben amortiguar las variaciones de la demanda con inventarios, pero los inventarios no pueden ser excesivos o infinitos inicialmente por una capacidad de almacenamiento limitada, pero en especial por el costo financiero y el impacto en el flujo de caja que significa la propia inversión en inventarios. Por consiguiente, las organizaciones deben ser muy cuidadosas con su balance de inventarios y el nivel de servicio que desean proveer a sus clientes. Así, basan sus modelos de compra e inversión de inventarios en modelos especiales basados en la gestión de inventarios como lo es el modelo EOQ (*Economic Order Quantity* – Cantidad óptima de pedido).(Gambini et al., 2013)(Konstantaras et al., 2019)

El modelo EOQ indica la cantidad óptima de inventario que debe comprarse considerando los costos de almacenamiento y el valor del inventario, como también haciendo uso de modelos con punto de reorden, el cual indican a la organización el momento adecuado para realizar un pedido y la cantidad necesaria a pedir que reabastezca los niveles de inventarios de la organización al llegar a un nivel mínimo de inventario consumido por la demanda, y así poder atender la demanda de los clientes, minimizando el riesgo de agotados o la disminución del nivel de servicio que se desea brindar.(Sevgen & Sargut, 2019) Dentro de los modelos de inventarios EOQ y punto de reorden, el *lead time* es entonces fundamental ya que determina en el horizonte de tiempo, el momento adecuado para que funcionen los modelos de inventarios y se realice un pedido de inventarios al proveedor en el momento adecuado. A un *lead time* mayor, los niveles promedio de inventario deberán ser mayores para amortiguar las variaciones de la demanda diaria, pero con un *lead time* menor o reducido, la cadena será más flexible y podrá reaccionar más rápidamente a las variaciones de la demanda buscando un *just in time*, sin exceder en inventarios, los cuales se encontrarán disponibles en las instalaciones del proveedor. (Galkin et al., 2022)

El punto de reorden y el EOQ anteriormente mencionados tienen gran importancia no solo por su amplio y difundido uso, sino por su alto grado de practicidad y por sus beneficios frente a un manejo adecuado de los inventarios bajo demandas estacionarias.(Andriolo et al., 2013) Dentro de las variables que actúan en el punto de reorden y en el EOQ, el control y disminución del *lead time* permitiría que las organizaciones cuenten con inventarios en el menor tiempo posible. Inclusive, diferentes estudios y simulaciones han demostrado que en escenarios donde la reducción del *lead time* por parte del proveedor (mediante el cobro extra de la entrega exprés por parte del proveedor) no solo mejora el nivel de servicio ofrecido al cliente, sino que puede llegar a mejorar el modelo general de inventarios y sus costos relacionados entre el 5% y el 20%. Además, de evitar el impacto reputacional que puede sufrir una empresa al no cumplir con las órdenes de su cliente y las subsecuentes afectaciones que esto puede traer para el cliente mismo que no podrá cumplir con sus obligaciones con sus propios clientes. (Heydari, 2014)(Hemalatha & Annadurai, 2020b)(Grace Hua & Willems, 2016)(Yang et al., 2005)(Pan et al., 2004)(Sajadieh & Eshghi, 2009)(Johansen, 2019)(Zied et al., 2005)

## **Estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales.**

En el último estudio del BID (Banco Interamericano de Desarrollo) publicado en marzo de 2021, se estimó que la ciudad de Bogotá tuvo un costo aproximado a los USD\$600 millones de dólares anuales, lo cual representa en términos económicos el 1% del PIB de la ciudad por congestión, cada conductor o actor vial que se encuentra dentro de la congestión pierde más de USD\$340 dólares anuales, lo que representa el 9% del ingreso laboral medio anual colombiano. Este mismo estudio, considera que Bogotá es la tercera ciudad en América Latina en la cual la congestión cuesta más. (Calatayud et al., 2021a) Así, la ciudad de Bogotá en Colombia es considerada como una de las ciudades más congestionadas del planeta. Cuando se habla de congestión, Bogotá se encuentra al mismo nivel de Delhi, Mumbai y Lima debido a una alta concentración de actividades económicas al interior de la ciudad. Los fenómenos industriales y el desarrollo económico propio de las ciudades, tiene como subproducto el aumento de vehículos de transporte, lo cual genera un desbalance entre el volumen de vehículos y la infraestructura vial para atender estos vehículos. En otras palabras, un aumento de la congestión vial y afectaciones para la seguridad vial. (Ekta & Devendra, s/f) (Mangones M et al., 2021). En promedio, los habitantes de Bogotá gastan más de 48 horas anuales solo en congestión, en un vehículo público o privado (Gonzalez et al., 2020) lo cual evidentemente afecta la productividad de los ciudadanos que residen y conviven dentro del sector urbano Bogotano.

Las estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales están enfocadas a influenciar espacios urbanos con una alta densidad de empresas que realicen procesos de despacho, entregas y en general distribución, para obtener una potencial reducción en costos logísticos, inclusive hasta una reducción del 40% en algunos casos (Estrada et al., 2018). En términos relacionados con la gestión del sistema logístico, las estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales mejoran de los tiempos de entrega y la velocidad promedio de desplazamiento de los vehículos que movilizan carga (en especial, en los tiempos de distribución), operando en horarios nocturnos, donde los niveles de congestión urbana son menores. Es decir, hacer uso eficiente de horarios valle nocturnos en los espacios urbanos, influenciando y mejorando el parámetro de *lead time* de entrega en las compañías que administran los procesos de reabastecimiento de inventario basados en punto de reorden, variando los niveles de inventarios de seguridad. En teoría, el punto anterior relaciona un punto de reorden menor, lo que puede indicar un menor nivel de inventario almacenado en las organizaciones, sin poner en riesgo el nivel de servicio o la promesa de entrega a los clientes, lo cual puede traducirse en una disminución de los costos operacionales y el valor del inventario, claves para el desempeño logístico y competitividad de las organizaciones. (Li, 2020)

Un mejor flujo vehicular también puede indicar un *lead time* menos variable en promedio. Esto también puede influir en el punto de reorden y la determinación de los niveles de inventarios de seguridad necesarios, puesto que una menor variación en los tiempos de entrega permite tener una mayor confiabilidad frente a la llegada de los inventarios comprados al proveedor (Manuel Izar Landeta et al., 2017). Una organización con niveles adecuados de inventarios puede permitirse una mejor gestión del capital y flujo de caja, como también un uso eficiente en la inversión necesaria para el manejo y el mantenimiento de los inventarios, maximiza la tasa interna de retorno sobre la inversión en inventarios y también se asegura un alto grado de flexibilidad en el manejo incierto de la demanda (Manuel Izar Landeta et al., 2017). Este punto es relevante, ya que el objetivo de una política de manejo de inventarios adecuada es el correcto balance entre los inventarios,

atención de la demanda y disponibilidad de producto. (Hemalatha & Annadurai, 2020a) (Glock, 2012) (Saoud et al., 2022)

Las estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales no solo representan oportunidades en la reducción de costos logísticos de las organizaciones, sino también pueden representar beneficios medioambientales, el aumento en las velocidades de circulación promedio de los vehículos particulares y de transporte público puede llevar a la reducción en la congestión del tráfico y el aumento en la seguridad vial. Desde un punto de vista urbano, las entregas en horarios no convencionales buscan evitar molestias o interrupciones a las actividades diurnas de los diferentes actores viales y permiten disponer a las organizaciones de la mercancía a primera hora del día para iniciar sus actividades dependiendo de su actividad económica. Sin embargo, las entregas nocturnas traen retos consigo mismas, donde las organizaciones deben modificar sus procesos operativos, horarios de operación logística y otras consideraciones para el manejo y gestión de los recursos humanos frente a la modificación horaria de la operación. (Calatayud et al., 2021b)

La modificación de los horarios de las operaciones logísticas a horarios no convencionales se encuentra enmarcadas en sub-estrategias derivadas de la experiencia que han tenido otros países frente a la aplicación de este tipo de iniciativas en el corto y en el mediano plazo. Las sub-estrategias de logística nocturna se encuentran enmarcadas en dos tipos de entrega: SOHD (*Staffed Off-Hours Delivery* – Entrega en horarios no convencionales con personal) y el modelo UOHD (*Unassisted Off-Hours Delivery* – Entrega en horarios no convencionales sin personal). En los modelos SOHD las entregas se hacen en presencia de personal propio del cliente, quienes realizan la recepción de las mercancías, esto se realiza en un sector común de recepción de mercancías, las cuales serán dispuestas para su posterior uso. Los modelos UOHD son más sofisticados en su concepción y también en su inversión, puesto que el cliente debe contar con espacios especializados para realizar las recepciones sin personal, estos espacios pueden estar compuestos de un sistema doble-puerta, donde el transportista deja la mercancía (controlado por un sistema de CCT) accediendo por medio de un token dinámico o con sistemas de apertura remota por parte del cliente. (Calatayud et al., 2021b)

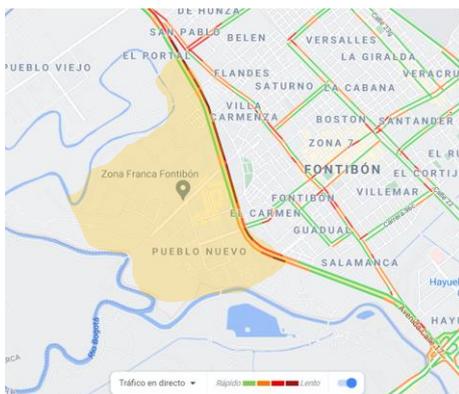
### **Estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales en la ciudad de Bogotá.**

En el 2016 se realizó el primer piloto como una propuesta basada en la aplicación de estrategias no convencionales de distribución adelantadas en otras ciudades que comparten las mismas problemáticas de congestión que tiene la ciudad de Bogotá. Este piloto quería implementar un “laboratorio” donde se pudiese evaluar los beneficios y retos relacionados con la implementación de las nuevas estrategias operativas logísticas, evaluando el comportamiento de indicadores medioambientales, seguridad, costos, tiempo y otros indicadores generales logísticos. Este piloto consideró un área enmarcada en las UPZ (Unidad de Planeamiento Zonal) de Puente Aranda y la Zona Industrial, donde hay más de 8.336 establecimientos entre comerciales, servicios, industria y otros. Esta zona fue seleccionada ya que conglomeraba un espacio representativo de comercios y de industrias no solo afectadas por problemas en su movilidad, sino también por ser zonas con un alto grado de invasión al espacio público, lo cual en la práctica afecta también la movilidad urbana (Ekta & Devendra, s/f). Las calles de estas zonas se encuentran normalmente congestionadas, en una pobre condición de mantenimiento y con actividades de cargue y descargue de forma indiscriminada en las vías, lo cual impacta en altos niveles de congestión como se había mencionado anteriormente. Las compañías que participaron en este primer piloto se encargaron

del monitoreo de sus vehículos de transporte tanto en horario diurno como en horario nocturno, evaluando de forma constante los desplazamientos de sus vehículos mediante tecnología GPS, estudios de tiempos y actividades de cargue y descargue, emisión de material particulado en el aire y nivel de ruido de la operación. (Castrellón, 2016).

Como resultado del primer piloto realizado en el 2016, en términos de movilidad se pudo observar una mejora en la velocidad promedio de desplazamiento de los vehículos de carga, pasando de una velocidad promedio de 12 km/h en el horario convencional diurno a una velocidad promedio de desplazamiento de los vehículos de carga de 22 km/h en las actividades nocturnas (incremento de un 83% en la velocidad promedio). En términos de costos logísticos se pudo obtener una reducción del 32% frente a las actividades diurnas y en temas medioambientales hubo una reducción en las emisiones de CO del 42%, CO<sub>2</sub> del 8% y de 1,4 PPM. Frente a las actividades logísticas de cargue y descargue hubo una reducción en los tiempos de estas actividades tanto en el emisor como en el receptor. Este mismo comportamiento se tuvo en el tiempo promedio de manipulación de pallets y en el tiempo de espera de operarios (este último, generó un aumento en los tiempos de espera en el emisor de carga). En términos generales, hubo una reducción del 20% en los tiempos de cargue del emisor de carga y un 60% de reducción en los tiempos de cargue del receptor de carga. (Castrellón, 2016).

La Alcaldía de Bogotá mediante su iniciativa “Pro-Bogotá 24 horas”, ha buscado socializar estrategias de optimización en el uso de los horarios de operación de las organizaciones, para disminuir la congestión que actualmente afectan gravemente a la ciudad en ciertas zonas de la ciudad. En la actualidad, se tiene planeado la realización del segundo piloto de cargue y descargue en horarios no convencionales en la localidad de Fontibón que contempla un polígono delimitado entre la calle 12; Av. Cali y Av. Calle 24. Cubriendo de esta forma la calle 13 (Zona comercial y Zonas Francas), en cual participan 105 empresas (7 grandes, 11 medianas, 87 pequeñas), pero influyen a más de 11.000 organizaciones. Esta zona fue seleccionada para este segundo piloto ya que históricamente ha sido considerada como una zona de “alta congestión” por la gran cantidad de vehículos de transporte que transitan y realizan actividades logísticas de forma simultánea. (Fergusson et al., 2019)



*Ilustración 1 Polígono Piloto. Corredor Calle 13 y Av. Ciudad de Cali*

Este segundo piloto tiene como objetivo el reproducir los resultados obtenidos en el primer piloto de cambio de horarios de operación realizado en el año 2016, donde se evidenció por parte de la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá una mejoría en la movilidad de la zona de influencia del piloto mencionado anteriormente. Adicionalmente, esta recreación en el segundo piloto busca

socializar, probar y demostrar a las organizaciones de la ciudad que las estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales pueden contribuir de forma potencial al mejoramiento de la movilidad, velocidad de los vehículos de carga y generar una mayor competitividad para las organizaciones, ya que puede significar un factor de éxito generando impactos positivos en la optimización logística y en el aumento de niveles de servicio para los clientes con menores niveles de inventario en bodega. Así mismo, dicho piloto pretende generar una política pública en materia de cargue y descargue en horarios no convencionales para la ciudad, la cual tiene su principal sustento en las experiencias del mencionado piloto y los índices de gestión que se midan, los cuales se encuentran descritos en la siguiente tabla.

<b>Indicador</b>	<b>Medición</b>	<b>Datos</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Variación tiempo de recorrido</b>	Tiempo promedio de recorrido	%	Medir el tiempo que toma un recorrido de ida y vuelta antes y después
<b>Variación tiempo de espera</b>	Tiempo promedio de espera	%	Identificar el tiempo que permanecen los vehículos estacionados en las vías antes de ser atendidos para cargue y descargue
<b>Variación tiempo de cargue</b>	Tiempo en maniobras de cargue	%	NA
<b>Variación tiempo de descargue</b>	Tiempo en maniobras de descargue	%	Identificar si mejoran las maniobras de descargue debido a que los receptores tienen menores volúmenes de compradores
<b>Tasa de rechazo</b>	% de rechazo en entregas	%	Identificar el comportamiento de las entregas satisfactorias antes y durante el piloto
<b>Variación personal</b>	# de personas	#	Identificar si aumenta o disminuye el personal en las operaciones
<b>Variación en tipo de vehículos</b>	Tipo de vehículos antes vs durante el piloto	#	Identificar si las empresas requieren cambio en la flota de distribución
<b>Variación en número de vehículos</b>	Cantidad de vehículos	#	Identificar si aumenta o disminuye la cantidad de vehículos utilizados
<b>Nivel de inventarios</b>	% de inventarios en comercios	%	Identificar si el % de ocupación en bodega de comercios tiene variaciones por confiabilidad en las entregas
<b>Variación de la ocupación</b>	% de ocupación	%	Identificar si los vehículos despachan con mayor o menor volumen de mercancía.
<b>Variación consumo de combustible</b>	Galones	%	Estimación de costos y cálculos ambientales
<b>Variación valor del transporte (flete)</b>	Pesos	%	Identificar si cambian los valores del transporte para la distribución
<b>Incidentes de seguridad</b>	Número	#	Reporte de incidentes no denunciados
<b>Quejas de la comunidad</b>	Número	#	Reporte de PQRS de la comunidad

*Tabla 1 Índices de gestión del piloto de cambio de horario de operación.*

Esta serie de pilotos son muy importantes teniendo en cuenta que el éxito de la implementación de estas estrategias bajo un decreto o ley radica en el nivel de adopción por parte de las compañías y la conformación de una estructura colaborativa entre el sector público y privado. Razón por la cual se hacen esfuerzos en socializar este tipo de iniciativas (Fergusson et al., 2019) (Ekta & Devendra, n.d.).

Desafortunadamente, desde la formulación del presente documento a inicios de 2021 hasta la fecha, la ejecución del segundo piloto ha sido pospuesta por la Secretaria Distrital de Movilidad de Bogotá debido a una baja participación de las organizaciones que se encuentran enmarcadas dentro del polígono de estudio. Parte importante del seguimiento de resultados, eficiencia y efectividad del piloto, radica en que las empresas participantes puedan monitorear los cambios en sus indicadores logísticos al momento de la implementación de estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales, para poder tener una base de comparación y de esta forma evaluar el impacto que se tiene para la operación logística la inclusión de estas estrategias novedosas. Por ahora, y de acuerdo con lo anteriormente mencionado, se tendrá en cuenta para este documento, los beneficios obtenidos en el primer piloto ejecutado en el 2016 para una simulación de las velocidades de transporte en un escenario de implementación de estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales.

### SECCIÓN 3. METODOLOGÍA

Por lo comentado anteriormente, al no poder tener los datos reales de la ejecución del segundo piloto de estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales en la ciudad de Bogotá, se buscó información real sobre los tiempos de desplazamiento de vehículos de carga en Bogotá para poder establecer una comparación entre los datos de velocidad promedio actuales que fueron reportados por la Secretaria de Movilidad para los vehículos de carga. Con esta comparación de datos, se podrá determinar tanto vía reporte de velocidad promedio de los vehículos de carga, como con los datos reales del observatorio de la Universidad de La Sabana, un valor estándar promedio de velocidad en el área urbana de los vehículos de carga. Esta base, será evaluada y considerada en la simulación de este documento, en especial en la velocidad de los tiempos de transporte en la porción del *lead time* relacionada con la distribución de la mercancía del proveedor hasta el cliente final.

La simulación propuesta en el presente documento se encontrará limitada a la evaluación de un modelo de inventarios basado en punto de reorden y EOQ mediante el uso de costos arbitrarios. No hará uso de costos logísticos y de almacenamiento para algún caso específico. Si no, que usará costos referenciales para el establecimiento de un patrón simulado estimado de costos y en consecuencia para el uso de EOQ el cual requiere de costos arbitrarios para su funcionamiento ya que el fin último del documento no es el de hacer una evaluación de costos, sino de niveles de inventarios.

Para el desarrollo de la presente simulación se tomó como base los datos almacenados en el Observatorio de movimiento de carga de larga, media y corta distancia desarrollado por la Universidad de La Sabana como se había mencionado, datos que tienen origen en la información capturada en tiempo real de los atributos de movimiento de carga local basada en información de GPS y telemetría de los vehículos de transporte de forma anonimizada. Estos datos consolidan un modelo de torre de control, la cual es válida para proceder con sistemas de simulación logísticos. (Xie et al., 2015).

Los campos de información considerados y disponibles por parte del Observatorio de la Universidad de La Sabana fueron:

1. Placa o patente del vehículo de carga.
2. Fecha de la captura de la información. (dd/mm/aaaa)
3. Hora estándar.
4. Velocidad de desplazamiento. (km/h)
5. Latitud.
6. Longitud.

Los datos obtenidos por parte del observatorio de la Universidad de La Sabana en Bogotá están enmarcados en 534.469 lecturas que relacionan la velocidad referente de 34 vehículos de carga que realizaron actividades logísticas durante el primer trimestre de 2022. Estos datos contienen información capturada en tiempo real de su velocidad de desplazamiento en relación con sus coordenadas geográficas como se había mencionado. Los datos exportados de los GPS se centralizan en base de datos en un cubo de información tipo “Query”, el cual exporta en un archivo tipo *.csv (Comma separated values)* los datos del observatorio requeridos. Dichos datos son importados a un software estadístico especializado IBM SPSS Statistics disponible en un servidor remoto de la Universidad de La Sabana - SabanaCloud para poder correr pruebas de estadística descriptiva sobre los datos de velocidad de desplazamiento y normalidad de los datos. Los valores obtenidos después de hacer uso del software estadístico se pueden observar en el Anexo 1. como referencia. Se obtiene entonces un valor medio de 31,89 km/h como valor medio de desplazamiento, lo cual tiene relevancia y relación con el último reporte desarrollado por la secretaria de Movilidad de la Alcaldía de Bogotá, donde se define una velocidad promedio de 25,9 km/h para los vehículos de carga. (Alcaldía de Bogotá. & Secretaria de Movilidad., 2022)

Así, se puede indicar que los datos medios tienen relación con la realidad de la ciudad de Bogotá en términos de las velocidades de desplazamiento de los vehículos de carga. Por consiguiente, dicha velocidad servirá como insumo base del proceso de simulación que será implementado y descrito en el presente documento.

## SECCIÓN 4. SIMULACIÓN

La presente simulación establece un modelo de punto de reorden y EOQ como políticas generales de inventarios, ya que estos modelos son ampliamente usados tanto en la literatura, las simulaciones de inventarios y en el campo práctico por diferentes organizaciones. (Miranda et al., 2015). Estos modelos son siempre atractivos por su simplicidad en la construcción y adopción por parte de las organizaciones por la cantidad mínima de información que requieren para su funcionamiento. Permitiendo a muchas organizaciones el mejoramiento y optimización de sus cadenas de abastecimiento. Inclusive, los modelos de punto de reorden y EOQ son las bases estándar de los modelos de la gestión de inventarios y ERPs que tengan como objetivo el mejoramiento de los niveles base de inventarios. (Andriolo et al., 2013)(Perera et al., 2017)(Melis Teksan & Geunes, 2016)(García-Laguna et al., 2010)(Gambini et al., 2013)

Para el modelado del sistema de inventarios inicialmente se planificó una simulación continua basada en la dinámica de sistemas, haciendo uso del Software Vensim 8.0 de la compañía Ventana Systems, de la cual se tuvo una capacitación inicial. Sin embargo, el uso de dicho software estaba sobrecalificado para la simulación propuesta de acuerdo con lo expresado en el capítulo de Estado del Arte del presente documento. En términos prácticos, se optó por realizar una simulación Montecarlo entendiendo la practicidad y rapidez que ofrece esta metodología, la cual tiene la validez necesaria de acuerdo a la literatura para simulaciones logísticas y para la cadena de abastecimiento (Ozkan & Kilic, 2019) bajo programación en “Visual Basic for Application - VBA” en Microsoft Excel permitiendo una mayor facilidad en la disposición de las fórmulas, datos, macros, gráficas y validaciones estadísticas descriptivas de los resultados de los diferentes escenarios simulados.

La simulación que se plantea en el presente documento busca modelar el sistema de inventarios de una organización para una referencia no perecedera que tiene una demanda variable no dependiente del tiempo de entrega del proveedor. El modelo considera el ingreso de inventario en unidades, demanda aleatoria diaria, venta diaria, inventario final al cierre de la operación y la recepción de los inventarios por parte del proveedor.

La computadora que fue usada para el proceso de simulación contó con las siguientes especificaciones:

- SKU del sistema      LENOVO\_MT\_20KE\_BU\_Think\_FM\_ThinkPad X280.
- Nombre del SO      Microsoft Windows 10 Enterprise
- Procesador      Intel(R) Core (TM) i5-8350U CPU @ 1.70GHz, 1896 Mhz, 4 procesadores principales, 8 procesadores lógicos.
- Memoria física instalada (RAM)      8,00 GB.
- Microsoft Excel Office 365 Enterprise.

## Supuestos de la simulación.

Se debe considerar que el modelo de inventarios simulado contará con una serie de supuestos que son necesarios para poder enmarcar el proceso de la generación y obtención de datos de la simulación, dejando como parámetro modificable el tiempo de ciclo de orden (*lead time*). La cual será la variable principal influenciada por las estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales bajo diferentes escenarios propuestos.

### Supuestos.

- El día 0 del modelo de inventarios considera una recepción de un lote en la cantidad óptima de pedido (Q o EOQ) que se haya determinado en la formulación de los parámetros del modelo, la cual constituye el inventario inicial del año a ser simulado.
- El nivel de servicio parametrizado para la simulación es del 99,5% del total de unidades demandadas diariamente. Este nivel de servicio fue seleccionado para estar muy cerca de la orden perfecta de una forma arbitraria, aunque el *gold standard* de acuerdo con una encuesta realizada por McKinsey & Company en el 2019 reveló que un nivel de servicio del 90% es un nivel base adecuado para atender mercancía en el canal retail. (Alan Davies et al., 2022) Se debe tener en cuenta que el nivel de servicio dependerá de la organización, naturaleza del producto, complejidad del abastecimiento y la estrategia de producción de la organización (Inventario para almacenar – MTS *Make To Stock* o Inventario por orden de compra – MTO *Make To Order*) y sector económico específico en cada caso.
- Tanto el proveedor de inventarios como el Centro de Distribución de la organización del cliente se deben encontrar ubicados dentro del mismo sector urbano ya que el mantenimiento de la velocidad de desplazamiento de los vehículos debe ser constante durante su ejecución y no verse afectada por no estar autorizada de mantener su actividad en horarios nocturnos por estar ejecutándose en otro sector de la ciudad. Por consiguiente, el transporte y distribución de mercancías estarán bajo los mismos supuestos de velocidad vehicular aplicados en la ciudad de Bogotá. En otras palabras, tanto el proveedor como el cliente se encontrarán circunscritos por el mismo polígono de influencia de una estrategia logística de mejora en las velocidades de desplazamiento.
- El periodo de tiempo a ser simulado será de 1 año o 365 días.
- En investigación con compañías 3PL, después de una revisión del *lead time* para diferentes compañías considerando el tiempo de transporte urbano para la ciudad de Bogotá, se estableció un *lead time* estándar de 2 días, donde se considera un día para la recepción y gestión de la orden y un segundo día destinado únicamente para el transporte terrestre de los inventarios al cliente final. La velocidad de transporte se encuentra alineada con la velocidad promedio de 31,89 km/h como base. Esta información fue obtenida por medio de un proceso de entrevista con el coordinador de distribución logística del 3PL OpenMarket – Solistica en la ciudad de Bogotá.
- La simulación será realizada para un solo tipo de producto no perecedero, transportado en modo carretero, sin considerar ningún tipo de optimización en el transporte de carga, cubicación o volumen a ser transportado del proveedor al cliente.
- El proveedor hará entrega en el *lead time* especificado de un lote de inventario enmarcado en la cantidad óptima de pedido (Q o EOQ).

- La política de inventario de la organización considera un inventario de seguridad y un punto de reorden calculado de acuerdo con el *lead time* implementado en cada escenario.
- Se ha determinado por un valor mensual de \$400 COP por unidad de inventario almacenada, de acuerdo con los valores cobrados por un 3PL promedio por posición/estiba de almacenamiento no refrigerado, con control de temperatura en 20°C y de \$38.700 COP por gestión de pedido generado. Esta información fue obtenida por medio de un proceso de entrevista con el coordinador de Almacenamiento y tarifas del 3PL OpenMarket – Solistica en la ciudad de Bogotá.
- La demanda simulada está relacionada con el valor Z de un nivel de servicio de 99,5% (2,5758) y una desviación estándar de la demanda de 6 unidades, la cual también fue asociada de forma arbitraria.
- El tiempo de distribución y en general el *lead time* del proveedor no tiene relación alguna con la demanda simulada.
- Se realizará de forma arbitraria 100 iteraciones de la simulación modelada, considerando que no se evidenciaron variaciones significativas al aumentar el número de iteraciones. En términos porcentuales y teniendo como base los resultados de 100 iteraciones, las variaciones en las unidades promedio obtenidas fue de 0,045% con 150 iteraciones, 0,076% con 200 iteraciones, 0,032% con 250 iteraciones, 0,031% con 300 iteraciones y 0,068% con 350 iteraciones.

Es importante resaltar que los modelos de simulación que consideran el punto de reorden y el EOQ en la literatura, en evaluación de los inventarios y otras variables, consideran como parámetro de demanda, una demanda con distribución normal. Lo cual se encuentra alineado con estudios relacionados con investigación de operaciones y también con softwares específicos para la evaluación de los niveles y gestión de inventarios.(Gutierrez & Rivera, 2021)

Los modelos simulados, al establecer que no se conoce la demanda y por consiguiente hay incertidumbre en ella, la demanda con distribución normal usada debe contar también con un nivel bajo de coeficiente de variación. (Jodlbauer & Dehmer, 2020)

Las ecuaciones generales para la definición de las políticas de inventarios, cantidad optima de pedido (Q - EOQ – *Economic Order Quantity*), e inventario de seguridad provienen del modelo de R.H Wilson realizado en 1934 desarrollado por el ingeniero Ford Whitman Harris de la organización Westinghouse Corp. (Ronald H. Ballou, 2005)

En la presente simulación, se hizo uso de las siguientes variables y ecuaciones:

### **Variables y constantes.**

*d*: Unidades promedio demandadas por día

*D*: Unidades promedio demandadas por año

*H*: Costo de mantenimiento de una unidad de inventario al año

*S*: Costo de pedir

*L*: Leadtime o tiempo de ciclo de pedido

*VI*: Valor de una unidad de inventario

*Q*: Cantidad económica de pedido EOQ (*Economic Order Quantity*)

*CM*: Costo de mantenimiento de una unidad de inventario mensual

*CT: Costo total de mantenimiento y pedido*  
*Z: Valor Z. Estadístico de prueba para las pruebas Z*  
 *$\sigma\hat{d}$ : Desviación estandar de la demanda*  
 *$\sigma L$ : Desviación estandar de la demanda en el Leadtime*  
*PR: Punto de Reorden*  
*SS: Stock de seguridad o inventario de seguridad*

### Ecuaciones.

$$D = \hat{d} * 365 \text{ días}$$

*Ecuación 1 Unidades promedio demandadas por año*

$$H = CM * 12 \text{ meses}$$

*Ecuación 2 Costo de mantenimiento de una unidad de inventario al año*

$$CT = \left( \left( \frac{D}{Q} \right) * S \right) + \left( \left( \frac{Q}{2} \right) * H \right)$$

*Ecuación 3 Costo total de mantenimiento y pedido*

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D * S}{H}}$$

*Ecuación 4 Cantidad económica de pedido EOQ (Economic Order Quantity)*

$$\sigma L = \sqrt{L * \sigma\hat{d}^2}$$

*Ecuación 5 Desviación estandar de la demanda en el Leadtime*

$$PR = \hat{d} * (L + Z) * Dl$$

*Ecuación 6 Punto de Reorden*

$$SS = Z * Dl$$

*Ecuación 7 Stock de seguridad o inventario de seguridad*

La simulación de Montecarlo establece cada día un modelo de inventarios dependiente de la demanda parametrizada. Generando un sistema de inventarios con entregas del proveedor (dependiendo del *lead time* de entrega), inventario inicial de la referencia, demanda de la referencia, venta de la referencia e inventario final al terminar el día. Se formuló en la hoja de cálculo las siguientes columnas.

- **Día:** Día laboral calculado.
- **Entrega del proveedor:** Unidades entregadas por el proveedor en lotes de Q, después de que el nivel de inventario de seguridad (SS) se haya alcanzado por su consumo.
- **Inventario inicial:** Unidades de inventario al inicio del día laboral.
- **Demanda:** Demanda aleatoria diaria de acuerdo con los parámetros establecidos.

- **Venta:** Venta efectiva realizada de acuerdo con la demanda realizada y al inventario disponible.
- **Inventario final:** Unidades de inventario al final del día laboral.

Día	Entrega de proveedor	Inventario inicial	Demanda	Ventas	Inventario final	Realizar el pedido EOQ en el tiempo L
0	344	344	7	7	337	-
1	-	337	25	25	312	-
2	-	312	18	18	294	-
3	-	294	19	19	275	-
4	-	275	20	20	255	-
5	-	255	11	11	244	-
6	-	244	16	16	228	-
7	-	228	22	22	206	-
8	-	206	10	10	196	-
9	-	196	16	16	180	-
10	-	180	11	11	169	-
11	-	169	20	20	149	-
12	-	149	19	19	130	-
13	-	130	29	29	101	-
14	-	101	14	14	87	-
15	-	87	20	20	67	-
16	-	67	27	27	40	1
17	-	40	15	15	25	1
18	344	369	18	18	351	-
19	-	351	15	15	336	-
20	-	336	22	22	314	-
21	-	314	19	19	295	-
22	-	295	25	25	270	-
23	-	270	26	26	244	-
24	-	244	17	17	227	-

Tabla 2 Modelo de columnas formuladas en la simulación.

		Iteraciones	Unidades promedio del inventario final diario	Valor promedio del inventario final diario
Promedio de inventario final diario	194	1	192	\$ 4.324.800
	2	191	\$ 4.302.275	
	3	194	\$ 4.369.850	
	4	195	\$ 4.392.375	
	5	186	\$ 4.189.650	
	6	196	\$ 4.414.900	
	7	193	\$ 4.347.325	
	8	188	\$ 4.234.700	
	9	191	\$ 4.302.275	
	10	194	\$ 4.369.850	
	11	192	\$ 4.324.800	
	12	194	\$ 4.369.850	
	13	191	\$ 4.302.275	
	14	193	\$ 4.347.325	
	15	191	\$ 4.302.275	
	16	192	\$ 4.324.800	

Tabla 3 Modelo de columnas resultantes en la simulación.

Mediante la implementación de una macro haciendo uso de código VBA, se hizo la captura de las 100 iteraciones planeadas para la presente simulación. Este código captura el valor promedio del inventario final anual del ejercicio y también su respectiva valorización. El código programado fue:

```

Sub Simulación()
For i = 1 To 100
Application.ScreenUpdating = False
Range("L20").Select
Selection.Copy
Range("N20").Cells(i, 0) = i
Range("N20").Cells(i, 1).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _

```

*:=False, Transpose:=False*

*Next i*

*Application.ScreenUpdating = True*

*End Sub*

Las formulaciones de las columnas en la hoja de cálculo fueron:

Día.

*=+Generales!EOQ*

Entrega del proveedor.

Para el día 0 = *EOQ*

Para días 0+1 *=+SI(SUMA(Realizar\_pedido\_en\_el\_tiempo\_L)>=Lead\_time;Generales!EOQ;0)*

Inventario inicial.

*=+Entrega\_del\_proveedor+Inventario\_final*

Demanda.

*=+REDONDEAR.MAS(DISTR.NORM.INV(ALEATORIO());Generales!demanda\_promedio\_dia;Generales!desviacion\_estandar\_de\_la\_demanda);0)*

Ventas.

*=+SI(Demanda<Inventario\_inicial;Demanda;Inventario\_inicial)*

Inventario final.

*=+MAX(0;Inventario\_inicial-Demanda)*

Realizar el pedido EOQ en el tiempo L.

*=+SI(Inventario\_final<=Generales!punto\_de\_reorden;1;0)*

## SECCIÓN 5. RESULTADOS

Los presentes resultados se encuentran circunscritos dentro de los límites de la evaluación de la variación de la velocidad y su impacto en el *lead time*, el punto de reorden y la subsecuente influencia en los niveles de inventario de una organización. No se busca simular, analizar, ni concluir frente a los costos relacionados con la operación logística ni los costos de inventarios, puesto que los valores usados en costos en la simulación son arbitrarios y únicamente referenciales.

Mediante la simulación Montecarlo y los supuestos de la simulación, se ejecutaron 100 iteraciones que representan cada una un año simulado del modelo de inventarios con las características y los parámetros mencionados. Ejecutando 6 escenarios diferentes donde varía el *lead time* del ciclo de la orden en el modelo de inventarios propuesto.

Los escenarios simulados fueron:

- *Lead time* o ciclo de la orden con distribución y transporte de 2 días (Modelo Base).
- *Lead time* o ciclo de la orden con distribución y transporte de 1.8 días (Modelo con estrategia de cargue y descargue en horarios no convencionales a una velocidad estimada de 47,3 km/h, donde se aplica la mejora en los tiempos de desplazamiento vehicular en comparación el tiempo base).
- *Lead time* o ciclo de la orden con distribución y transporte de 1.6 días. (Escenario referencial)
- *Lead time* o ciclo de la orden con distribución y transporte de 1.4 días. (Escenario referencial)
- *Lead time* o ciclo de la orden con distribución y transporte de 1.2 días. (Escenario referencial)
- *Lead time* o ciclo de la orden con distribución y transporte de 1 día. (Escenario referencial)

Los resultados obtenidos por cada uno de los escenarios propuestos se pueden visualizar el Anexo 2. También, a estos resultados se les aplicó el módulo de estadística descriptiva de Microsoft Excel Office 365, estos resultados se pueden encontrar en el Anexo 3.

Los resultados obtenidos se encuentran resumidos en las siguientes tablas.

<b>Lead time (días)</b>	<b>Unidades promedio del inventario final diario</b>	<b>Valor promedio del inventario final diario</b>	<b>% de reducción</b>
<b>2</b>	195	\$ 4.400.709	NA
<b>1,8</b>	190	\$ 4.289.435	3%
<b>1,6</b>	185	\$ 4.183.343	5%
<b>1,4</b>	179	\$ 4.048.868	8%
<b>1,2</b>	176	\$ 3.953.363	10%
<b>1</b>	170	\$ 3.831.727	13%

*Tabla 4 Resultados generales de la relación del lead time, unidades promedio de inventarios y porcentaje de reducción.*

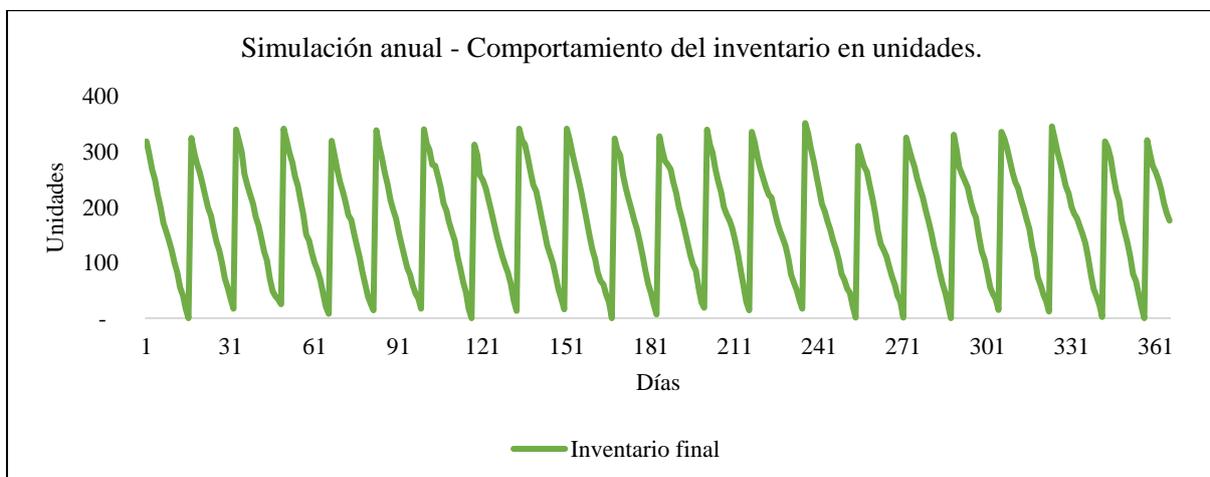
\*Los valores promedio del inventario final diario se encuentran expresados en moneda COP.

<b>Lead time (días)</b>	<b>Reducción en unidades</b>	<b>Reducción en valor</b>	<b>Reducción anual en unidades</b>	<b>Reducción anual proyectado</b>
<b>2</b>	NA	NA	NA	NA
<b>1,8</b>	5	\$ 111.274	1825	\$ 40.615.010
<b>1,6</b>	10	\$ 217.366	3650	\$ 79.338.590
<b>1,4</b>	16	\$ 351.841	5840	\$ 128.421.965
<b>1,2</b>	19	\$ 447.346	6935	\$ 163.281.290
<b>1</b>	25	\$ 568.982	9125	\$ 207.678.430

*Tabla 5 Resultados generales de la relación del lead time, unidades valorizadas estimadas con valores promedio de inventarios estimados, con valores arbitrarios.*

\*Los valores de reducción en valor y la reducción anual proyectada se encuentran expresados en moneda COP.

El comportamiento del sistema se puede evidenciar en las siguientes gráficas:



*Ilustración 2 Simulación anual – Comportamiento del inventario en unidades.*

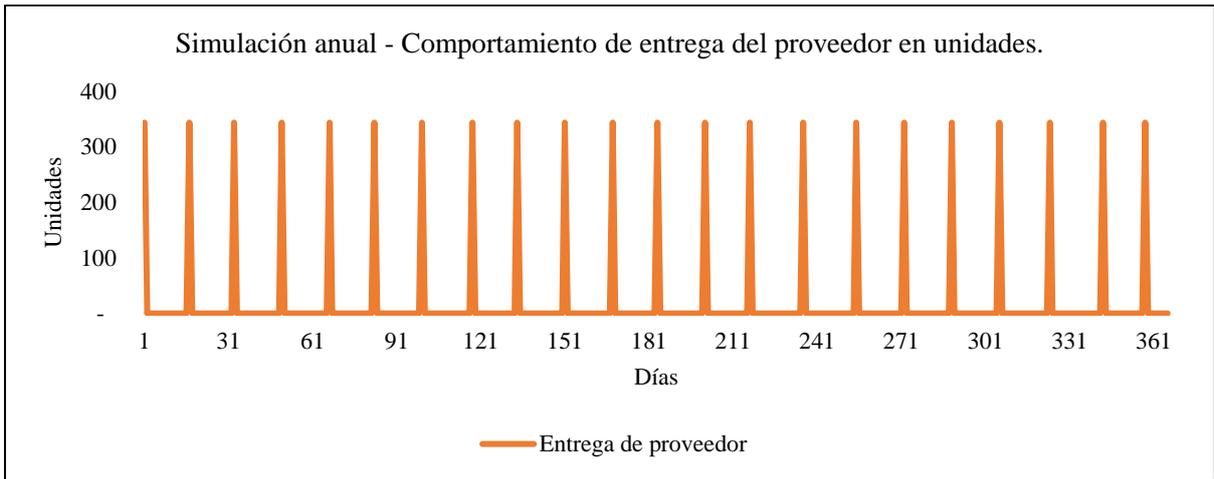


Ilustración 3 Simulación anual – Comportamiento de entrega del proveedor en unidades.

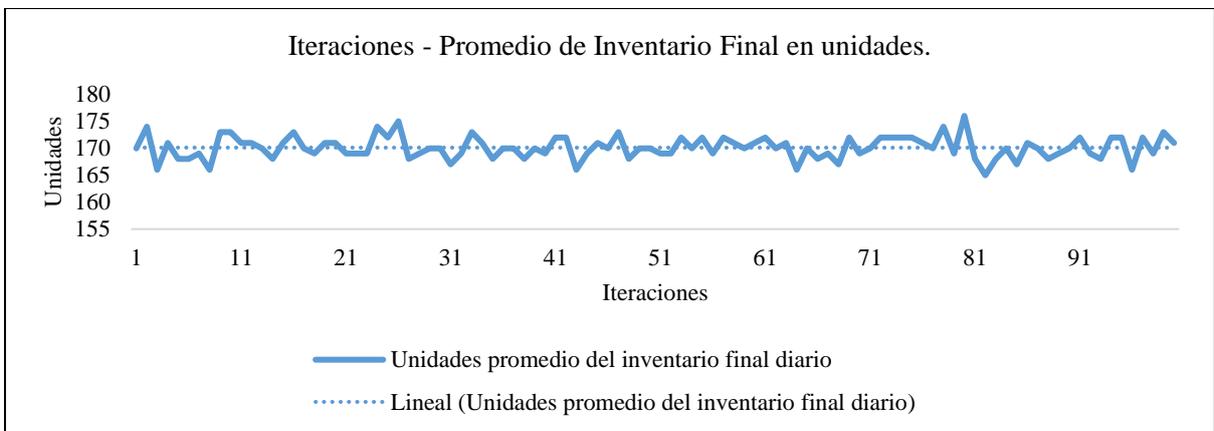


Ilustración 4 Iteraciones – Promedio de inventario final en unidades.

## SECCIÓN 6. ANÁLISIS

Como se puede evidenciar en la Tabla 1. La disminución del 10% en el *lead time* del proveedor producto del aumento en la velocidad de operación de los vehículos de carga, impacta en una reducción promedio del 2% en los niveles de inventario del cliente. En el mismo sentido, el valor del inventario del cliente se reduce de forma referencial.

En línea con lo anterior, se tendrá una reducción en los costos de mantenimiento y almacenamiento al final del ejercicio logístico de forma referencial. Por consiguiente, existe entonces una relación entre el *lead time* del ciclo de la orden y la disminución de los inventarios promedio finales en la razón anteriormente indicada.

Teniendo en cuenta que la simulación realizada considera el inventario promedio final diario, se observa en la Tabla 2. Una reducción diaria entre 4 y 6 unidades conforme se haga una reducción en el *lead time* proporcional al 10% para cada caso. De nuevo, los valores referenciales del valor del inventario dependerán de cada situación particular, pero los valores en reducción en unidades pueden llegar a ser significativos en un horizonte anual de tiempo.

## SECCIÓN 7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la simulación, se puede concluir:

- La reducción del *lead time* de un proveedor para una organización que cuente con una política de inventario que considere punto de reorden, inventario de seguridad, cantidad óptima de pedido y que tenga una demanda variable, tendrá como consecuencia la disminución de los niveles de inventario promedio anuales en 2% del total de unidades inventariadas por un 10% de reducción en los tiempos de *lead time*.
- Al considerar una mejora en la velocidad de operación de los vehículos de carga, por medio, entre otras, de la implementación de estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales, se genera una reducción en los tiempos de entrega y de distribución, por tanto, se reduce el *lead time* del proveedor al cliente.
- Las estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales, pueden ser útiles para la reducción de los niveles de inventario en organizaciones que demanden productos de consumo diario, con un limitado espacio de almacenamiento.
- La reducción en los tiempos de entrega del proveedor tendrá un mejor efecto al desencadenar una reducción en los inventarios del cliente, en este sentido, el tiempo de transporte o tránsito de la mercancía es una variable importante que hace parte de la suma del *lead time*, por ende, al mejorar el desempeño de la velocidad de tránsito se impacta positivamente el *lead time*.
- La implementación de estrategias de cargue y descargue en horarios no convencionales trae consigo, varias modificaciones en los procesos de funcionamiento de las operaciones logísticas diarias. Estos cambios pueden requerir de inversiones adicionales a un proceso de logística convencional tanto en infraestructura como en personal. Las organizaciones deberán valorizar los beneficios obtenidos en mantenimiento del inventario, consumo de espacio y ahorro en valor de inventario, para poder establecer un claro análisis del retorno de la inversión frente a la implementación de este tipo de estrategias en el cargue y descargue en horarios no convencionales. Lo cual puede ser una propuesta para otros documentos de revisión.
- Existe entonces una relación entre la velocidad de desplazamiento (que influencia el *lead time* del proveedor) disminuyendo el punto de reorden y en consecuencia la base de inventarios teóricos de una organización por lo mencionado anteriormente.
- Para futuros estudios, se recomienda evaluar la aplicación real de modelos que permitan evaluar la mejora en los tiempos de entrega de inventarios, identificando y analizando los costos reales, la variación del antes y después en términos de costos logísticos, de almacenamiento y en última medida de inventarios (evaluación de retorno de inversión). Para así, efectivamente demostrar la relación entre la mejora/reducción del *lead time* y su relación directa con la disminución de los costos logísticos y de almacenamiento de una organización. Como también diferentes modelos de simulación más adecuados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alan Davies, Shruti Lal, Fernando Perez, & Sanjhali Potdar. (2022). *Defining 'on-time, in-full' in the consumer sector*. McKinsey & Company Web Page.
- Alcaldía de Bogotá., & Secretaria de Movilidad. (2022). *Bogotá está mejorando - Nuevas obras y movilidad sostenible*.
- Andriolo, A., Battini, D., Gamberi, M., Sgarbossa, F., & Persona, A. (2013). 1913-2013: The EOQ theory and next steps towards sustainability. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 46(9), 1708–1713. <https://doi.org/10.3182/20130619-3-RU-3018.00371>
- APICS Members, & SCOR Practitioners. (2017). *APICS Supply Chain Operations Reference Model SCOR Version 12.0*. <http://www.apics.org/docs/default-source/scor-training/scor-v12-0-framework-introduction.pdf?sfvrsn=2>
- Calatayud, A., Sánchez González, S., Bedoya, F., Giraldez, M. F., & María Márquez, J. (2021a). *Congestión urbana en América Latina y el Caribe: características, costos y mitigación*.
- Calatayud, A., Sánchez González, S., Bedoya, F., Giraldez, M. F., & María Márquez, J. (2021b). *Congestión urbana en América Latina y el Caribe: características, costos y mitigación*.
- Castrellón, J. P. (2016). *Off-Hour Deliveries in Bogotá Manager of the Public Private logistics office for Bogotá-Cundinamarca*.
- Dias, P. A. P., Yoshizaki, H., Favero, P., & Vieira, J. G. V. (2019). Daytime or overnight deliveries? Perceptions of drivers and retailers in São Paulo City. *Sustainability (Switzerland)*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/su11226316>
- Ekta, S., & Devendra, P. S. (s/f). *Decongesting Urban Roads: An Investigation into Causes and Challenges*. <http://www.springer.com/series/15087>
- Estrada, M., Campos-Cacheda, J. M., & Robusté, F. (2018). Night deliveries and carrier-led consolidation strategies to improve urban goods distribution. *Transport*, 33(4), 930–947. <https://doi.org/10.3846/transport.2018.6058>
- Fergusson, A. M., Orrego, J. E., Pava, D., Bocarejo, J. P., Nuñez, M., Duarte, J., & Ospina, M. (2019). Guía de buenas prácticas de cargue y descargue en horarios no convencionales en Bogotá. Ruta de implementación de iniciativas colaborativas. *Alcaldía de Bogotá*.
- Fontoura, W. B., & Ribeiro, G. M. (2021). System dynamics for sustainable transportation policies: A systematic literature review. En *Urbe* (Vol. 13). Pontificia Universidade Catolica do Parana. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.E20200259>

- Galkin, A., Levada, V., Kyselov, V., Hulchak, O., Prunencko, D., & Voronko, I. (2022). Methods of Comparison of the Economic Order Quantity and Just-in-Time Restocking Technologies. The Case Study. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(2), A35–A43. <https://doi.org/10.26552/com.c.2022.2.a35-a43>
- Gambini, A., Mingari Scarpello, G., & Ritelli, D. (2013). Mathematical properties of EOQ models with special cost structure. *Applied Mathematical Modelling*, 37(3), 659–666. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.02.054>
- García-Laguna, J., San-José, L. A., Cárdenas-Barrón, L. E., & Sicilia, J. (2010). The integrality of the lot size in the basic EOQ and EPQ models: Applications to other production-inventory models. *Applied Mathematics and Computation*, 216(5), 1660–1672. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2010.02.042>
- Glock, C. H. (2012). Lead time reduction strategies in a single-vendor-single-buyer integrated inventory model with lot size-dependent lead times and stochastic demand. *International Journal of Production Economics*, 136(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.09.007>
- Gómez Gaviria, D. (2020). *Departamento Nacional de Planeación. Dirección de infraestructura y energía sostenible. Gran encuesta logística Colombiana.*
- Gonzalez, R. A., Ferro, R. E., & Liberona, D. (2020). Government and governance in intelligent cities, smart transportation study case in Bogotá Colombia. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(1), 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.05.002>
- Grace Hua, N., & Willems, S. P. (2016). Analytical insights into two-stage serial line supply chain safety stock. *International Journal of Production Economics*, 181, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.010>
- Gutierrez, M., & Rivera, F. A. (2021). Undershoot and order quantity probability distributions in periodic review, reorder point, order-up-to-level inventory systems with continuous demand. *Applied Mathematical Modelling*, 91, 791–814. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.09.014>
- Hemalatha, S., & Annadurai, K. (2020a). Inventory models involving lead time crashing cost as an exponential function with ordering cost reduction dependent on lead time. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.271>
- Hemalatha, S., & Annadurai, K. (2020b). Inventory models involving lead time crashing cost as an exponential function with ordering cost reduction dependent on lead time. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.271>
- Heydari, J. (2014). Coordinating supplier's reorder point: A coordination mechanism for supply chains with long supplier lead time. *Computers and Operations Research*, 48, 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.03.011>
- Iida, T. (2015). Benefits of leadtime information and of its combination with demand forecast information. *International Journal of Production Economics*, 163, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.010>

- Jodlbauer, H., & Dehmer, M. (2020). An extension of the reorder point method by using advance demand spike information. *Computers and Operations Research*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105055>
- Johansen, S. G. (2019). Emergency orders in the periodic-review inventory system with fixed ordering costs and stochastic lead times for normal orders. *International Journal of Production Economics*, 209, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.017>
- Konstantaras, I., Skouri, K., & Lagodimos, A. G. (2019). EOQ with independent endogenous supply disruptions. *Omega (United Kingdom)*, 83, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.02.006>
- Li, X. (2020). Valuing lead-time and its variance in batch-ordering inventory policies. *International Journal of Production Economics*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107731>
- Mangones M, S. C., García M, J. A., Holguín M, D. O., & Orejuela L, D. A. (2021). Differences in road-Traffic crash rates during construction and non-construction times on arterial streets: A comparative statistical analysis. *Transportation Research Procedia*, 58, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.060>
- Manuel Izar Landeta, J., Berenice Ynzunza Cortés, C., & Potosí, L. (2017). *Estudio comparativo del cálculo del punto de reorden con la demanda y el tiempo de entrega poissonianos y correlacionados*. (Vol. 38, Issue 5).
- Marin Martinez, F., Campuzano Bolarin, F., Cañas Sanchez, H., & Mula Bru, J. (2021). System Dynamics model for flow time and lot sizes optimization according to quick reponse manufacturing (QRM) strategy. *DYNA*, 96(1), 105–111. <https://doi.org/10.6036/9661>
- Melis Teksan, Z., & Geunes, J. (2016). An EOQ model with price-dependent supply and demand. *International Journal of Production Economics*, 178, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.04.023>
- Miranda, S., Fera, M., Iannone, R., & Riemma, S. (2015). A multi-item constrained EOQ calculation algorithm with exit condition: A comparative analysis. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1314–1319. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.267>
- Ozkan, O., & Kilic, S. (2019). A Monte Carlo simulation for reliability estimation of logistics and supply chain networks. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2080–2085. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.512>
- Pan, J. C. H., Lo, M. C., & Hsiao, Y. C. (2004). Optimal reorder point inventory models with variable lead time and backorder discount considerations. *European Journal of Operational Research*, 158(2), 488–505. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00366-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00366-7)
- Perera, S., Janakiraman, G., & Niu, S. C. (2017). Optimality of (s, S) policies in EOQ models with general cost structures. *International Journal of Production Economics*, 187, 216–228. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.017>
- Riezebos, J., & Zhu, S. X. (2020). Inventory control with seasonality of lead times. *Omega (United Kingdom)*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102162>
- Ronald H. Ballou. (2005). *Logística Administración de la cadena de suministro. 5ta Edición*.

- Sajadieh, M. S., & Eshghi, K. (2009). Sole versus dual sourcing under order dependent lead times and prices. *Computers and Operations Research*, 36(12), 3272–3280.  
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.03.001>
- Saoud, P., Kourentzes, N., & Boylan, J. E. (2022). Approximations for the Lead Time Variance: a Forecasting and Inventory Evaluation. *Omega*, 110, 102614.  
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102614>
- Sevgen, A., & Sargut, F. Z. (2019). May reorder point help under disruptions? *International Journal of Production Economics*, 209, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.02.014>
- van Wingerden, E., Basten, R. J. I., Dekker, R., & Rustenburg, W. D. (2014). More grip on inventory control through improved forecasting: A comparative study at three companies. *International Journal of Production Economics*, 157(1), 220–237.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.08.018>
- Xie, K., Ozbay, K., Yang, H., Holguín-Veras, J., & Morgul, E. F. (2015). Modeling safety impacts of off-hour delivery programs in urban areas. *Transportation Research Record*, 2478, 19–27. <https://doi.org/10.3141/2478-03>
- Yang, G., Ronald, R. J., & Chu, P. (2005). Inventory models with variable lead time and present value. *European Journal of Operational Research*, 164(2), 358–366.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.09.030>
- Zied, M., Baba'ı, B., & Dallery, Y. (2005). *An analysis of forecast based reorder point policies: The benefit of using forecasts.*

## ANEXOS

Resultados SPSS sobre datos del observatorio de movimiento de carga de larga, media y corta distancia desarrollado por la Universidad de La Sabana

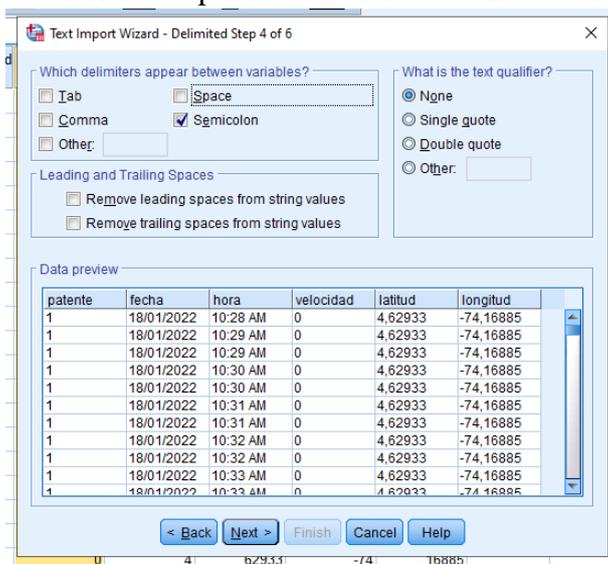


Ilustración 5 Importe de datos a SPSS.

### Case Processing Summary

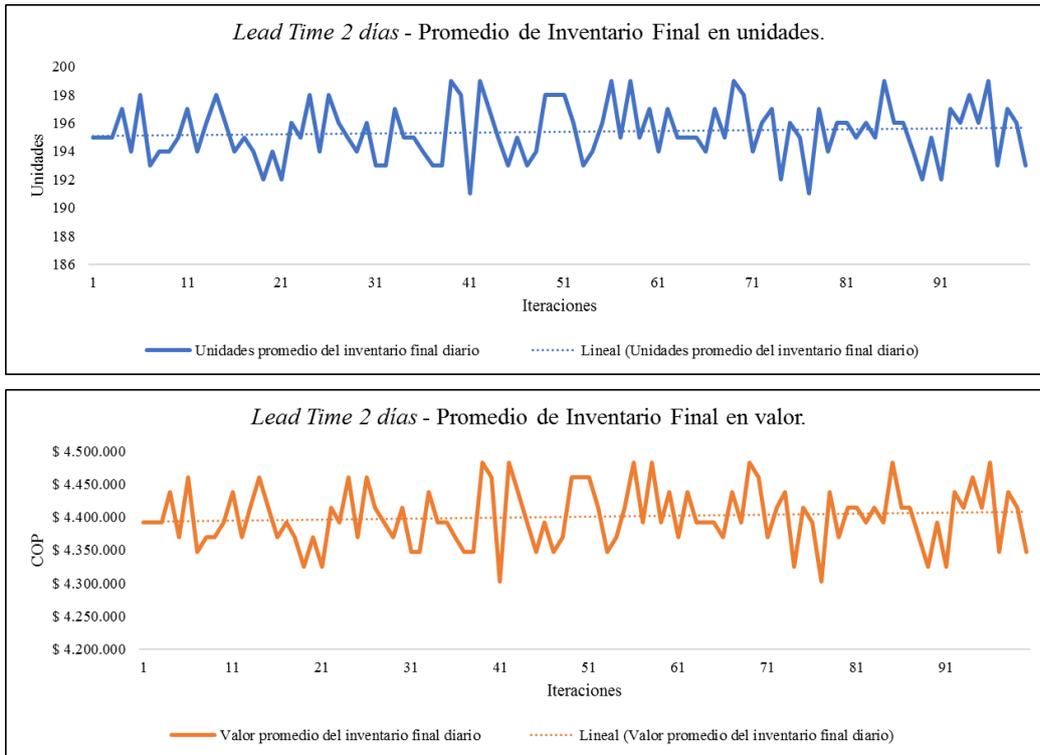
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
velocidad	534469	100.0%	0	0.0%	534469	100.0%

### Descriptives

		Statistic	Std. Error
velocidad	Mean	31.89	.030
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	31.83
		Upper Bound	31.94
5% Trimmed Mean		30.85	
Median		29.00	
Variance		470.563	
Std. Deviation		21.692	
Minimum		2	
Maximum		127	
Range		125	
Interquartile Range		34	
Skewness		.555	.003
Kurtosis		-.491	.007

Ilustración 6 Estadística descriptiva – IBM SPSS Statistics.

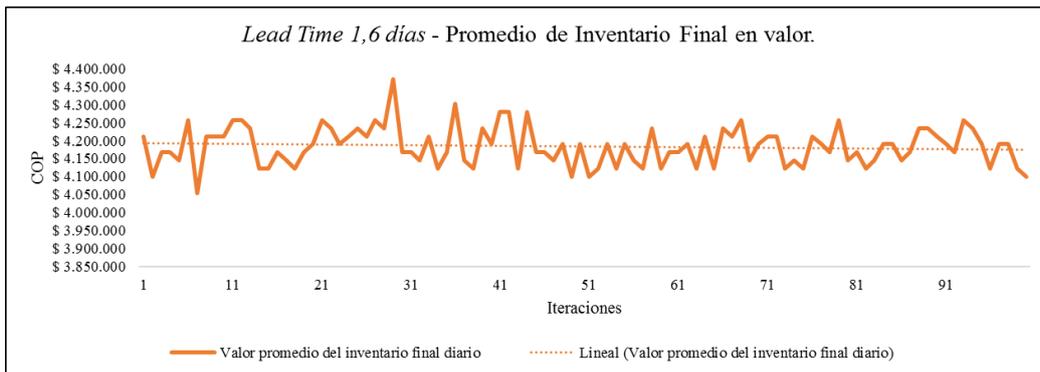
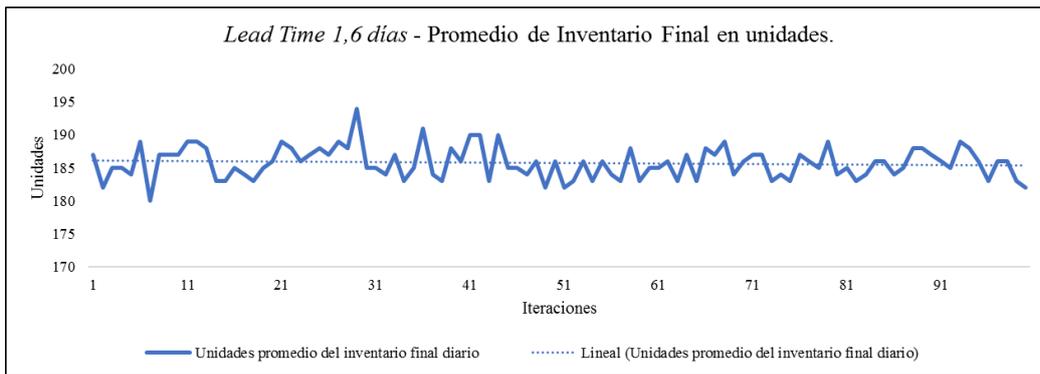
1. Resultados de la simulación Montecarlo para cada escenario propuesto de *lead time* del ciclo de la orden.



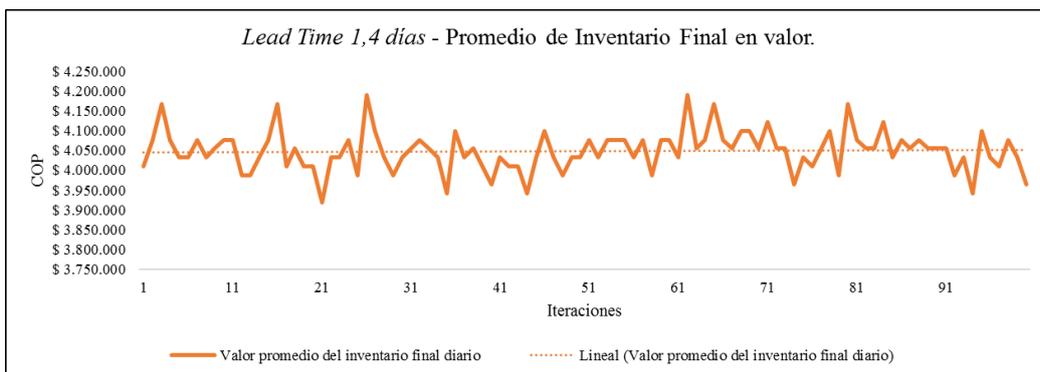
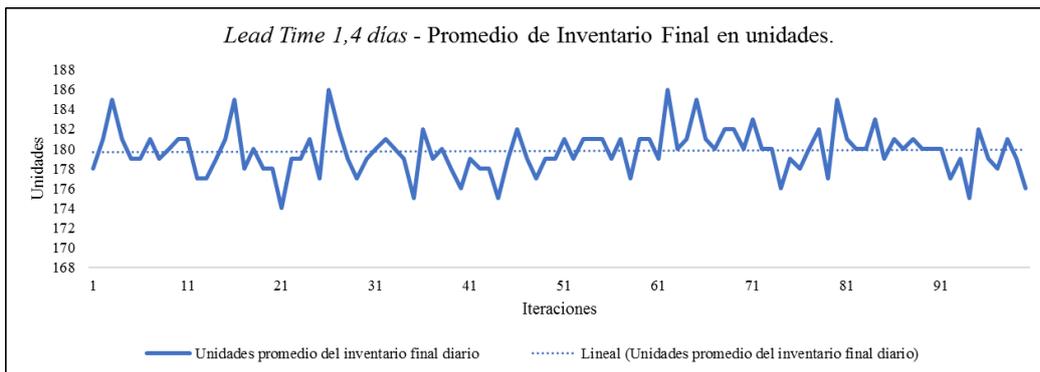
*Ilustración 7 Lead Time 2 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales.*



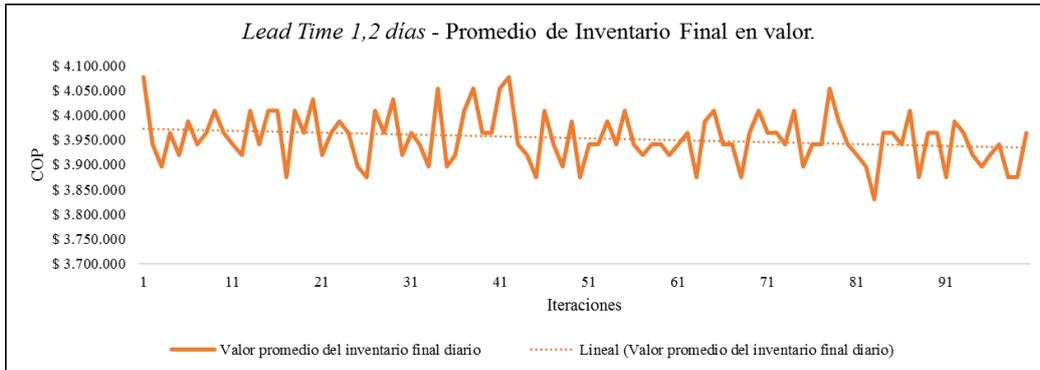
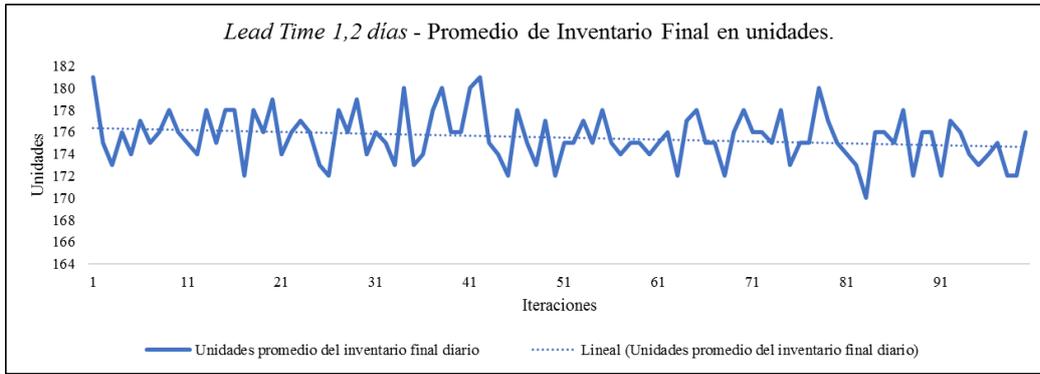
*Ilustración 8 Lead Time 1.8 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales.*



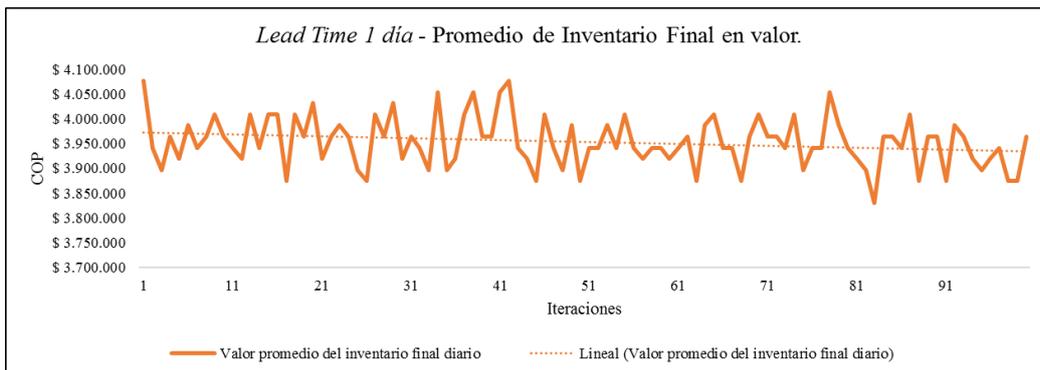
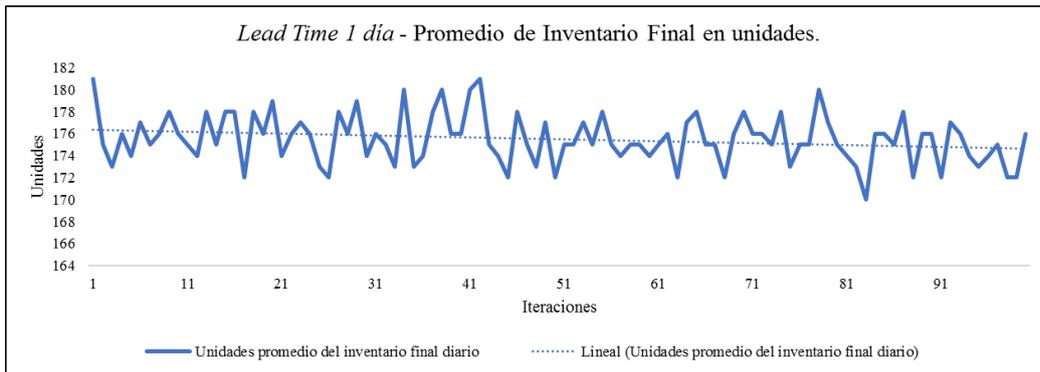
*Ilustración 9 Lead Time 1.6 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales.*



*Ilustración 10 Lead Time 1.4 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales.*



*Ilustración 11 Lead Time 1.2 días – Promedio de inventario final en unidades y valores finales.*



*Ilustración 12 Lead Time 1 día – Promedio de inventario final en unidades y valores finales.*

**Leadtime  
Base  
LEADTIME 2 DÍAS**

Iteraciones	Unidades promedio del inventario final diario	Valor promedio del inventario final diario
1	195	\$ 4.392.375
2	195	\$ 4.392.375
3	195	\$ 4.392.375
4	197	\$ 4.437.425
5	194	\$ 4.369.850
6	198	\$ 4.459.950
7	193	\$ 4.347.325
8	194	\$ 4.369.850
9	194	\$ 4.369.850
10	195	\$ 4.392.375
11	197	\$ 4.437.425
12	194	\$ 4.369.850
13	196	\$ 4.414.900
14	198	\$ 4.459.950
15	196	\$ 4.414.900
16	194	\$ 4.369.850
17	195	\$ 4.392.375
18	194	\$ 4.369.850
19	192	\$ 4.324.800
20	194	\$ 4.369.850
21	192	\$ 4.324.800
22	196	\$ 4.414.900
23	195	\$ 4.392.375
24	198	\$ 4.459.950
25	194	\$ 4.369.850
26	198	\$ 4.459.950
27	196	\$ 4.414.900
28	195	\$ 4.392.375
29	194	\$ 4.369.850
30	196	\$ 4.414.900
31	193	\$ 4.347.325
32	193	\$ 4.347.325
33	197	\$ 4.437.425
34	195	\$ 4.392.375
35	195	\$ 4.392.375
36	194	\$ 4.369.850
37	193	\$ 4.347.325
38	193	\$ 4.347.325
39	199	\$ 4.482.475
40	198	\$ 4.459.950
41	191	\$ 4.302.275

**Cargue y descargue en horarios no convencionales  
LEADTIME 1.8 DÍAS**

Iteraciones	Unidades promedio del inventario final diario	Valor promedio del inventario final diario
1	188	\$ 4.234.700
2	193	\$ 4.347.325
3	189	\$ 4.257.225
4	190	\$ 4.279.750
5	190	\$ 4.279.750
6	192	\$ 4.324.800
7	189	\$ 4.257.225
8	189	\$ 4.257.225
9	190	\$ 4.279.750
10	189	\$ 4.257.225
11	191	\$ 4.302.275
12	187	\$ 4.212.175
13	192	\$ 4.324.800
14	189	\$ 4.257.225
15	190	\$ 4.279.750
16	188	\$ 4.234.700
17	191	\$ 4.302.275
18	194	\$ 4.369.850
19	191	\$ 4.302.275
20	191	\$ 4.302.275
21	192	\$ 4.324.800
22	187	\$ 4.212.175
23	191	\$ 4.302.275
24	189	\$ 4.257.225
25	193	\$ 4.347.325
26	187	\$ 4.212.175
27	188	\$ 4.234.700
28	190	\$ 4.279.750
29	194	\$ 4.369.850
30	192	\$ 4.324.800
31	191	\$ 4.302.275
32	187	\$ 4.212.175
33	191	\$ 4.302.275
34	188	\$ 4.234.700
35	191	\$ 4.302.275
36	190	\$ 4.279.750
37	194	\$ 4.369.850
38	193	\$ 4.347.325
39	195	\$ 4.392.375
40	187	\$ 4.212.175
41	192	\$ 4.324.800

42	199	\$ 4.482.475
43	197	\$ 4.437.425
44	195	\$ 4.392.375
45	193	\$ 4.347.325
46	195	\$ 4.392.375
47	193	\$ 4.347.325
48	194	\$ 4.369.850
49	198	\$ 4.459.950
50	198	\$ 4.459.950
51	198	\$ 4.459.950
52	196	\$ 4.414.900
53	193	\$ 4.347.325
54	194	\$ 4.369.850
55	196	\$ 4.414.900
56	199	\$ 4.482.475
57	195	\$ 4.392.375
58	199	\$ 4.482.475
59	195	\$ 4.392.375
60	197	\$ 4.437.425
61	194	\$ 4.369.850
62	197	\$ 4.437.425
63	195	\$ 4.392.375
64	195	\$ 4.392.375
65	195	\$ 4.392.375
66	194	\$ 4.369.850
67	197	\$ 4.437.425
68	195	\$ 4.392.375
69	199	\$ 4.482.475
70	198	\$ 4.459.950
71	194	\$ 4.369.850
72	196	\$ 4.414.900
73	197	\$ 4.437.425
74	192	\$ 4.324.800
75	196	\$ 4.414.900
76	195	\$ 4.392.375
77	191	\$ 4.302.275
78	197	\$ 4.437.425
79	194	\$ 4.369.850
80	196	\$ 4.414.900
81	196	\$ 4.414.900
82	195	\$ 4.392.375
83	196	\$ 4.414.900
84	195	\$ 4.392.375
85	199	\$ 4.482.475
86	196	\$ 4.414.900
87	196	\$ 4.414.900
88	194	\$ 4.369.850
89	192	\$ 4.324.800
90	195	\$ 4.392.375
91	192	\$ 4.324.800

42	190	\$ 4.279.750
43	191	\$ 4.302.275
44	189	\$ 4.257.225
45	190	\$ 4.279.750
46	189	\$ 4.257.225
47	190	\$ 4.279.750
48	194	\$ 4.369.850
49	192	\$ 4.324.800
50	187	\$ 4.212.175
51	188	\$ 4.234.700
52	189	\$ 4.257.225
53	188	\$ 4.234.700
54	191	\$ 4.302.275
55	191	\$ 4.302.275
56	192	\$ 4.324.800
57	191	\$ 4.302.275
58	191	\$ 4.302.275
59	191	\$ 4.302.275
60	188	\$ 4.234.700
61	192	\$ 4.324.800
62	191	\$ 4.302.275
63	193	\$ 4.347.325
64	190	\$ 4.279.750
65	191	\$ 4.302.275
66	190	\$ 4.279.750
67	190	\$ 4.279.750
68	186	\$ 4.189.650
69	190	\$ 4.279.750
70	190	\$ 4.279.750
71	191	\$ 4.302.275
72	191	\$ 4.302.275
73	191	\$ 4.302.275
74	188	\$ 4.234.700
75	189	\$ 4.257.225
76	189	\$ 4.257.225
77	194	\$ 4.369.850
78	191	\$ 4.302.275
79	190	\$ 4.279.750
80	192	\$ 4.324.800
81	190	\$ 4.279.750
82	192	\$ 4.324.800
83	190	\$ 4.279.750
84	191	\$ 4.302.275
85	192	\$ 4.324.800
86	191	\$ 4.302.275
87	192	\$ 4.324.800
88	193	\$ 4.347.325
89	191	\$ 4.302.275
90	187	\$ 4.212.175
91	191	\$ 4.302.275

92	197	\$ 4.437.425
93	196	\$ 4.414.900
94	198	\$ 4.459.950
95	196	\$ 4.414.900
96	199	\$ 4.482.475
97	193	\$ 4.347.325
98	197	\$ 4.437.425
99	196	\$ 4.414.900
100	193	\$ 4.347.325

92	192	\$ 4.324.800
93	192	\$ 4.324.800
94	193	\$ 4.347.325
95	191	\$ 4.302.275
96	190	\$ 4.279.750
97	188	\$ 4.234.700
98	193	\$ 4.347.325
99	190	\$ 4.279.750
100	188	\$ 4.234.700

Tabla 6 Lead Time 2 & 1.8 días

**LEADTIME 1.6 DÍAS**

Iteraciones	Unidades promedio del inventario final diario	Valor promedio del inventario final diario
1	187	\$ 4.212.175
2	182	\$ 4.099.550
3	185	\$ 4.167.125
4	185	\$ 4.167.125
5	184	\$ 4.144.600
6	189	\$ 4.257.225
7	180	\$ 4.054.500
8	187	\$ 4.212.175
9	187	\$ 4.212.175
10	187	\$ 4.212.175
11	189	\$ 4.257.225
12	189	\$ 4.257.225
13	188	\$ 4.234.700
14	183	\$ 4.122.075
15	183	\$ 4.122.075
16	185	\$ 4.167.125
17	184	\$ 4.144.600
18	183	\$ 4.122.075
19	185	\$ 4.167.125
20	186	\$ 4.189.650
21	189	\$ 4.257.225
22	188	\$ 4.234.700
23	186	\$ 4.189.650
24	187	\$ 4.212.175
25	188	\$ 4.234.700
26	187	\$ 4.212.175
27	189	\$ 4.257.225
28	188	\$ 4.234.700
29	194	\$ 4.369.850
30	185	\$ 4.167.125
31	185	\$ 4.167.125
32	184	\$ 4.144.600
33	187	\$ 4.212.175

**LEADTIME 1.4 DÍAS**

Iteraciones	Unidades promedio del inventario final diario	Valor promedio del inventario final diario
1	178	\$ 4.009.450
2	181	\$ 4.077.025
3	185	\$ 4.167.125
4	181	\$ 4.077.025
5	179	\$ 4.031.975
6	179	\$ 4.031.975
7	181	\$ 4.077.025
8	179	\$ 4.031.975
9	180	\$ 4.054.500
10	181	\$ 4.077.025
11	181	\$ 4.077.025
12	177	\$ 3.986.925
13	177	\$ 3.986.925
14	179	\$ 4.031.975
15	181	\$ 4.077.025
16	185	\$ 4.167.125
17	178	\$ 4.009.450
18	180	\$ 4.054.500
19	178	\$ 4.009.450
20	178	\$ 4.009.450
21	174	\$ 3.919.350
22	179	\$ 4.031.975
23	179	\$ 4.031.975
24	181	\$ 4.077.025
25	177	\$ 3.986.925
26	186	\$ 4.189.650
27	182	\$ 4.099.550
28	179	\$ 4.031.975
29	177	\$ 3.986.925
30	179	\$ 4.031.975
31	180	\$ 4.054.500
32	181	\$ 4.077.025
33	180	\$ 4.054.500

34	183	\$ 4.122.075
35	185	\$ 4.167.125
36	191	\$ 4.302.275
37	184	\$ 4.144.600
38	183	\$ 4.122.075
39	188	\$ 4.234.700
40	186	\$ 4.189.650
41	190	\$ 4.279.750
42	190	\$ 4.279.750
43	183	\$ 4.122.075
44	190	\$ 4.279.750
45	185	\$ 4.167.125
46	185	\$ 4.167.125
47	184	\$ 4.144.600
48	186	\$ 4.189.650
49	182	\$ 4.099.550
50	186	\$ 4.189.650
51	182	\$ 4.099.550
52	183	\$ 4.122.075
53	186	\$ 4.189.650
54	183	\$ 4.122.075
55	186	\$ 4.189.650
56	184	\$ 4.144.600
57	183	\$ 4.122.075
58	188	\$ 4.234.700
59	183	\$ 4.122.075
60	185	\$ 4.167.125
61	185	\$ 4.167.125
62	186	\$ 4.189.650
63	183	\$ 4.122.075
64	187	\$ 4.212.175
65	183	\$ 4.122.075
66	188	\$ 4.234.700
67	187	\$ 4.212.175
68	189	\$ 4.257.225
69	184	\$ 4.144.600
70	186	\$ 4.189.650
71	187	\$ 4.212.175
72	187	\$ 4.212.175
73	183	\$ 4.122.075
74	184	\$ 4.144.600
75	183	\$ 4.122.075
76	187	\$ 4.212.175
77	186	\$ 4.189.650
78	185	\$ 4.167.125
79	189	\$ 4.257.225
80	184	\$ 4.144.600
81	185	\$ 4.167.125
82	183	\$ 4.122.075
83	184	\$ 4.144.600

34	179	\$ 4.031.975
35	175	\$ 3.941.875
36	182	\$ 4.099.550
37	179	\$ 4.031.975
38	180	\$ 4.054.500
39	178	\$ 4.009.450
40	176	\$ 3.964.400
41	179	\$ 4.031.975
42	178	\$ 4.009.450
43	178	\$ 4.009.450
44	175	\$ 3.941.875
45	179	\$ 4.031.975
46	182	\$ 4.099.550
47	179	\$ 4.031.975
48	177	\$ 3.986.925
49	179	\$ 4.031.975
50	179	\$ 4.031.975
51	181	\$ 4.077.025
52	179	\$ 4.031.975
53	181	\$ 4.077.025
54	181	\$ 4.077.025
55	181	\$ 4.077.025
56	179	\$ 4.031.975
57	181	\$ 4.077.025
58	177	\$ 3.986.925
59	181	\$ 4.077.025
60	181	\$ 4.077.025
61	179	\$ 4.031.975
62	186	\$ 4.189.650
63	180	\$ 4.054.500
64	181	\$ 4.077.025
65	185	\$ 4.167.125
66	181	\$ 4.077.025
67	180	\$ 4.054.500
68	182	\$ 4.099.550
69	182	\$ 4.099.550
70	180	\$ 4.054.500
71	183	\$ 4.122.075
72	180	\$ 4.054.500
73	180	\$ 4.054.500
74	176	\$ 3.964.400
75	179	\$ 4.031.975
76	178	\$ 4.009.450
77	180	\$ 4.054.500
78	182	\$ 4.099.550
79	177	\$ 3.986.925
80	185	\$ 4.167.125
81	181	\$ 4.077.025
82	180	\$ 4.054.500
83	180	\$ 4.054.500

84	186	\$ 4.189.650
85	186	\$ 4.189.650
86	184	\$ 4.144.600
87	185	\$ 4.167.125
88	188	\$ 4.234.700
89	188	\$ 4.234.700
90	187	\$ 4.212.175
91	186	\$ 4.189.650
92	185	\$ 4.167.125
93	189	\$ 4.257.225
94	188	\$ 4.234.700
95	186	\$ 4.189.650
96	183	\$ 4.122.075
97	186	\$ 4.189.650
98	186	\$ 4.189.650
99	183	\$ 4.122.075
100	182	\$ 4.099.550

84	183	\$ 4.122.075
85	179	\$ 4.031.975
86	181	\$ 4.077.025
87	180	\$ 4.054.500
88	181	\$ 4.077.025
89	180	\$ 4.054.500
90	180	\$ 4.054.500
91	180	\$ 4.054.500
92	177	\$ 3.986.925
93	179	\$ 4.031.975
94	175	\$ 3.941.875
95	182	\$ 4.099.550
96	179	\$ 4.031.975
97	178	\$ 4.009.450
98	181	\$ 4.077.025
99	179	\$ 4.031.975
100	176	\$ 3.964.400

Tabla 7 Lead Time 1.6 & 1.4 días

**LEADTIME 1.2 DÍAS**

Iteraciones	Unidades promedio del inventario final diario	Valor promedio del inventario final diario
1	181	\$ 4.077.025
2	175	\$ 3.941.875
3	173	\$ 3.896.825
4	176	\$ 3.964.400
5	174	\$ 3.919.350
6	177	\$ 3.986.925
7	175	\$ 3.941.875
8	176	\$ 3.964.400
9	178	\$ 4.009.450
10	176	\$ 3.964.400
11	175	\$ 3.941.875
12	174	\$ 3.919.350
13	178	\$ 4.009.450
14	175	\$ 3.941.875
15	178	\$ 4.009.450
16	178	\$ 4.009.450
17	172	\$ 3.874.300
18	178	\$ 4.009.450
19	176	\$ 3.964.400
20	179	\$ 4.031.975
21	174	\$ 3.919.350
22	176	\$ 3.964.400
23	177	\$ 3.986.925
24	176	\$ 3.964.400
25	173	\$ 3.896.825

**LEADTIME 1 DÍA**

Iteraciones	Unidades promedio del inventario final diario	Valor promedio del inventario final diario
1	170	\$ 3.829.250
2	174	\$ 3.919.350
3	166	\$ 3.739.150
4	171	\$ 3.851.775
5	168	\$ 3.784.200
6	168	\$ 3.784.200
7	169	\$ 3.806.725
8	166	\$ 3.739.150
9	173	\$ 3.896.825
10	173	\$ 3.896.825
11	171	\$ 3.851.775
12	171	\$ 3.851.775
13	170	\$ 3.829.250
14	168	\$ 3.784.200
15	171	\$ 3.851.775
16	173	\$ 3.896.825
17	170	\$ 3.829.250
18	169	\$ 3.806.725
19	171	\$ 3.851.775
20	171	\$ 3.851.775
21	169	\$ 3.806.725
22	169	\$ 3.806.725
23	169	\$ 3.806.725
24	174	\$ 3.919.350
25	172	\$ 3.874.300

26	172	\$ 3.874.300
27	178	\$ 4.009.450
28	176	\$ 3.964.400
29	179	\$ 4.031.975
30	174	\$ 3.919.350
31	176	\$ 3.964.400
32	175	\$ 3.941.875
33	173	\$ 3.896.825
34	180	\$ 4.054.500
35	173	\$ 3.896.825
36	174	\$ 3.919.350
37	178	\$ 4.009.450
38	180	\$ 4.054.500
39	176	\$ 3.964.400
40	176	\$ 3.964.400
41	180	\$ 4.054.500
42	181	\$ 4.077.025
43	175	\$ 3.941.875
44	174	\$ 3.919.350
45	172	\$ 3.874.300
46	178	\$ 4.009.450
47	175	\$ 3.941.875
48	173	\$ 3.896.825
49	177	\$ 3.986.925
50	172	\$ 3.874.300
51	175	\$ 3.941.875
52	175	\$ 3.941.875
53	177	\$ 3.986.925
54	175	\$ 3.941.875
55	178	\$ 4.009.450
56	175	\$ 3.941.875
57	174	\$ 3.919.350
58	175	\$ 3.941.875
59	175	\$ 3.941.875
60	174	\$ 3.919.350
61	175	\$ 3.941.875
62	176	\$ 3.964.400
63	172	\$ 3.874.300
64	177	\$ 3.986.925
65	178	\$ 4.009.450
66	175	\$ 3.941.875
67	175	\$ 3.941.875
68	172	\$ 3.874.300
69	176	\$ 3.964.400
70	178	\$ 4.009.450
71	176	\$ 3.964.400
72	176	\$ 3.964.400
73	175	\$ 3.941.875
74	178	\$ 4.009.450
75	173	\$ 3.896.825

26	175	\$ 3.941.875
27	168	\$ 3.784.200
28	169	\$ 3.806.725
29	170	\$ 3.829.250
30	170	\$ 3.829.250
31	167	\$ 3.761.675
32	169	\$ 3.806.725
33	173	\$ 3.896.825
34	171	\$ 3.851.775
35	168	\$ 3.784.200
36	170	\$ 3.829.250
37	170	\$ 3.829.250
38	168	\$ 3.784.200
39	170	\$ 3.829.250
40	169	\$ 3.806.725
41	172	\$ 3.874.300
42	172	\$ 3.874.300
43	166	\$ 3.739.150
44	169	\$ 3.806.725
45	171	\$ 3.851.775
46	170	\$ 3.829.250
47	173	\$ 3.896.825
48	168	\$ 3.784.200
49	170	\$ 3.829.250
50	170	\$ 3.829.250
51	169	\$ 3.806.725
52	169	\$ 3.806.725
53	172	\$ 3.874.300
54	170	\$ 3.829.250
55	172	\$ 3.874.300
56	169	\$ 3.806.725
57	172	\$ 3.874.300
58	171	\$ 3.851.775
59	170	\$ 3.829.250
60	171	\$ 3.851.775
61	172	\$ 3.874.300
62	170	\$ 3.829.250
63	171	\$ 3.851.775
64	166	\$ 3.739.150
65	170	\$ 3.829.250
66	168	\$ 3.784.200
67	169	\$ 3.806.725
68	167	\$ 3.761.675
69	172	\$ 3.874.300
70	169	\$ 3.806.725
71	170	\$ 3.829.250
72	172	\$ 3.874.300
73	172	\$ 3.874.300
74	172	\$ 3.874.300
75	172	\$ 3.874.300

76	175	\$ 3.941.875
77	175	\$ 3.941.875
78	180	\$ 4.054.500
79	177	\$ 3.986.925
80	175	\$ 3.941.875
81	174	\$ 3.919.350
82	173	\$ 3.896.825
83	170	\$ 3.829.250
84	176	\$ 3.964.400
85	176	\$ 3.964.400
86	175	\$ 3.941.875
87	178	\$ 4.009.450
88	172	\$ 3.874.300
89	176	\$ 3.964.400
90	176	\$ 3.964.400
91	172	\$ 3.874.300
92	177	\$ 3.986.925
93	176	\$ 3.964.400
94	174	\$ 3.919.350
95	173	\$ 3.896.825
96	174	\$ 3.919.350
97	175	\$ 3.941.875
98	172	\$ 3.874.300
99	172	\$ 3.874.300
100	176	\$ 3.964.400

76	171	\$ 3.851.775
77	170	\$ 3.829.250
78	174	\$ 3.919.350
79	169	\$ 3.806.725
80	176	\$ 3.964.400
81	168	\$ 3.784.200
82	165	\$ 3.716.625
83	168	\$ 3.784.200
84	170	\$ 3.829.250
85	167	\$ 3.761.675
86	171	\$ 3.851.775
87	170	\$ 3.829.250
88	168	\$ 3.784.200
89	169	\$ 3.806.725
90	170	\$ 3.829.250
91	172	\$ 3.874.300
92	169	\$ 3.806.725
93	168	\$ 3.784.200
94	172	\$ 3.874.300
95	172	\$ 3.874.300
96	166	\$ 3.739.150
97	172	\$ 3.874.300
98	169	\$ 3.806.725
99	173	\$ 3.896.825
100	171	\$ 3.851.775

Tabla 8 Lead Time 1.2 & 1 días

Módulo de estadística descriptiva para cada uno de los escenarios propuestos del *lead time*.

Leadtime 2 días	Unidades promedio del inventario final diario	Valor promedio del inventario final diario
Media	195,37	Media \$ 4.400.709
Error típico	0,196769362	Error típico \$ 4.432
Mediana	195	Mediana \$ 4.392.375
Moda	195	Moda \$ 4.392.375
Desviación estándar	1,96769362	Desviación estándar \$ 44.322
Varianza de la muestra	3,871818182	Varianza de la muestra 1964466170
Curtosis	-0,570065044	Curtosis -0,570065044
Coefficiente de asimetría	0,043916006	Coefficiente de asimetría 0,043916006
Rango	8	Rango 180200
Mínimo	191	Mínimo \$ 4.302.275
Máximo	199	Máximo \$ 4.482.475
Suma	19537	Suma 440070925
Cuenta	100	Cuenta 100

Tabla 9 Lead Time 2 días, Módulo de estadística descriptiva.

<i>Leadtime 1,8 días</i>	<i>Unidades promedio del inventario final diario</i>	<i>Valor promedio del inventario final diario</i>	
Media	190,43	Media	\$ 4.289.436
Error típico	0,190827544	Error típico	\$ 4.298
Mediana	191	Mediana	\$ 4.302.275
Moda	191	Moda	\$ 4.302.275
Desviación estándar	1,908275439	Desviación estándar	\$ 42.984
Varianza de la muestra	3,641515152	Varianza de la muestra	1847616026
Curtosis	-0,348859845	Curtosis	-0,348859845
Coefficiente de asimetría	-0,068242443	Coefficiente de asimetría	-0,068242443
Rango	9	Rango	202725
Mínimo	186	Mínimo	\$ 4.189.650
Máximo	195	Máximo	\$ 4.392.375
Suma	19043	Suma	428943575
Cuenta	100	Cuenta	100

*Tabla 10 Lead Time 1.8 días, Módulo de estadística descriptiva.*

<i>Leadtime 1,6 días</i>	<i>Unidades promedio del inventario final diario</i>	<i>Valor promedio del inventario final diario</i>	
Media	185,72	Media	\$ 4.183.343
Error típico	0,239139873	Error típico	\$ 5.387
Mediana	186	Mediana	\$ 4.189.650
Moda	183	Moda	\$ 4.122.075
Desviación estándar	2,391398729	Desviación estándar	\$ 53.866
Varianza de la muestra	5,718787879	Varianza de la muestra	2901573574
Curtosis	0,379659916	Curtosis	0,379659916
Coefficiente de asimetría	0,438463828	Coefficiente de asimetría	0,438463828
Rango	14	Rango	315350
Mínimo	180	Mínimo	\$ 4.054.500
Máximo	194	Máximo	\$ 4.369.850
Suma	18572	Suma	418334300
Cuenta	100	Cuenta	100

*Tabla 11 Lead Time 1.6 días, Módulo de estadística descriptiva.*

<i>Leadtime 1,4 días</i>	<i>Unidades promedio del inventario final diario</i>	<i>Valor promedio del inventario final diario</i>	
Media	179,75	Media	\$ 4.048.869
Error típico	0,2297891	Error típico	\$ 5.176
Mediana	180	Mediana	\$ 4.054.500
Moda	179	Moda	\$ 4.031.975
Desviación estándar	2,297890996	Desviación estándar	\$ 51.760
Varianza de la muestra	5,28030303	Varianza de la muestra	2679097050
Curtosis	0,874351343	Curtosis	0,874351343
Coefficiente de asimetría	0,308040771	Coefficiente de asimetría	0,308040771
Rango	12	Rango	270300
Mínimo	174	Mínimo	\$ 3.919.350
Máximo	186	Máximo	\$ 4.189.650
Suma	17975	Suma	404886875
Cuenta	100	Cuenta	100

*Tabla 12 Lead Time 1.4 días, Módulo de estadística descriptiva.*

<i>Leadtime 1,2 días</i>	<i>Unidades promedio del inventario final diario</i>	<i>Valor promedio del inventario final diario</i>	
Media	175,51	Media	\$ 3.953.363
Error típico	0,224955663	Error típico	\$ 5.067
Mediana	175	Mediana	\$ 3.941.875
Moda	175	Moda	\$ 3.941.875
Desviación estándar	2,249556634	Desviación estándar	\$ 50.671
Varianza de la muestra	5,060505051	Varianza de la muestra	2567576913
Curtosis	-0,121603493	Curtosis	-0,121603493
Coficiente de asimetría	0,214782851	Coficiente de asimetría	0,214782851
Rango	11	Rango	247775
Mínimo	170	Mínimo	\$ 3.829.250
Máximo	181	Máximo	\$ 4.077.025
Suma	17551	Suma	395336275
Cuenta	100	Cuenta	100

*Tabla 13 Lead Time 1.2 días, Módulo de estadística descriptiva.*

<i>Leadtime 1 día</i>	<i>Unidades promedio del inventario final diario</i>	<i>Valor promedio del inventario final diario</i>	
Media	170,11	Media	\$ 3.831.728
Error típico	0,210288402	Error típico	\$ 4.737
Mediana	170	Mediana	\$ 3.829.250
Moda	170	Moda	\$ 3.829.250
Desviación estándar	2,102884023	Desviación estándar	\$ 47.367
Varianza de la muestra	4,422121212	Varianza de la muestra	2243676514
Curtosis	0,061578534	Curtosis	0,061578534
Coficiente de asimetría	0,058075446	Coficiente de asimetría	0,058075446
Rango	11	Rango	247775
Mínimo	165	Mínimo	\$ 3.716.625
Máximo	176	Máximo	\$ 3.964.400
Suma	17011	Suma	383172775
Cuenta	100	Cuenta	100

*Tabla 14 Lead Time 1 día, Módulo de estadística descriptiva.*