

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



Implementación de método de simulación para la validación y optimización de los procesos de distribución y logística en el modelo de negocios de una empresa proveedora de servicios de energía solar

Trabajo de graduación presentado por Francisco Moralejo Giono en modalidad de tesis para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala 2022

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



Implementación de método de simulación para la validación y optimización de los procesos de distribución y logística en el modelo de negocios de una empresa proveedora de servicios de energía solar

Trabajo de graduación presentado por Francisco Moralejo Giono en modalidad de tesis para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala 2022

Vo. Bo.:

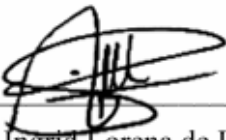


(f) _____
Licenciado Roberto Amílcar Hernández Chacón

Tribunal examinador:



(f) _____
Licenciado Roberto Amílcar Hernández Chacón



(f) _____
Inga. Ingrid Lorena de León Vilaseca



(f) _____
Ing. Mardoqueo Velásquez Gómez

PREFACIO

El presente trabajo de graduación se encuentra inspirado por el fuerte interés hacia la implementación de tecnologías de punta para la optimización e innovación en operaciones, negocios y procesos que los estudios y vida profesional han despertado. Especialmente en aplicar nuevos e innovadores métodos que permitan a empresas guatemaltecas desarrollar y optimizar modelos de negocio competitivos internacionalmente y permitirles resolver problemas de alto impacto.

Me permito agradecer a Kingo Energy por la apertura y confianza que hacen posible este trabajo y cuyo modelo de negocios y misión, cambiar las vidas de las poblaciones de bajos recursos en el área rural de Guatemala, sirven de inspiración para este proyecto.

Agradezco también a mis padres por el incondicional y desinteresado respaldo y apoyo que hacen posible este trabajo de graduación y cualquier éxito académico y profesional que le procedan.

CONTENIDO

PREFACIO	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	4
A. Objetivo general	4
B. Objetivos específicos	4
IV. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	5
A. Implementación de pruebas piloto	5
B. Análisis estadístico de procesos y variables	5
1. Modelos estocásticos y determinísticos	5
2. Distribuciones estadísticas	6
a. Valor esperado	6
b. Varianza	6
3. Funciones indicador	7
4. Distribución discreta	7
a. Distribución binomial	7
b. Distribución Poisson	8
c. Distribución geométrica	9
5. Distribuciones continuas	10
a. Distribución triangular	10
b. Distribución normal	11
c. Distribución exponencial	12
d. Distribución beta	12
6. Validación de bondad de ajuste	13
a. Prueba Kolmorov-Smirnov	13
C. Modelos de inventario	13
1. Modelo de demanda desconocida y revisión periódica	13
2. Modelo EOQ	13
D. Método Monte Carlo	15
V. ANTECEDENTES GENERALES	16

A.	Historia de la empresa	16
B.	Descripción de la empresa	16
1.	Modelo de negocios	16
2.	Modelo de distribución/operación	17
a.	Cadena de suministro	17
b.	Equipo comercial	18
c.	Equipo de asistencia técnica	19
i.	Asesor técnico (AT)	19
ii.	Coordinador de servicio	20
iii.	Supervisor de servicio	20
d.	Equipo de venta a distribuidores	21
i.	Asesor técnico rutero (ATR)	21
VI.	MARCO METODOLÓGICO	22
A.	Fase 1: Generación de variables de interés	22
B.	Fase 2: Generación y definición de parámetros y supuestos	22
C.	Fase 3: Desarrollo de modelo para simulación	22
D.	Fase 4: Ajustes al modelo y experimentación	23
E.	Fase 5: Validación del modelo y sus resultados	23
VII.	VARIABLES DE INTERÉS	24
A.	Nivel de servicio	24
1.	Preprocesamiento del registro de llamada	24
2.	Generación de datos de visitas	25
3.	Unión de datos de visitas con tabla de tipificaciones	25
4.	Procesamiento y análisis de solicitudes de servicio	26
5.	Métricas relevantes	26
a.	Solicitud atendida	26
b.	Tiempo de servicio	26
6.	Resultados de Nivel de Servicio	27
VIII.	PARÁMETROS Y SUPUESTOS PARA LA SIMULACIÓN	28
A.	Parámetros	28
1.	Cumplimiento de ruta	28
a.	Definición de cumplimiento ruta	28
b.	Seguimiento al cumplimiento	28
c.	Análisis de cumplimiento de ruta	29
2.	Tiempo de visita por tienda	30
a.	Descripción del parámetro de tiempo de visita	30
b.	Análisis de geocercas para registro de ubicación de agentes	31
c.	Resultado del análisis de geocercas para calcular tiempo de visita de usuario	33
3.	Selección de territorios para simulación	33

a.	Selección de territorios de venta	33
b.	Selección de rutas de abasto	34
c.	Tiempos de ruta y tenderos contenidos	34
4.	Ruta de abasto	36
a.	Creación de polígonos de abasto	36
b.	Estimación de métricas para simulación	36
c.	Simulación Monte Carlo para la validación de polígonos de abasto	38
d.	Cronología de ruta de abasto	41
5.	Edad de los usuarios	41
6.	Corrida de la simulación	42
B.	Supuestos de la simulación	43
1.	Tiempo de visita de usuario a tendero	43
2.	Patrones de consumo	43
a.	Proporción de usuarios en cada patrón de consumo	43
3.	Actividad de los usuarios	44
4.	Versión del sistema solar de los usuarios	44
5.	Operación de bodega y talleres	46
6.	Probabilidad de fallo	46
IX.	DESAROLLO DE MODELO PARA SIMULACIÓN	48
A.	Estructuración Jerárquica de Objetos Simulados	48
B.	Definición de objetos simulados	49
1.	Usuario	49
a.	Variables de estado	49
b.	Visualización externa del usuario	49
2.	Orden	50
a.	Variables de estado	50
b.	Visualización externa de entidad orden	51
3.	Agente de ventas	51
a.	Establecimiento de la ruta y tiempos	52
b.	Horario de trabajo	53
c.	Visualización externa de agente de ventas	53
4.	Agente de abasto	53
a.	Establecimiento de ruta y tiempos	54
a.	Horario de trabajo	55
b.	Visualización externa de agente de abasto	55
5.	Tendero	56
a.	Procesos tendero	57
i.	Atención al usuario	57
ii.	Atención al agente de ventas	59

iii. Atención al agente de abasto	62
C. Modelo Rhino	65
1. Sincronización de órdenes	65
2. Taller y bodega	66
D. Resultados preliminares de la simulación	67
1. Nivel de servicio	68
a. Comparación con de modelo Rhino y Phoenix	70
2. Tiempo por etapa de la orden	72
a. Tiempo de recepción de orden	72
b. Tiempo en taller	73
c. Tiempo en espera de abasto	74
d. Resumen de etapas	75
3. Otros resultados relevantes	75
a. Tiempo de la ruta de abasto	76
b. Órdenes en espera de carga	76
c. Cantidad de órdenes creadas	77
d. Órdenes en ruta	78
e. Tiendas visitas por ruta de abasto	79
X. EXPERIMENTACIÓN CON PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN	81
A. Diseño de Experimentos	83
1. Experimentación con capacidad del camión de abasto	83
2. Experimentación con camión de abasto adicional	84
XI. RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN	85
A. Resumen de los resultados	85
B. Comparación de Resultados	87
C. Propuesta de mejoras al Modelo	90
D. Recomendaciones y Aplicaciones del Modelo	90
XII. CONCLUSIONES	91
XIII. RECOMENDACIONES	92
XIV. ANEXOS	95
XV. REFERENCIAS	93

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Orden de procesamiento de tipificaciones.....	25
Cuadro 2 Datos de cumplimiento de ruta de un agente de ventas	28
Cuadro 3 Resumen de cumplimiento de ruta.....	29
Cuadro 4 Ejemplo de resultados análisis tiempo de visita	32
Cuadro 5 Velocidad por tipo de camino.....	35
Cuadro 6 Tiempos y kingos ruta de ventas.....	35
Cuadro 7 Resumen de simulación de polígonos de abasto.....	40
Cuadro 8 Patrón de compra según proporción histórica.....	44
Cuadro 9 Modelos de sistemas instalados	44
Cuadro 10 Versiones de sistemas instalados	45
Cuadro 11 Modelos y versiones de sistemas instalados.....	45
Cuadro 12 Probabilidad mensual de fallo.....	46
Cuadro 13 Tiempo de entrega orden	69
Cuadro 14 Cantidad de órdenes creadas y entregadas.....	70
Cuadro 15 Prueba T de significancia de diferencia de medias	71
Cuadro 16 Comparación del tiempo de atención Phoenix-Rhino.....	71
Cuadro 17 Resumen de tiempo de recepción de orden	73
Cuadro 18 Resumen de tiempo en taller de la orden.....	74
Cuadro 19 Resumen de tiempo en espera de abasto de la orden	75
Cuadro 20 Resumen del tiempo de la ruta de abasto	76
Cuadro 21 Matriz de correlación de variables	82
Cuadro 22 Serie de experimentación #1.....	84
Cuadro 23 Serie de experimentación #2.....	84
Cuadro 24 Comparación de resultados de los experimentos	87

LISTA DE GRÁFICOS

Ilustración 1 Ciclo de continua experimentación.....	5
Ilustración 2 Gráfica de distribución binomial	7
Ilustración 3 Gráfica de la función de probabilidad de masa de una distribución Poisson	8
Ilustración 4 Gráfica de distribución de probabilidad acumulada de la distribución geométrica.....	9
Ilustración 5 Gráfica de función de probabilidad de masa de distribución geométrica	9
Ilustración 6 Gráficas de distribución triangular (PDF izquierda, CDF derecha).....	10
Ilustración 7 Gráfica de distribución de probabilidad acumulada de la distribución normal	11
Ilustración 8 Gráfica de densidad de masa para una distribución normal	11
Ilustración 9 Gráficas de la distribución exponencial	12
Ilustración 10 Modelo de inventario EOQ.....	15
Ilustración 11 Mapa de territorios de servicio, segmentado por asesor técnico	19
Ilustración 12 Áreas de los coordinadores de servicio	20
Ilustración 13 Regiones supervisores de servicios	20
Ilustración 14 Mapa de territorios y áreas de ventas	21
Ilustración 15 Histograma de cumplimiento de ruta	30
Ilustración 16 Registro de ubicación de agentes de ventas.....	31
Ilustración 17 Visualización de análisis de geocercas.....	32
Ilustración 18 Histograma y resultados de tiempo de visita	33
Ilustración 19 Mapa de caminos Kingo.....	35
Ilustración 20 Estimación de cantidad de órdenes por tendero.....	38
Ilustración 21 Estimación de tasa semanal de tenderos con órdenes	38
Ilustración 22 Herramienta de ruteo Kingo	39
Ilustración 23 Cronología de ruta base de abasto.....	41
Ilustración 24 Distribución de la edad de los sistemas instalados	42
Ilustración 25 Árbol de jerarquía de objetos a modelar.....	48
Ilustración 26 Visualización externa de la entidad de usuario.....	49
Ilustración 27 Visualización externada de entidad orden	51
Ilustración 28 Conexión cronológica entre tenderos.....	52
Ilustración 29 Tiempo de llegada y salida de tenderos.....	52
Ilustración 30 Visualización de agente de ventas.....	53
Ilustración 31 Rutas de abasto	54
Ilustración 32 Visualización de agente de abasto.....	55
Ilustración 33 Horario de atención tendero.....	56
Ilustración 34 Visualización interna del tendero.....	57
Ilustración 35 Subproceso selección de tipo de tarea	58

Ilustración 36 Proceso de atención al usuario en tendero.....	58
Ilustración 37 Procesos Simio de compra de saldo y creación de orden.....	59
Ilustración 38 Proceso de atención al agente de ventas.....	60
Ilustración 39 Proceso de revisión de ordenes.....	61
Ilustración 40 Configuración de modelo de inventario para balance del tendero.....	61
Ilustración 41 Proceso de visita de abasto.....	62
Ilustración 42 Proceso simulación de entrega de órdenes.....	63
Ilustración 43 Revisión de ingreso a tienda.....	64
Ilustración 44 Proceso de sincronización de órdenes.....	65
Ilustración 45 Visualización taller y bodega.....	66
Ilustración 46 Proceso de picking y llenado de camión.....	67
Ilustración 47 Tiempo de entrega de órdenes.....	69
Ilustración 48 Tiempo de recepción orden.....	72
Ilustración 49 Tiempo en taller de la orden.....	73
Ilustración 50 Tiempo en espera abasto preliminar.....	74
Ilustración 51 Porcentaje de tiempo por etapa de la orden.....	75
Ilustración 52 Tiempo de la ruta de abasto.....	76
Ilustración 53 Cantidad de órdenes por cargar a la ruta.....	77
Ilustración 54 Cantidad de órdenes creadas.....	78
Ilustración 55 Órdenes en ruta.....	79
Ilustración 56 Tiendas visitadas por ruta de abasto.....	79
Ilustración 57 Tiempo de entrega de la orden en experimentos.....	85
Ilustración 58 Tiempo en espera de abasto de la orden en experimentos.....	85
Ilustración 59 Ordenes en ruta en experimentos.....	86
Ilustración 60 Prueba T de diferencia de media para experimento número 1.3 y resultado preliminar.....	87
Ilustración 61 Resultados de prueba T de diferencia de medias para Experimentos 1.2 y 1.4 contra Phoenix.....	88
Ilustración 62 Resultados de prueba T de diferencia de medias para experimento 2.6 y Phoenix.....	89

RESUMEN

Implementar cambios a los procesos de negocios de una empresa siempre presenta un gran reto para toda organización y sus integrantes. Solventar o mitigar la incertidumbre sobre el éxito e incluso la viabilidad del cambio es parte fundamental del proceso de cambio, a su vez, uno de los principales obstáculos, forzando a las organizaciones a buscar métodos que ayuden a predecir los efectos y resultados posibles, entre ellos pruebas piloto, proyecciones y simulaciones.

El foco principal de este proyecto radica en la implementación de métodos de simulación para validar y modificar el diseño de un nuevo modelo de negocios para una empresa distribuidora de energía solar prepagado en el área rural de Guatemala. El nuevo modelo de negocios y el proyecto correspondiente a su diseño e implementación son denominados Proyecto Rhino. El Proyecto Rhino se diseña para eliminar restricciones sistemáticas a la operación, como reducir los puntos de atención, disminuir el tamaño de la fuerza laboral y lograr aumentar o mantener el nivel de servicio entregado a los consumidores. La simulación del nuevo modelo de negocios utiliza parámetros provenientes del modelo de negocios previo, en conjunto con nuevos procesos de negocios basados en diseño de la operación y distribución de la empresa para obtener un modelo realista que permita iterar y experimentar con el diseño del nuevo modelo de negocios de manera ágil y sin la implementación de costosas pruebas piloto.

El método empleado se basa en el desarrollo de una simulación para comprender los posibles resultados y peculiaridades del nuevo modelo Rhino, con cuyos resultados se diseña una serie de experimentos que modifican las variables con mayor sensibilidad en el nivel de servicio entregado a los consumidores. La primera fase del proyecto se enfoca en el desarrollo de las variables de interés y parámetros realistas basados en datos históricos, así como en la definición de supuestos a ser utilizados en la simulación. Las diferencias entre los modelos de negocios y las métricas disponibles obligan a utilizar diversos métodos de análisis como análisis de geocercas, simulaciones Montecarlo, y analítica en Python para identificar parámetros estocásticos que agreguen validez y realidad a la simulación. Posteriormente, se desarrolla la simulación según el diseño preliminar del modelo Rhino dentro de la cual se modela no solo el comportamiento del modelo sino la implementación de este según el estado actual de la empresa. En primera instancia y utilizando una gran cantidad de métricas introducidas al modelo, se identifica que la simulación muestra que la implementación del nuevo modelo de negocios, tal como fue diseñado, no presentaría una mejora suficientemente significativa sobre el modelo actual por lo que requiere de cambios. Utilizando los datos obtenidos de varias corridas de la simulación en conjunto con métodos de correlación estadística, se identifica el efecto que los diferentes parámetros tienen sobre las variables de interés y por lo tanto se diseñan varios experimentos para mejorar el nivel de servicio, variable de interés, de manera significativa.

Los resultados de cada experimento son analizados y validados para concluir que, modificando la estrategia de lanzamiento del modelo de negocios y las características de los camiones repartidores, se logra mejorar significativamente el nivel de servicio, tanto en el nivel de atención como en tiempo de resolución. Siendo esto

el objetivo primordial de la implementación del nuevo modelo de negocios es un gran hallazgo que reduce la incertidumbre en torno a la viabilidad y resultados de la implementación del Proyecto Rhino sin necesidad de poner en marcha costosas y extendidas pruebas piloto.

I. INTRODUCCIÓN

Kingo Energy es una empresa fundada en Guatemala en el año 2015 que se dedica a proveer servicio de energía solar prepago a comunidades que se encuentran fuera de la red eléctrica de Guatemala. Llevar energía a estas comunidades por los medios tradicionales -expansión de la red- es excesivamente costoso y, debido al bajo poder adquisitivo de los usuarios, no es una inversión rentable para empresas tradicionales de transporte y distribución de energía eléctrica. Kingo desarrolló un innovador modelo de negocios y sistemas solares caseros con tecnología de punta que permite llevar energía a comunidades aisladas. El enfoque distribuido del modelo, en el cual la energía se genera en la fuente de consumo, permite crear un modelo de negocios “rentable”, accesible y competitivo ante las fuentes alternas de energía utilizadas en las comunidades. Siendo una empresa con menos de 5 años de su fundación, Kingo aún se encuentra en proceso de perfeccionar su modelo de negocios. El modelo de negocios no requiere de inversión inicial por parte de los usuarios, ya que se ofrece como un servicio de energía prepago. Parte del compromiso de la empresa y fundamental para la rentabilidad del modelo de negocios es la garantía perpetua que se ofrece a los usuarios. Dicha garantía requiere proveer servicio a los sistemas solares instalados en los hogares de cada uno de los usuarios. Debido a la ubicación de los clientes y sus comunidades, se cuenta con un equipo de servicio para llegar a todas ellas. El modelo operativo y de negocios está fallando en la promesa de alto nivel de servicio y a su vez incurriendo un gran costo operativo creando un problema de liquidez a la empresa y causando un alto nivel de pérdida de clientes.

Kingo Energy se encuentra en el proceso de implementar un nuevo modelo de negocios, al cual se le denomina internamente Proyecto Rhino. Este busca corregir dos problemas clave de la empresa: el bajo nivel de servicio actualmente otorgado a los clientes y la complejidad de la operación. La resolución de estos problemas solventaría los mayores obstáculos que afronta para llegar a la rentabilidad: el costoso y complejo modelo de distribución hasta las comunidades más recónditas y el elevado nivel de hurto de energía, pérdida y daño a los equipos; el cual coloca a la empresa una posición financieramente riesgosa; siendo ambos las principales restricciones al crecimiento y escalabilidad.

La implementación de un cambio de modelo de negocios es compleja y riesgosa. Es necesario validar la viabilidad y efectividad esperada del cambio de la manera más acertada posible y así poder prever de la mejor manera los inconvenientes, así como también tomar las mejores decisiones en el diseño, planeación e implementación del Proyecto Rhino. En el pasado, cuando Kingo ha implementado cambios, como, por ejemplo, nuevas versiones de sistemas solares, nuevos planes prepago o ajuste de precios, la estrategia de validación se ha fundamentado en la implementación de prueba pilotos. A diferencia de otros cambios al modelo de negocios, la magnitud que representa el Proyecto Rhino restringe la viabilidad de utilizar una prueba piloto, ya que esta se convertiría en un proceso de larga duración, elevados costos y poca agilidad para hacer ajustes. Estas ineficiencias se pueden reducir significativamente por medio de la utilización de métodos de simulación de procesos para validar el proyecto, previo o incluso sin necesidad de realizar una costosa prueba piloto. Utilizando una simulación correctamente desarrollada y apegada a la realidad, es posible realizar cambios y

mejoras al modelo Rhino y experimentar con la diversas métricas y parámetros para compararlo con el modelo actual antes de invertir en una prueba piloto, haciendo más ágil el proceso de mejora continua e innovación.

La implementación del método de simulación para validar el modelo de negocios se separa en cinco fases: la generación de las variables de interés, el desarrollo y definición de parámetros requeridos y supuestos a utilizar, el desarrollo del modelo simulado, la realización de ajustes y experimentación con el diseño del modelo y, finalmente, la validación estadística de los resultados, comparándolos con el modelo actual de la empresa para demostrar la viabilidad y reducir la incertidumbre al cambio. En cada fase del proyecto, se implementan diversos métodos analíticos y se utilizan varias herramientas para cumplir con los objetivos. Para la generación de las variables de interés se utiliza el *framework* Pandas de Python para correlacionar información histórica de las tipificaciones del centro de atención telefónica con la información histórica de visitas de servicio al cliente y poder calcular el nivel de servicio actual. En la fase de generación de supuestos se utilizan diversos métodos según el tipo de información disponible para obtener parámetros estocásticos que agreguen variabilidad y realidad a la simulación. No todas las métricas e información disponible actualmente pueden ser utilizadas en la simulación, porque es necesario recurrir a métodos alternos de análisis para poder generar los parámetros. Entre ellos, se utiliza análisis de geocercas, para el cálculo de tiempos de recorrido, se desarrolla una simulación Monte Carlo, para validar el diseño de polígonos geográficos de atención, y se desarrollan varios cuadernos de Jupyter, utilizando Python para analizar y procesar grandes cantidades de datos aplicando procedimientos de análisis complejos. El desarrollo del modelo simulado es realizado en Simio, un software de simulación de procesos orientado a objetos que permite generar modelos con comportamientos y procesos personalizados de manera eficiente, así como introducir el reporte de diversas métricas y bitácoras para el análisis de resultados. Python permite procesar y resumir los resultados de la simulación para compararlos con las variables de interés actuales.

En primera instancia, los resultados de la simulación muestran una disminución en el nivel de servicio, especialmente durante los primeros meses de implementarse, lo que conlleva la implementación del método de correlación de Pearson para identificar los parámetros de mayor impacto en el resultado, para poder diseñar experimentos que permitan validar la viabilidad y el efecto de ajustarlos. Se selecciona la cantidad de agentes de entrega/abasto y el tamaño del camión de entrega como variables independientes en la experimentación, las cuales se modifican en el modelo de Simio, utilizando factores de ajuste a los parámetros. Finalmente, se comparan los resultados de los experimentos con las variables de interés actuales y se valida que el modelo Rhino representa una mejora significativa sobre el nivel de servicio en el modelo actual, si se lanza escalonadamente utilizando agentes de abasto adicionales en los primeros meses de operación. El resultado positivo de la simulación, y específicamente de los experimentos realizados, demuestra el valor de utilizar métodos de simulación para la planeación, el diseño y la validación de cambios al modelo de negocios, ya que otorgó la capacidad de experimentar y modificar el modelo sin costos adicionales, en corto tiempo y sin la complejidad logística que implican los métodos tradicionales de validación, como lo son las pruebas piloto.

II. JUSTIFICACIÓN

Kingo es una empresa joven que se encuentra en proceso de solidificar su modelo de negocios y, por lo tanto, sus procesos operativos. Debido a la constante búsqueda de mejoras, la empresa se ve forzada a realizar múltiples cambios en su modelo de negocios. Los cambios presentan un riesgo para la empresa, la cual tiene fondos limitados, por lo que se vuelve imprescindible realizar pruebas piloto para comprobar la efectividad de estos. Las pruebas piloto son un método de prueba y error que suele resultar costoso y de larga duración, en el cual se invierte una cantidad significativa de recursos y tiempo a ciegas. A manera de reducir costos y de mejorar el proceso de validación de cambios, se implementará el método de simulación de procesos. A través de la experimentación se puede representar tanto el modelo actual como los cambios a realizar, ambos atados a las métricas de rendimiento de la empresa.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar la validación de un cambio al modelo de negocios, proyecto que internamente se denomina Proyecto Rhino, el cual pretende eliminar restricciones en el modelo actual y evitar que vuelvan a suceder la serie de eventos ocurridos durante los años 2016-2018 que llevaron a la empresa a una posición de riesgo de quiebra y, a su vez, incrementar la rentabilidad y escalabilidad de esta. El Proyecto Rhino busca incrementar la utilización del servicio de energía prepago y reducir la tasa de pérdida de clientes por medio de incrementar el nivel de servicio al cliente. La implementación del Proyecto Rhino es un cambio al modelo de negocios de la empresa y, por lo tanto, cambia una gran cantidad de procesos vitales. La implementación de métodos de simulación permitirá validar el proyecto y hacer cambios en los procesos diseñados previo a llevarlos a producción, logrando así realizar una prueba piloto más precisa, de menor costo, duración y complejidad.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Implementar métodos de simulación de procesos para la validación y optimización del modelo de distribución, logística y negocios en una empresa proveedora de servicios de energía solar prepago.

B. Objetivos específicos

Identificar y generar los parámetros y variables de interés utilizando información histórica disponible del modelo de negocios actual dentro de la simulación del nuevo modelo de negocios, Rhino.

Crear un modelo simulado de los procesos diseñados para el nuevo modelo Rhino capaz de predecir las métricas de rendimiento y desarrollar experimentos para optimización.

Identificar potenciales mejoras al modelo Rhino utilizando la correlación estadística de métricas de rendimiento y desarrollar experimentos en la simulación para validar la viabilidad de aplicar dichas mejoras al modelo.

Validar el modelo de negocios Rhino por medio de un análisis estadístico de los resultados de métricas de rendimiento obtenidas de la simulación y posterior experimentación sobre cambios pertinentes que presenten una significancia estadística en la diferencia de medias de los resultados.

IV. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

A. Implementación de pruebas piloto

Kingo es una empresa nueva y se encuentra realizando cambios y ajustes constantes a su modelo de negocios. Las suposiciones son el punto de partida de un modelo de negocios y sobre las cuales hay que experimentar para poder validar el funcionamiento y rendimiento del modelo. Pero estos cambios constantes presentan un riesgo a la empresa ya que no se conoce el comportamiento o resultado real del modelo a implementar. Los cambios al modelo de negocios se basan en suposiciones inciertas que deben ser validadas por medio de la experimentación previamente a su implementación, así logrando mitigar el impacto del riesgo sobre la incertidumbre de las suposiciones y dando la oportunidad a experimentar con soluciones alternas, llevar a cabo cambios a menor escala o pivotear el modelo. A esta experimentación previa para la validación se le llama prueba piloto.

El proceso de implementación de cambios por medio de la experimentación previa es un ciclo en el cual se diseña un modelo a cambiar, se decide la prioridad de variables o suposiciones a experimentar, se diseña el experimento, se lleva a cabo, se recopilan datos, se analizan los datos, se decide si llevar a cabo el cambio o se rediseña el modelo y se vuelve a comenzar el ciclo (Llamas Fernández & Fernández Rodríguez, Marzo 2017).

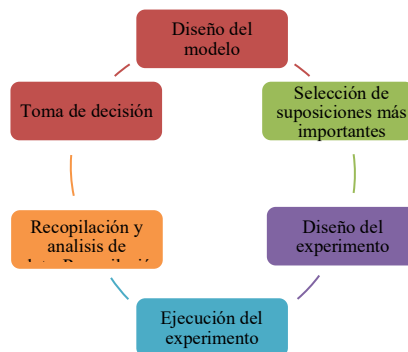


Ilustración 1 Ciclo de continua experimentación

B. Análisis estadístico de procesos y variables

1. Modelos estocásticos y determinísticos

Hay dos clases de modelos para el análisis de procesos, los modelos estocásticos y los modelos determinísticos. Un modelo determinístico es aquel que es totalmente determinado por el valor de sus factores iniciales. Por otro lado, un modelo estocástico agrega cierto nivel de aleatorización al modelo, permitiendo una infinita cantidad de resultados diferentes incluso partiendo de los mismos factores iniciales. Tomando en cuenta la variabilidad de la naturaleza y del comportamiento humano, los modelos estocásticos resultan en modelos más precisos y acertados que los modelos determinísticos, pero también en modelos más complejos (Knill, 2009).

Los modelos estocásticos utilizan factores variables basados en distribuciones estadísticas para modelar el comportamiento (Anderson, Sweeney, William, Camm, & Cochran, 2016).

2. Distribuciones estadísticas

En lugar de utilizar un solo valor estático como factores, los modelos estocásticos utilizan distribuciones estadísticas para describir el comportamiento de variable y factores. Las distribuciones estadísticas que se utilizan pueden ser las distribuciones comunes o distribuciones estadísticas creadas específicamente para ese comportamiento, siempre que cumplan con las reglas estadísticas. Existen una gran variedad de distribuciones ya definidas con diferentes aplicaciones según el tipo de variable y comportamiento que se busca definir.

Una distribución estadística es una función matemática que devuelve la probabilidad de ocurrencia de un evento dentro del espacio probabilístico de la variable aleatoria que busca definir. Existen dos tipos de distribuciones estadísticas, distribuciones continuas y distribuciones discretas, categorizadas según el tipo de variable que describen.

a. Valor esperado

El valor esperado es el valor que se espera que la variable tenga. Se calcula como un promedio ponderado de todos los valores que la variable puede asumir por la probabilidad de ocurrencia de estos. Se denomina $E(X)$ cuando la distribución que describe el comportamiento de la variable es discreta, se utiliza la sumatoria de los pesos ponderados de todos los valores posibles:

$$E(X) = \sum_x x \cdot P(X = x) = \sum_x x \cdot f(x)$$

Por otro lado, cuando la distribución de la variable es continua se utiliza una integral para calcular el valor esperado ya que los posibles valores son infinitos:

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx$$

Según la distribución de la variable es la complejidad del cálculo del valor esperado por lo que ya se ha calculado las fórmulas para las diferentes funciones comunes. El valor esperado represente punto de equilibrio de masa de función según su PDF y es valor con la mayor probabilidad de ocurrir.

b. Varianza

La varianza de una variable mide la dispersión de las observaciones. Se denomina Var . La varianza se calcula sobre la desviación cuadrada de los valores comparados con el valor esperado. Si se asume que X es una variable aleatoria con valor esperado $E(X) = y$, la varianza es igual a $E[(X - y)^2]$. Cuando la distribución de la variable es discreta, la varianza se calcula de la siguiente manera:

$$Var(X) = \sum_x (x - \mu)^2 \cdot P(X = x)$$

Cuando la distribución de la variable es continua la varianza se calcula:

$$Var(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x) dx$$

3. Funciones indicador

Las distribuciones indicador son aquellas que según el argumento de la función toman el valor de Verdadero o Falso y por lo tanto 1 o 0 respectivamente. Es común que se le llame “Heavyside”. Estas funciones sirven comúnmente como filtro para los parámetros o argumentos de otras funciones y así prevenir errores por funciones indefinidas. En ejemplo a continuación, se crea una función indicadora en la cual cuando el argumento (x) es mayor a 5 la función resuelve a 1 y de lo contrario 0

$$I_{\{x < 5\}}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 5 \\ 1, & x < 5 \end{cases}$$

4. Distribución discreta

Son funciones que representan la probabilidad de ocurrencia de los posibles valores para una variable con un espacio de eventos finito. Estas distribuciones son definidas con funciones de probabilidad que asumen un valor específico como resultado final y dan la probabilidad de dicha ocurrencia.

a. Distribución binomial

La distribución binomial describe la probabilidad de obtener una cantidad específica de éxitos en una cantidad n de eventos de Bernoulli (independientes y distribuidos idénticamente) con probabilidad p . Un ejemplo común de la distribución binomial es para calcular la probabilidad que al lanzar un dado justo de seis caras 10 veces, se obtenga 5 tres veces. La distribución binomial tiene la siguiente fórmula, en la cual p = probabilidad de éxito, k = cantidad de éxitos, n = número de intentos:

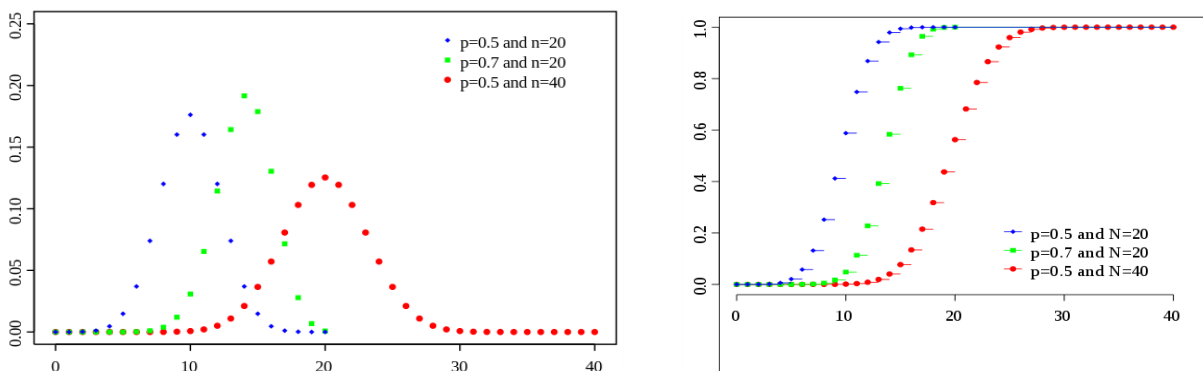


Ilustración 2 Gráfica de distribución binomial

$$P(k) = \frac{n!}{k! (n-k)!} * p^k (1-p)^{n-k}$$

$$E(X) = n * p$$

$$Varianza(X) = n * p *$$

b. Distribución Poisson

La distribución de Poisson es una distribución de probabilidad para una variable discreta que representa la probabilidad de que un número de eventos ocurra en un intervalo fijo si estos eventos se producen con una velocidad constante conocida e independientemente del tiempo transcurrido desde el último evento. Los intervalos de la distribución de Poisson pueden representar tiempo, espacio, distancia, área, etc. La cantidad promedio de eventos en el intervalo se define por λ . La probabilidad de que una cierta cantidad de eventos ocurran en el intervalo definido está dada por la función de masa:

$$P(k \text{ cantidad de eventos}) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

$$E[X] = \lambda$$

Para calcular la probabilidad de un rango de valores no es necesario integrar la función, solamente se necesita agregar las probabilidades de las diferentes k 's en el rango. La distribución de Poisson es muy utilizada para la descripción de procesos, ya que da la probabilidad de ocurrencia de algún factor pertinente al proceso; ej. cantidad de llamadas entrantes a un sistema de atención de llamadas por hora, cantidad de clientes que llegan a una tienda en un tiempo predeterminado. La distribución de Poisson permite tomar decisiones probabilísticas sobre los posibles resultados del proceso.

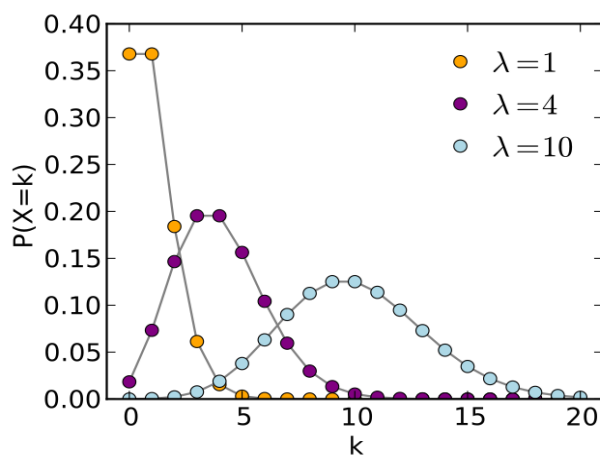


Ilustración 3 Gráfica de la función de probabilidad de masa de una distribución Poisson

c. Distribución geométrica

La distribución geométrica es una distribución discreta que describe la cantidad de intentos antes de un éxito. Cabe mencionar que estos intentos deben estar definidos por resultados binarios que reflejen éxitos o fracasos. Los intentos o pruebas pueden ser eventos de Bernoulli, resultados de evento aleatorio utilizando el resultado como argumento de una función indicador, etc. La función de una distribución Bernoulli requiere de un solo parámetro: p = probabilidad de éxito de un evento independiente. Y el argumento de la función es la cantidad de veces que se repetirá el intento. El resultado de la función es la probabilidad de que haya un éxito dentro de la cantidad de eventos definidos. La función es la siguiente:

$$P(X = x|p) = p(1 - p)^{x-1} \text{ for } x = 1, 2, \dots$$

El valor esperado de una distribución geométrica esta dado por la fórmula a continuación. El cual nos devuelve la cantidad de eventos esperados antes de obtener un éxito.

$$E[X] = \frac{1}{p}$$

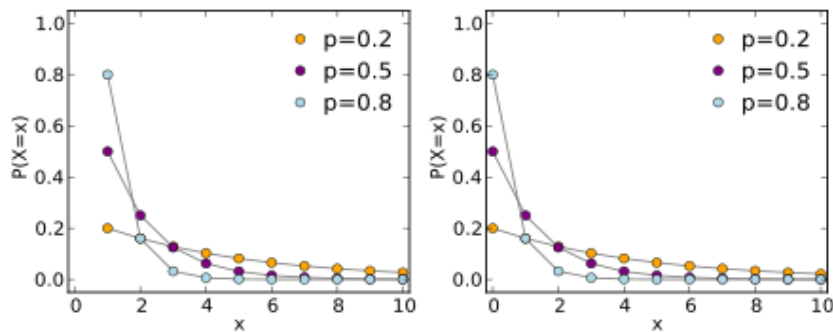


Ilustración 5 Grafica de función de probabilidad de masa de distribución geométrica

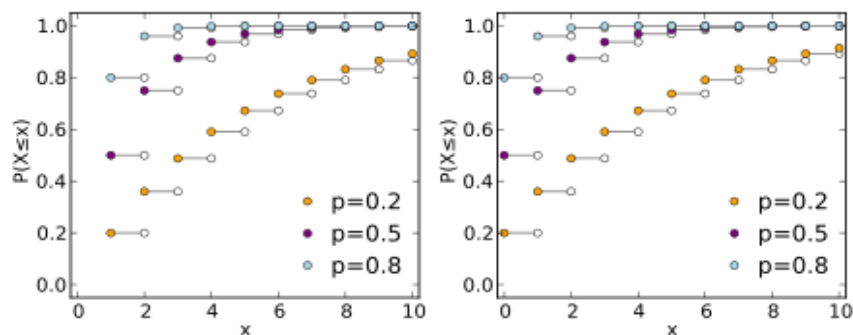


Ilustración 4 Grafica de distribución de probabilidad acumulada de la distribución geométrica

5. Distribuciones continuas

Una distribución continua representa los posibles resultados de una variable con infinitos valores posibles. Entre cada valor que la variable puede asumir, existen infinitos valores más. Se definen por funciones llamadas PDF, función de densidad de probabilidad. A diferencia de las funciones utilizadas por las distribuciones discretas, en las cuales cada resultado de la variable tiene una probabilidad de ocurrencia específica, en una función de probabilidad para una variable continua, no se puede calcular la probabilidad de un valor específico, ya que, al haber infinitos valores posibles, la probabilidad sería infinitesimalmente pequeña. Al no poderse calcular la probabilidad de un valor, se calcula la probabilidad de un rango de valores por medio de la integración de la función PDF para el rango de valores deseado. A esta función integrada se le llama CDF, función de densidad acumulada, por sus siglas en inglés. El área bajo la curva de una función PDF siempre debe ser uno, ya que abarca la probabilidad de todos los eventos posibles (Anderson, Sweeney, William, Camm, & Cochran, 2016) (Blank & Tarquin, 2012).

a. Distribución triangular

La distribución triangular es una distribución continua en la cual su función de densidad de probabilidad tiene una forma triangular. Los parámetros de la función son a , b , c , los cuales representan el valor mínimo, valor máximo y la moda, respectivamente. Esta distribución es comúnmente utilizada para describir el comportamiento de variables en un proceso o modelo del cual no se tiene información histórica. El mínimo, máximo y moda permiten modelar o describir tres escenarios comunes: mejor caso, peor caso y caso base.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)}, & c \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases}$$

$$E[X] = \frac{a + b + c}{3}$$

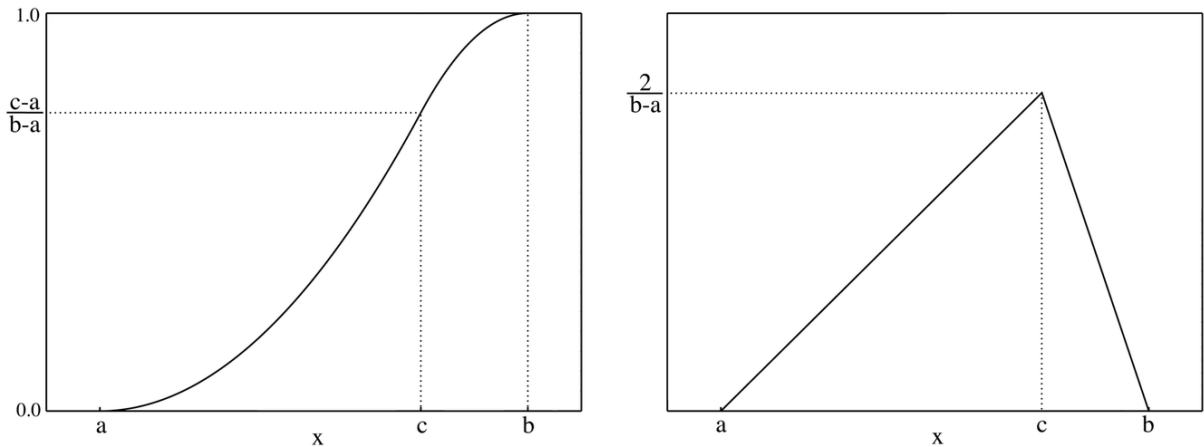


Ilustración 6 Gráficas de distribución triangular (PDF izquierda, CDF derecha)

b. Distribución normal

La distribución normal es una de las distribuciones más conocidas. Su fama proviene de su forma de campana de Gauss simétrica, la cual se utiliza para describir una variable según la media y dispersión dada por la desviación estándar. La distribución normal se utiliza para variables continuas, por lo que se describe por una función PDF:

$$f(\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

La función de probabilidad de masa no es útil para la estadística, ya que para las variables continuas no se puede calcular la probabilidad de un punto específico. Por lo que se utiliza la distribución acumulada o CDF, la cual es la integración de la función PDF para el rango al que se le busca encontrar la probabilidad.

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

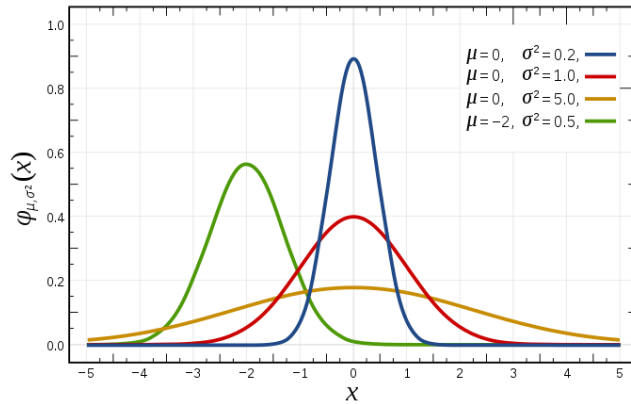


Ilustración 8 Grafica de densidad de masa para una distribución normal

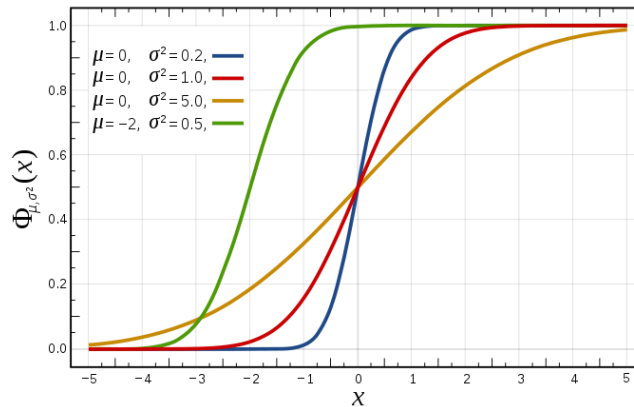


Ilustración 7 Grafica de distribución de probabilidad acumulada de la distribución normal

c. Distribución exponencial

La distribución beta es la representación de la probabilidad del tiempo entre dos ocurrencias de un proceso de Poisson. Un proceso de Poisson es aquel en que los eventos ocurren constante e independientemente, siguiendo un tiempo promedio entre ocurrencias. Esta distribución es utilizada en el área de investigación de operaciones para poder calcular o simular la frecuencia de llegadas entre eventos, lo cual puede representar llegadas de un cliente, llegadas de pedidos. Una de las aplicaciones más comunes de la distribución exponencial es para la teoría de colas. Tomando en cuenta que la distribución entrega la probabilidad de un tiempo entre llegadas, la función solo se encuentra definida para valores positivos. La función PDF está definida:

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

$$E[X] = \frac{1}{\lambda}$$

$$Var[X] = \frac{1}{\lambda^2}$$

Siendo una distribución de variables continuas tiene una función CDF para calcular la probabilidad de diferentes rangos de eventos. Dada por:

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

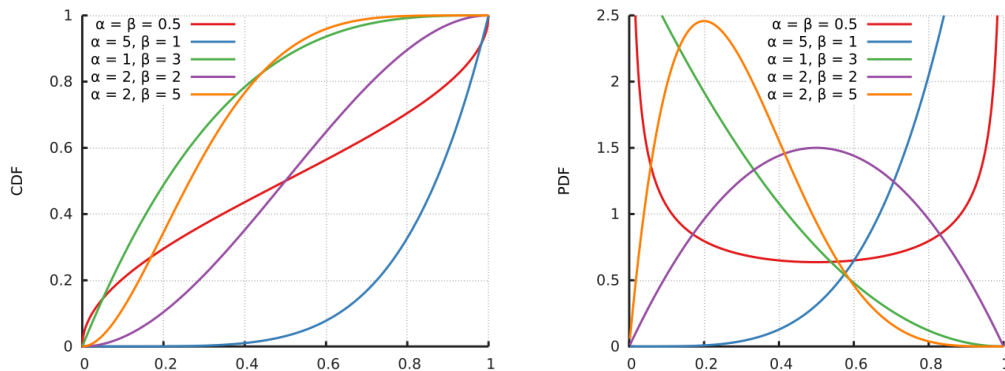


Ilustración 9 Gráficas de la distribución exponencial

d. Distribución beta

La distribución beta es una familia de distribuciones probabilísticas con un dominio definido entre $[0,1]$, por lo que comúnmente se le realizan ajustes por medio de traslaciones y multiplicaciones de la función para poder representar a las variables reales. Todas las funciones beta están parametrizadas por dos parámetros de forma positivos llamados α y β , los cuales rigen la forma que tomará la función. Cuando ambos parámetros son iguales a 1 ($\alpha = \beta = 1$) la distribución beta toma la forma de una distribución uniforme. La versatilidad de forma de la distribución beta ha permitido que se utilice para describir el comportamiento de variables con rango finito en diversos campos, desde la ingeniería de procesos hasta las ciencias naturales.

$$f(x|\alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} I_{\{0 < x < 1\}}(x)$$

$$E[X] = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

$$Var[X] = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}$$

6. Validación de bondad de ajuste

Para poder definir a qué distribución estadística tiene mayor bondad de ajuste con el comportamiento de los parámetros o valor de entrada, es necesario correr pruebas de bondad de ajuste hacia varias distribuciones distintas y seleccionar aquella a la que más se apega. Este resultado es necesario corroborar su significancia, ya que tener la mayor bondad de ajuste de todas las pruebas realizadas no asegura que dicha distribución se apegue lo suficiente como para describir honradamente el comportamiento observado y el modelo podría perder validez al utilizarlo.

a. Prueba Kolmorov-Smirnov

La prueba de Kolmorov-Smirnov es una prueba de bondad de ajuste comúnmente utilizada para comprobar la significancia del ajuste de la distribución contra el comportamiento observado en los valores de entrada. la prueba se establece de la siguiente manera:

- Hipótesis nula: la distribución resultante y la distribución observada son iguales.
- Valor P de significancia (Crítico): El valor p asociado a la prueba de Kolmorov-Smirnov mayor o igual a 0.05; se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las distribuciones no son iguales y, por lo tanto, no debe ser utilizada en el modelo.

El valor p de la prueba Kolmorov-Smirnov es entregado por la gran mayoría de software para análisis estadístico, en este caso Input Analyzer devuelve el valor p (Universidad de las Palmas de Gran Canaria).

C. Modelos de inventario

1. Modelo de demanda desconocida y revisión periódica

El modelo de inventario de demanda desconocida y revisión periódica es aquel en el que se desconoce la demanda y se establece un periodo de tiempo en el que se revisa el estado del inventario. Se establece un valor máximo de inventario deseado y se conoce. Cada vez que transcurre el periodo de revisión se coloca una orden de inventario para llevarlo de regreso a su máximo establecido. Este es un modelo muy simplista y tiene varios desperfectos que puede afectar el nivel de servicio, entre ellos el desconocimiento de la demanda lo cual podría causar una salida de inventario antes que transcurra el periodo de revisión y reabastecimiento.

2. Modelo EOQ

Las empresas requieren de inventario para poder enfrentar fluctuaciones estadísticas en la demanda de sus productos. El inventario es considerado como un mal necesario, un lujo que algunos pueden pagar y otros no.

La liquidez de las empresas no permite mantener un inventario ilimitado que se capaz de afrontar cualquier cambio en la demanda. Mantener un inventario siempre tiene costos asociados, entre ellos se encuentran: costo de órdenes, costo de mantenimiento de inventario, costo de ventas perdidas. El modelo EOQ (*economic order quantity*, por sus siglas en inglés) es un modelo matemático para el manejo sistemático de inventario basado en una demanda constante. Lo que busca el modelo de inventario EOQ es mantener un inventario bajo control y hacer pedidos de inventario solamente cuando sea estrictamente necesario según la demanda del producto. Este es un modelo sencillo el cual tiene varios supuestos que permiten su fácil utilización e implementación. Los supuestos son siguientes:

1. Demanda constante y conocida
2. Un solo producto
3. Los productos se producen o compran en lotes
4. El costo de una orden es constante
5. El tiempo de espera (*lead time*) es constante y conocido
6. No hay quiebres de inventario

Tomando en cuenta estos supuestos, el modelo se formula en a los parámetros:

1. **D:** demanda; establecida como unidades o lotes por alguna unidad de tiempo
2. **S:** costo de emisión de orden; el costo de comprar nuevo producto
3. **H:** costo de mantenimiento de inventario; el costo asociado a tener una unidad de inventario almacenado durante una unidad de tiempo.
4. **Q:** cantidad a ordenar

De los parámetros y costos del modelo podemos crear una fórmula para el costo total del inventario para un periodo de tiempo:

$$\text{Costo de mantenimiento: } H * \frac{Q}{2}$$

$$\text{Costo de emisión de órdenes: } S * \frac{D}{Q}$$

$$\text{Costo total} = C(Q) = (H * \frac{Q}{2}) + (S * \frac{D}{Q})$$

El propósito del modelo EOQ es reducir al mínimo posible los costos de inventario sin perder calidad de servicio y no perder ventas por faltas de inventario. Por lo tanto, se deriva la formula anterior respecto a Q (cantidad a ordenar) para encontrar el tamaño óptimo de la cantidad a ordenar. El resultado de dicha derivación es:

$$\text{Cantidad óptima a ordenar} = Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Este es el tamaño óptimo de la orden necesaria para abastecer la demanda con el menor costo incurrido. Este modelo permite tener un nivel de inventario con fluctuación constante sin dejar a la empresa con pérdida de

ventas. A través del mismo modelo se puede calcular el punto de reorden (**ROP**) que establece un nivel de inventario de seguridad y permite poner un orden, de la cual se conoce el tiempo de espera y nunca quedarse sin inventario.

$$\text{Punto de reorden} = ROP = d * \text{tiempo de espera}$$

Donde d es la demanda en un periodo de tiempo. Las unidades de d deben estar dadas en la misma unidad de tiempo en las que se encuentra dado el tiempo de espera. Con esto, se puede calcular el punto en unidades del nivel de inventario en el cual hay que realizar la orden. El modelo resulta en un nivel de inventario representado por la gráfica a continuación (Kumar, 2016).

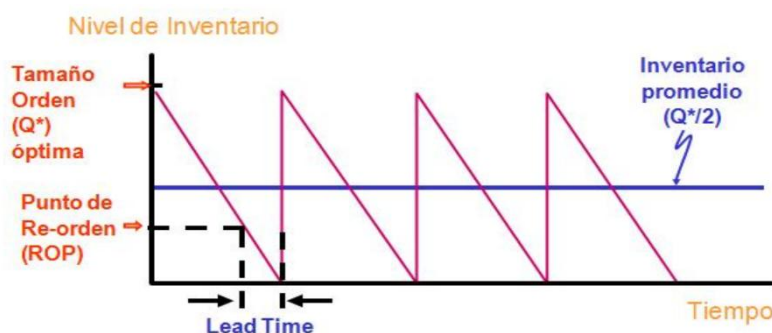


Ilustración 10 Modelo de inventario EOQ

D. Método Monte Carlo

El método Monte Carlo es un proceso matemático para la simulación probabilística para estimar los resultados posibles y esperado de un evento desconocido. Permite introducir riesgo, a través de parámetros probabilísticos, a la toma de decisiones inciertas y como dicho riesgo afecta los posibles resultados y el valor esperado. Las aplicaciones del método Monte Carlo son variadas y extensas, desde proyecciones financieras, análisis de activos, inteligencia artificial, planeamiento de proyectos, entre otros.

El modelo se basa en tener variables de entrada definidas probabilísticamente por medio de alguna función que permita iterar sobre ellas repetidas veces para analizar los resultados provenientes y tomar una decisión más informada. Utilizando valores de entrada variables es posible construir un modelo estocástico y analizar la probabilidad de un rango de resultados, dando una gran ventaja contra la definición de un modelo con valores de entrada determinísticos. Mientras más iteraciones del modelo se realicen mayor validez se obtendrá de los resultados y permitirá no solo obtener mayor certeza del rango de resultados esperado sino también comprender el posible efecto atípico y la probabilidad que esto suceda (Paltani, 2010-2011).

Lo valores de entrada suelen estar definidos por una función de probabilidad basada en el comportamiento conocido de los valores de entrada.

V. ANTECEDENTES GENERALES

A. Historia de la empresa

Kingo es una empresa fundada en 2015 con la misión de encender vidas, proporcionando servicios de electricidad renovable como respuesta escalable a uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad: el acceso a la energía. Kingo es sucesora de Quetsol, empresa que ofrecía productos para la generación y almacenamiento de energía solar en hogares de bajos recursos a través de financiamiento con microcréditos. El modelo comercial de Quetsol, el cual depende de entidades financieras para proveer microcréditos a consumidores, los cuales no cuentan con un récord crediticio, creó una significativa barrera de entrada para lo usuarios finales impidiendo que la empresa fuera exitosa. Quetsol sentó las bases para la apertura de Kingo que buscaba ofrecer servicios de energía prepago, eliminando la barrera económica que limitaba el acceso a los productos y, por ende, a la rentabilidad de la empresa. Kingo ha creado un modelo de negocios y una estrategia de mercado que permite la escalabilidad.

El enfoque de Kingo es llevar un servicio de energía solar prepago a las comunidades fuera de la red eléctrica. En el mundo actual, el acceso a la electricidad se ha convertido en una de las mayores restricciones al progreso, ya que representa la base de toda actividad productiva. Actualmente, millones de personas carecen de acceso a electricidad, por lo que, se ven forzadas a pagar por los sustitutos de energía más costosos (velas/queroseno/diésel), haciendo que la energía solar sea más asequible en estos mercados, que cualquier otro segmento de la economía.

Kingo fue la primera empresa en Latinoamérica que implementó un modelo de negocios que provee servicios de energía solar utilizando un enfoque distribuido en el cual la energía se genera en la fuente del consumo. A través de la combinación de innovación comercial y tecnológica, Kingo ha logrado llevar tecnologías existentes, pero previamente inaccesibles, a usuarios en la base de la pirámide económica creando un gran impacto y desbloqueando el progreso.

B. Descripción de la empresa

1. Modelo de negocios

El modelo de negocios de Kingo es una combinación de un pequeño sistema solar casero e innovación comercial que permite proveer servicios de electricidad tal como lo hace una empresa eléctrica convencional, pero en aquellas comunidades rurales desatendidas y olvidadas. El sistema solar casero que ofrece Kingo consiste en un módulo fotovoltaico que se instala en la azotea del hogar y una batería compacta. Dependiendo del modelo de la unidad, los sistemas pueden alimentar bombillas, cargas de teléfonos y otros electrodomésticos pequeños. Kingo hace uso de la infraestructura existente de los tenderos locales para actuar como distribuidores autorizados y vender códigos prepagos de energía; los clientes pueden comprar códigos por día, semana, mes,

según lo permita su presupuesto. Estos tenderos ganan una comisión al vender códigos. El equipo de servicio al usuario de Kingo asegura que los sistemas funcionen de manera óptima y brinda soporte según sea necesario. El servicio está diseñado en torno a la tecnología para facilitar y fomentar la mejora en la calidad de vida de los hogares, proporcionando un impacto en distintas áreas; incluyendo ahorros financieros, productividad, salud, educación, seguridad, conectividad y calidad de vida en general.

El modelo de negocios de Kingo no requiere de préstamos, gastos de instalación ni costos de mantenimiento por parte del usuario. La empresa retiene propiedad del equipo, lo que permite proporcionar una garantía perpetua que cubre todas las reparaciones del sistema y reemplazos de baterías. Esto protege a los clientes de grandes costos adicionales e inesperados y a su vez promete proporcionar un servicio de alto nivel a un precio asequible y acorde a la capacidad de pago.

2. Modelo de distribución/operación

El modelo de Kingo se separa en dos partes importantes: la venta de crédito o saldo a los tenderos locales y el servicio a los usuarios. Kingo utiliza a tenderos locales como distribuidores autorizados de códigos de energía. Los tenderos compran crédito a los agentes de ventas, quienes siguen rutas predeterminadas y deben cumplir con su cuota de venta. En general, un modelo muy similar al de la industria de telecomunicaciones. Por otro lado, el servicio a los usuarios. El modelo de servicio actual se basa en la visita de puerta a puerta por medio de los agentes de servicio para validar el buen funcionamiento de los sistemas solares, así como también atienden visitas asignadas en base a solicitudes. La complejidad del modelo surge debido a la necesidad de continuar creciendo el parque de usuarios, es decir, seguir instalando nuevos sistemas mientras se debe dar mantenimiento y seguimiento a los clientes actuales. La ubicación remota de los usuarios y el difícil acceso a los mismos incrementan la complejidad del modelo. Como es mencionado, los agentes de servicio deben de instalar clientes nuevos, así como hacer cambios de equipos que requieren reparación en taller. Por lo tanto, requieren mantener un inventario de sistemas para poder trabajar, crecer y atender a los clientes.

a. Cadena de suministro

Kingo cuenta con tres oficinas o sedes. Las oficinas centrales se encuentran en la Ciudad de Guatemala, desde donde se maneja la administración, estrategia y desarrollo de la empresa. Luego cuenta con dos sedes en el interior del país; la primera en Flores Petén y la segunda en Cobán, Alta Verapaz. Las sedes funcionan como talleres de reparación de equipos, bodegas centrales de la empresa, administración de personal de campo y centrales de abasto para todo el país. Los equipos nuevos llegan directo a las sedes desde China, su lugar de fabricación, en donde son inventariados, almacenados y luego enviados hacia el siguiente eslabón de la cadena de suministro.

El siguiente eslabón es una serie de mini bodegas de equipos ubicadas en los hogares de los agentes de servicio. Debido a las largas distancias y al mal estado de las carreteras en Guatemala, resulta costoso e ineficiente que los agentes se dirijan a alguna de las sedes todos los días a obtener sus equipos para instalaciones y cambios. Las mini bodegas pueden almacenar alrededor de cincuenta equipos y, dado que están ubicadas en los hogares de los agentes, no es necesario recorrer una larga distancia para el reabastecimiento diario. Esto reduce la

necesidad de ineficientes y costosos transportes de abasto diarios por parte de todos los agentes. El abasto de las mini bodegas se realiza por medio de un abasto semanal o según sea la demanda de los agentes, por medio de un vehículo tipo camión de abasto, el cual visita a varios agentes a lo largo de una ruta dinámicamente establecida según la estrategia y necesidad. Los abastos no son de una sola vía; el vehículo de abasto entrega equipos nuevos o reparados a los agentes y recibe equipos dañados o reportados con fallas para su reparación en bodega central. Las entregas y abastos no cuentan con un recorrido actualmente establecido, ya que dependen de la necesidad de cada agente. Todas las semanas salen uno o varios camiones de abasto en rutas de alrededor de 10-15 mini bodegas o agentes.

El último eslabón en la cadena de suministro es el departamento de servicio, el cual se conforma de agentes de servicio y es responsable de llevar los sistemas que tiene en la mini bodega hasta los usuarios finales. El día a día del agente de servicio consiste en visitar de una a tres comunidades, atendiendo a los clientes en necesidad de servicio o atención técnica, así como también instalando equipos a clientes nuevos. Cada agente tiene comunidades asignadas y maneja un promedio de 400 clientes de los 48,000 clientes a los que la empresa sirve.

Por otro lado, se encuentra el departamento de Kingo Cash o ventas, el cual es responsable de la venta de códigos de energía a la red de tenderos. Los agentes de ventas reciben saldo para vender a los tenderos asignados a su ruta. Este lado es menos complejo que el de servicio técnico, ya que el producto que tiene que llegar al consumidor no es un producto físico, sino electrónico, y la cantidad de puntos de venta es de 2,500 y no de 48,000.

b. Equipo comercial

Como se ha mencionado previamente, el equipo comercial de Kingo se divide en 2 departamentos, Ventas y Servicio. El departamento de Ventas atiende a los tenderos mientras el departamento de Servicio atiende a los clientes. Dado que la cantidad de clientes es significativamente mayor a la de tenderos, se requiere de una mayor cantidad de agentes de servicio para cubrir las necesidades de los clientes. La operación y jerarquía de cada departamento se estructura con territorios de cobertura los cuales son geográficamente delimitados y asignados a los distintos agentes quien son responsables de los clientes y tenderos. Los agentes de ventas atienden directamente a los tenderos, mientras los agentes de servicio atienden a comunidades las cuales agrupan a los clientes. Dado la gran cantidad de territorios de servicio estos son agrupados en áreas, supervisadas por un coordinador, y luego las áreas se agrupan en regiones con su debido supervisor. Cabe mencionar que los departamentos de servicio y ventas cuentan con territorios, áreas y regiones diferentes; se busca que exista una fuerte similitud entre ambos, pero por la complejidad geográfica y distribución de los clientes, no es posible que los territorios de servicios sean contenidos exactamente dentro de un territorio de ventas.

Kingo opera en la gran mayoría del país, con excepción de aquellas zonas que cuentan con buen servicio y cobertura de la red de electricidad. Esto requiere de un gran equipo comercial capaz de atender gran cantidad de clientes con frecuencia. El equipo se divide jerárquicamente en supervisores, coordinadores y agentes (tanto para el departamento de servicio técnico como para el de ventas). En el área de servicio técnico, Kingo cuenta con 3 supervisores técnicos, 22 coordinadores y 119 agentes (AT's). En el área de ventas se tiene 1 supervisor,

6 coordinadores y 26 agentes (ATR's). Además de dividir jerárquicamente el equipo comercial, también se divide el área geográfica del país a la que se le provee servicio. Se han creado 119 polígonos geográficos, uno para cada AT. Las comunidades y clientes dentro de cada polígono son responsabilidad del AT asignado a este. Los 119 territorios se agrupan en áreas según los agentes de cada coordinador y, finalmente, las áreas se agrupan en regiones según el coordinador de servicio. En total se tienen 119 territorios, 22 áreas y 3 regiones de servicio técnico. En el área de ventas, se cuenta con 28 territorios para los ATR's establecidos utilizando la asignación de tenderos actual y los 119 polígonos existentes de AT's a razón de mantener una ruta lógica y que la comunicación entre AT y ATR sea eficiente y simple. Estos 28 territorios de ATR (27 ATR, ya que uno tiene dos territorios) se agrupan para crear 5 áreas de las cuales se encargan los coordinadores.

c. Equipo de asistencia técnica

i. Asesor técnico (AT)

El asesor técnico es el agente de servicio de la empresa, quien visita las comunidades y a los clientes de Kingo. Es la cara de la empresa ante los clientes y quien maneja la relación. La empresa cuenta con 119 posiciones para AT's, las cuales se encuentran asignadas, una a cada polígono de servicio. La imagen inferior muestra un mapa seccionado con todos los polígonos de atención de los AT.

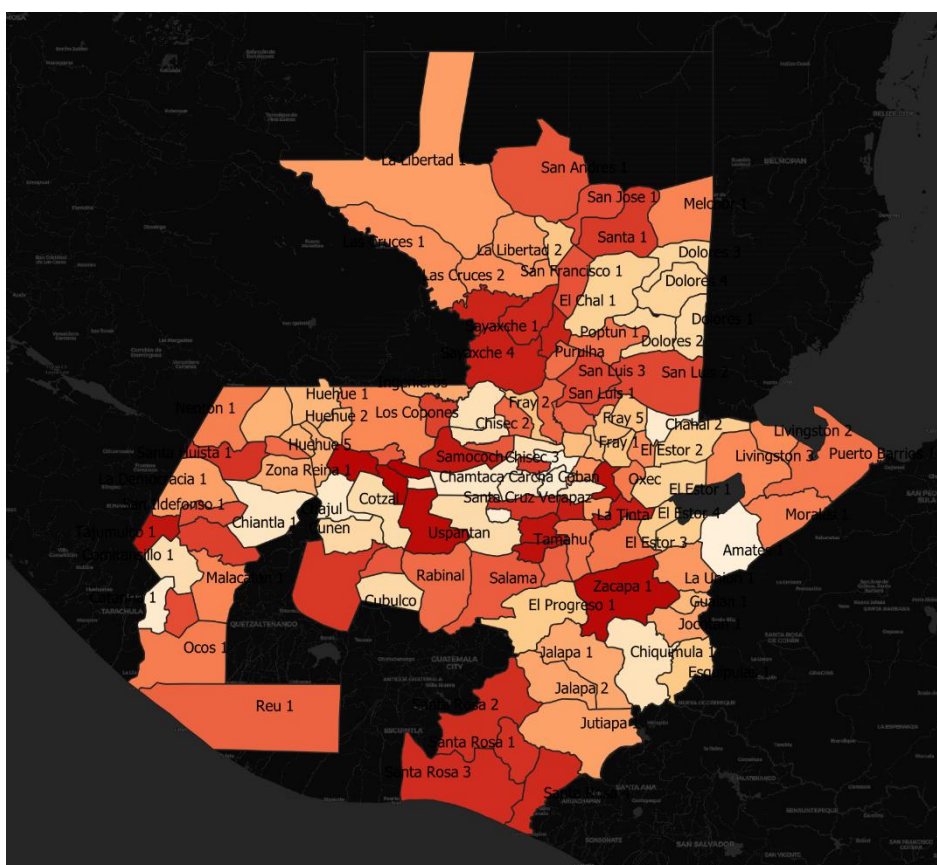


Ilustración 11 Mapa de territorios de servicio, segmentado por asesor técnico

ii. Coordinador de servicio

El coordinador de servicio es el supervisor de varios agentes, entre 4 y 9 agentes según el parque de clientes en los territorios. El coordinador es el punto de contacto entre la administración de la empresa y los agentes. El coordinador se encuentra involucrado en los quehaceres de los agentes, proveyendo apoyo con tareas complicadas y aperturas masivas de clientes. A través de los coordinadores se lleva la estrategia comercial de la empresa a los agentes y se les da seguimiento a los objetivos mensuales. Los coordinadores deben realizar la asignación semanal de sus agentes buscando el cumplimiento de los objetivos asignados y la salud del parque de clientes que tienen bajo su supervisión. Los coordinadores tienen asignadas áreas, las cuales se subdividen en los territorios de los agentes. Kingo tiene 21 posiciones de coordinadores.

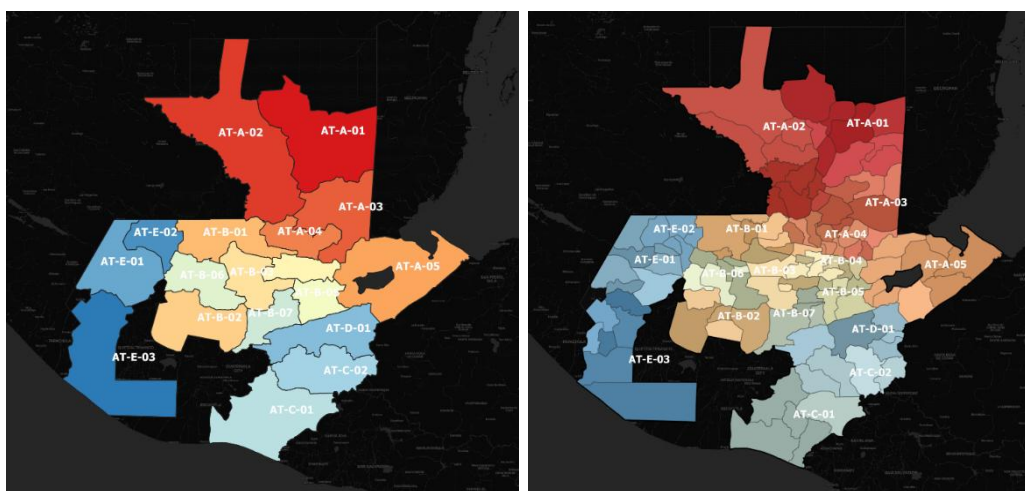


Ilustración 12 Áreas de los coordinadores de servicio

iii. Supervisor de servicio

El supervisor de servicio es el responsable de los coordinadores y reporta directamente al gerente de campo y gerente general del país. Ellos son responsables del cumplimiento de los objetivos estratégicos de la empresa y de mantener saludable su parque de clientes y los equipos instalados. La comunicación de la gerencia se lleva a cabo directamente con los supervisores, y ellos son quienes transmiten y hacen llegar la información a sus equipos.

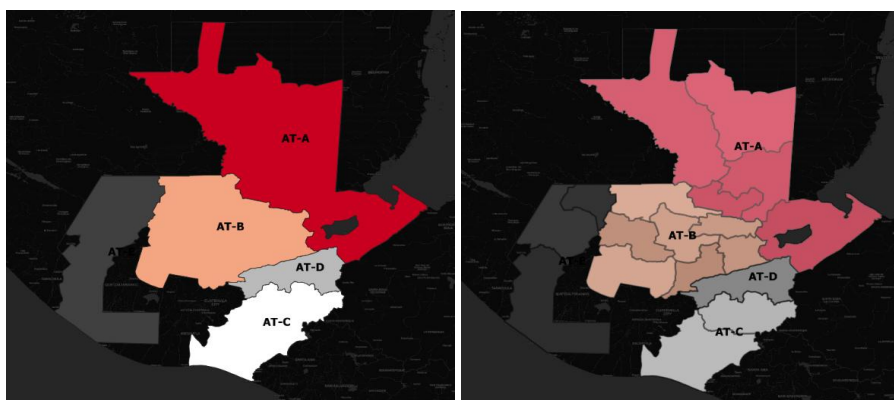


Ilustración 13 Regiones supervisores de servicios

d. Equipo de venta a distribuidores

i. Asesor técnico rutero (ATR)

La segunda parte del equipo comercial consiste en la venta de saldo a tenderos y consiste en asesores técnicos ruteros, coordinadores de ventas y supervisores de ventas. El trabajo de los ATR's consiste en seguir una ruta preestablecida por medio de la cual visitan a todos los tenderos que recaen en su territorio. Tomando en cuenta que hay significativamente menor cantidad de tenderos que de clientes y, por lo tanto, cada ATR debe visitar menor cantidad de puntos, los territorios de los tenderos pueden ser de mayor tamaño.

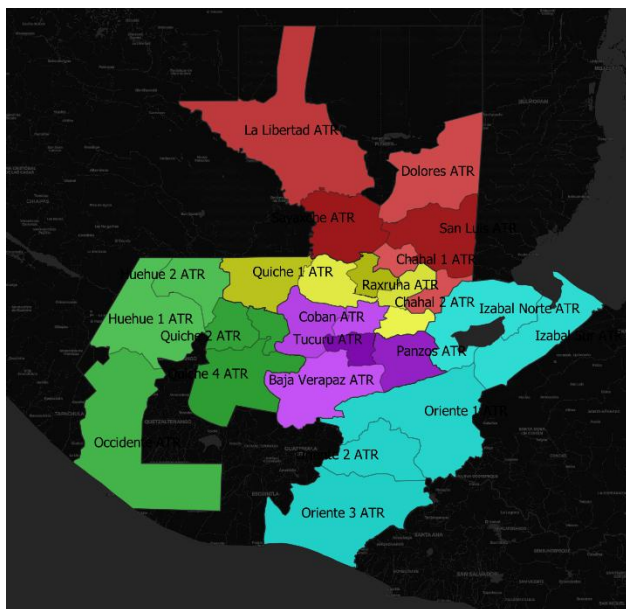


Ilustración 14 Mapa de territorios y áreas de ventas

VI. MARCO METODOLÓGICO

El desarrollo del proyecto consta de cinco fases. Fase número uno, se definen las de variables de interés del modelo de negocios actual o modelo Phoenix, contra las cuales se comparan los resultados de la simulación. Fase dos, se recolectan, generan y definen los parámetros de la simulación y los supuestos a utilizar dentro de la simulación. Fase tres, se desarrolla el modelo simulado de Rhino se llevan a cabo corridas preliminares y se generan resultados iniciales correspondientes a las variables de control. Fase 4, se realizan cambios a la simulación para experimentar con la sensibilidad de las variables y parámetros para poder dar recomendaciones acertadas. Fase 5, comparación de resultados con variables de interés generadas.

A. Fase 1: Generación de variables de interés

Debido a la inexistencia actual de las métricas que se utilizan como variables de interés, es necesaria la generación de principio a fin de dichas métricas. Esto requiere de la utilización de Jupyter Notebooks y Python para llevar a cabo el análisis de datos, ya que la empresa provee una extensa base de datos con información cruda y parcial. Es necesario extraer de la base de datos el resto de la información necesaria para llegar a la variable de interés que se busca.

B. Fase 2: Generación y definición de parámetros y supuestos

De la misma manera que la fase uno, para la fase dos se utiliza una variedad de herramientas, necesarias para analizar la información cruda proporcionada por la empresa o extraída directamente de la base de datos, para poder generar los parámetros que se utilizan en la simulación. El procesamiento de datos para obtener información válida se realiza utilizando Jupyter Notebooks y Python o Excel, cuando es posible. Algunos de los parámetros requieren la utilización de QGIS, una herramienta de SIG, sistemas de información geográfica, para el análisis de data geolocalizada. Los métodos de procesamiento utilizados varían según el parámetro o supuesto a calcular; en algunos casos se llevan a cabo simulaciones Monte Carlo para la validación del supuesto, las cuales se realizan utilizando Python. Con el fin de agregar la mayor validez y variabilidad al modelo, en los parámetros en los que sea posible, se busca la distribución estadística que mejor se ajuste al comportamiento de la variable para que la simulación sea lo más estocástica posible y tome en cuenta la variabilidad del modelo en la vida real. Este análisis se lleva a cabo utilizando Input Analyzer, una herramienta gratuita de Arena.

C. Fase 3: Desarrollo de modelo para simulación

Una vez se tienen todos los supuestos y parámetros definidos, se puede comenzar con la simulación del modelo Rhino. Para esta fase se utiliza el software de simulación Simio. Simio es una herramienta de simulación de procesos y operaciones basada en objetos que permite crear modelos complejos por medio de la utilización de objetos en su librería estándar o la creación de objetos personalizados. El software permite no solo modelar y

llevar a cabo corridas, sino que también permite extraer indicadores y métricas de cada una para su análisis. En esta fase se completa el modelo, se depura el mismo y se llevan a cabo 10 corridas preliminares para la extracción de datos y definición de los ajustes y cambios a realizar.

D. Fase 4: Ajustes al modelo y experimentación

Según el análisis de los resultados de la fase tres, se implementan variables de experimentación que ajustan los parámetros o supuestos de simulación. Dentro de esta fase, se predice que se ajustarán las probabilidades de fallo, los tiempos de transporte de los agentes y la cantidad de agentes de abasto. De esto no se tiene certeza, ya que dependerá de los resultados de la corrida preliminar. Los cambios se realizan sobre la simulación y los resultados son analizados utilizando Excel o Jupyter Notebooks y Python.

E. Fase 5: Validación del modelo y sus resultados

Por último, en la fase cinco, se analizan y comparan los resultados obtenidos de las diferentes corridas con las variables de interés definidas y se valida que el modelo Rhino proporcione una mejora significativa, ya sea con el modelo ajustado por la fase cuatro o el modelo inicial de la fase tres. Para esta validación se utilizará Excel y, de ser necesario, Jupyter Notebooks y Python.

VII. VARIABLES DE INTERÉS

A. Nivel de servicio

Esta es la variable más importante para el modelo, ya que el objetivo del Proyecto Rhino es incrementar significativamente el nivel de servicio a los clientes y de esa manera reducir la pérdida de clientes mientras se incrementa el consumo y, por ende, las ventas de códigos. En la industria de la energía, el nivel de servicio se mide por medio de la disponibilidad del servicio. Kingo, por su parte, no puede obtener esta métrica, ya que sus clientes están ubicados en áreas remotas y por lo general no tienen cobertura celular. De la misma manera, Kingo no ofrece 100% de disponibilidad, ya que el sistema solo está activo mientras el cliente compre saldo. El nivel de servicio de Kingo se mide según el estado del sistema, es decir, que solo mientras un cliente haya adquirido saldo, el sistema estará activo. Por lo tanto, un retractor del nivel de servicio requiere que surja una falla en el sistema mientras el estado de este se encuentre activo. Este problema, a menos que un agente esté presente, es indetectable por el sistema de recopilación de datos. Por lo tanto, Kingo pone a disposición de sus clientes un centro de servicio al cliente por teléfono que está disponible sin costo a los usuarios. Para poder medir el nivel de servicio actual de Kingo, es necesario hacer un comparativo entre las solicitudes de servicio colocadas en el centro de atención telefónica y las tareas de servicio realizadas por agentes de servicio posteriormente. Para este análisis se utilizan Jupyter Notebooks como ambiente para la utilización interactiva del módulo de Python llamado Pandas, un renombrado módulo para el análisis de datos. Pandas se utiliza en todo el proceso de análisis de datos, desde el preprocesamiento hasta el cálculo de métricas relevantes. El centro de atención al cliente (centro de atención telefónica) lleva un registro detallado de todas las llamadas, entrantes y salientes. Las solicitudes de servicio son solamente las llamadas entrantes, por lo que se ignoran las salientes.

1. Preprocesamiento del registro de llamada

El registro de llamadas cuenta con las siguientes variables relevantes para el estudio:

- **Marca temporal:** Fecha y hora exacta de ingreso de solicitud. El registro obtenido cuenta con llamadas comenzando en mayo 2020 y finaliza en octubre 2020.
- **Fecha:** Fecha de entrada proviene de la variable Marca Temporal; no incluye la hora de entrada.
- **Hora:** Hora de la llamada; no se utiliza, ya que el comparativo se realiza con un nivel de detalle mínimo de día.
- **ID:** Identificador único del sistema del cliente. Este dato permite relacionar la llamada entrante con los registros de clientes en la base de datos. Cuando no se provee el ID, se imposibilita la relación entre nuestra información y la del llamante.
- **Titular:** nombre de la persona titular del servicio de Kingo.

- **Comunidad:** Comunidad a la que pertenece el cliente. Cuando es una llamada con apertura de tique, la comunidad es establecida en base al registro, asegurándonos que sea posible crear una tarea de servicio en el futuro.
- **Municipio**
- **Departamento**
- **Apertura de Tiques:** Cuando se requiere abrir un tique de servicio, aquí se especifica la falla que presenta el usuario.

Este es el proceso que se utilizó para procesar los datos recibidos:

No.	Tarea
1	Lectura de datos, se almacena como Tipificaciones_Call_Center
2	Eliminación de columnas sin relevancia. (Saliente, Id saliente, Nombres y apellidos, teléfono, motivo).
3	Eliminación de filas sin fecha-hora.
4	Limpieza y transformación de fechas y horas a formato y tipo de dato correcto, DATETIME object.
5	Marca temporal establecida como ÍNDICE de la tabla de datos.
6	Filtrado de llamadas entrantes.
7	Filtrado de llamadas de solicitud de información, aquellas sin ID de sistema Kingo.
8	Filtrado de llamadas sin apertura de tique de servicio.
9	Filtrado de llamadas de solicitud de servicio para tenderos
10	Filtrado de llamadas posteriores al 1ero. de agosto 2020.

Cuadro 1 Orden de procesamiento de tipificaciones

2. Generación de datos de visitas

Para poder calcular el nivel de servicio, es necesario extraer el registro de tareas de servicio realizadas por agentes de servicio (AT's) de la base de datos de Kingo. Los registros de las tareas de servicio son generados por cada visita realizada por los agentes. Por lo que es necesario extraer únicamente aquella con las variables relevantes y para los parámetros del estudio. Se genera una tabla con todos los documentos de visitas para su futura depuración. Los parámetros utilizados son los siguientes:

1. Se extrae data a partir de la fecha de la primera llamada en la tabla de Tipificaciones hasta oct 2020.
2. Solo se extraen visitas de servicio, las cuales incluyen todo el espectro en cuestión.

Estos parámetros se compilan en una llamada a la base de datos, la cual devuelve una tabla con la información necesaria para hacer la comparación con la tabla previamente procesada Tipificaciones_Call_Center.

3. Unión de datos de visitas con tabla de tipificaciones

Para realizar la comparación, se desarrolló una función que une la visita correspondiente a cada una de las solicitudes de servicio. El proceso interno de la función recorre la tabla de solicitudes de servicio y asigna la visita más cercana según estos criterios:

1. Se buscan visitas realizadas a un cliente con ID de sistema Y nombre de comunidad iguales a lo especificado en la solicitud.

- a. Se deben cumplir ambos criterios, ya que los sistemas son rotados entre los clientes según se realicen cambios de equipo y, dado que las visitas que se desean analizar son de servicio, existe una alta posibilidad de que se haya realizado un cambio.
2. El nombre de la comunidad de la visita no se registra según lo que el cliente proporciona, sino con la información almacenada en la base de datos al momento de la llamada.
3. Existen casos en los que el ID de sistema de la llamada puede tener más de una visita asociada; en estos casos se ordenan las visitas según su fecha y se selecciona la primera visita después de la solicitud.

La función devuelve tres valores que son agregados como columnas a la tabla de Tipificaciones_Call_Center: 1) número de visitas encontradas, 2) la acción principal realizada en la visita, 3) la fecha en que fue realizada la última visita. Estos valores permiten realizar el análisis necesario para obtener las métricas finales de nivel de servicio.

4. Procesamiento y análisis de solicitudes de servicio

Con la información de las visitas relevantes unida a las llamadas, se crean las métricas de bajo nivel necesarias para el posterior análisis de alto nivel del servicio. No todas las visitas posteriores a una de servicio son válidas. Las visitas válidas se definen de la siguiente manera:

1. Se crea un diccionario de todas las posibles razones de la llamada y se les asigna una categoría.
2. Se crea un diccionario de todos los tipos de acciones realizadas en la visita y se les asigna una categoría.
3. Se corre la función 'valid_visit', la cual recorre la tabla Tipificaciones_Call_Center y asigna la categoría de la llamada y de la visita establecida en los diccionarios correspondientes.

Cuando la categoría de ambas instancias es la misma, dicha visita se considera correcta; de lo contrario, es inválida y, por lo tanto, se considera como no atendida.

4. Para las visitas correctas, se calcula el tiempo para atender el tique de servicio, la llamada.

El cuaderno de Jupyter con el código representante del proceso previamente definido se encuentra adjunto como Anexo 1: Nivel de Servicio – Phoenix.

5. Métricas relevantes

a. Solicitud atendida

Solicitudes de servicio con una visita correcta asociada. Cuando no tiene una visita, se considera como No Atendida. El dato asignado es un valor booleano, verdadero o falso. El cual se utiliza para calcular el porcentaje de llamadas atendidas. El porcentaje de llamadas atendidas se utiliza como una probabilidad de atención de servicio y métrica primaria del nivel de servicio.

b. Tiempo de servicio

Para las solicitudes de servicio atendidas se calcula el tiempo de servicio en días. Este valor se utiliza para calcular la distribución estocástica del tiempo de servicio y obtener el tiempo esperado de servicio.

6. Resultados de Nivel de Servicio

- Porcentaje de solicitudes atendidas: 15.37%
- Tiempo Promedio para atención: 25.998 días

VIII. PARÁMETROS Y SUPUESTOS PARA LA SIMULACIÓN

A. Parámetros

1. Cumplimiento de ruta

a. Definición de cumplimiento ruta

El cumplimiento de ruta se define como el porcentaje de tiendas asignadas para un día que tienen una visita efectiva de parte del agente. Una visita efectiva debe cumplir con lo siguiente: la tienda debe ser asignada para ese mismo día; la visita debe tener una venta o una sincronización de los datos del teléfono del tendero. Si una visita no cumple estas condiciones, la visita es inválida y no cuenta para el cumplimiento del agente. Las tiendas visitadas fuera de la ruta diaria no cuentan para el cumplimiento del agente.

b. Seguimiento al cumplimiento

Kingo lleva control del cumplimiento de ruta como el indicador principal para medir el desempeño de los ATR's. El Cuadro 2 muestra las variables obtenidas de la operación en campo para un agente; la misma información se recopila para todos los agentes de ventas. Se realiza un resumen de la información de todos los agentes para encontrar los promedios de cada agente. El Cuadro 3 muestra los resultados.

ID del Agente	Fecha	Tenderos en Ruta	Ventas en Ruta Realizadas	Ventas Fuera de Ruta Realizadas	% de Cumplimiento de Ruta
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-04	12	6	0	50.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-06	12	8	1	66.7%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-07	5	4	1	80.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-08	12	10	3	83.3%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-09	10	8	3	80.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-10	12	10	2	83.3%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-11	12	4	0	33.3%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-13	12	10	1	83.3%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-14	5	4	2	80.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-15	13	13	4	100.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-16	10	7	1	70.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-17	12	11	0	91.7%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-18	5	1	2	20.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-20	12	8	2	66.7%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-21	5	3	4	60.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-22	13	11	0	84.6%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-23	10	7	3	70.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-24	12	11	0	91.7%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-25	8	4	3	50.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-27	12	8	3	66.7%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-28	5	3	2	60.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-29	13	10	1	76.9%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-30	10	9	2	90.0%
atr.belter.giron@energysupport.gt	2020-07-31	12	10	0	83.3%

Cuadro 2 Datos de cumplimiento de ruta de un agente de ventas

Agente	Promedio de Tiendas en Ruta	Promedio de Visitas Efectivas	Total, de Tenderos en Ruta	Total, de Visitas Efectivas	Cumplimiento de Ruta
atr.belter.giron@energysupport.gt	10	8	244	180	71.73%
atr.billy.vega@energysupport.gt	5	4	127	90	69.49%
atr.byron.carcamo@energysupport.gt	6	5	148	122	82.86%
atr.darwin.zacarias@energysupport.gt	6	5	149	112	77.05%
atr.diego.lopez@energysupport.gt	5	2	124	41	32.85%
atr.elbin.martinez@energysupport.gt	8	7	186	152	83.66%
atr.elder.sacul@energysupport.gt	10	4	124	47	39.57%
atr.esau.sebastian@energysupport.gt	6	4	144	87	57.33%
atr.esdras.paau@energysupport.gt	10	7	233	169	72.54%
atr.hector.coy@energysupport.gt	9	6	213	135	62.89%
atr.helder.lopez@energysupport.gt	6	5	144	110	77.94%
atr.hugo.ti@energysupport.gt	7	5	167	108	67.47%
atr.jose.cacao@energysupport.gt	11	8	270	183	68.30%
atr.josue.soria@energysupport.gt	9	7	101	77	76.99%
atr.manuel.pacay@energysupport.gt	7	5	176	128	77.44%
atr.marlon.caal@energysupport.gt	8	5	198	110	53.56%
atr.melvin.cruz@energysupport.gt	9	7	224	179	77.93%
atr.reginaldo.tiul@energysupport.gt	11	9	272	205	76.27%
atr.tomas.itzep@energysupport.gt	4	3	95	70	75.60%
atr.vicente.coc@energysupport.gt	8	6	203	150	70.77%
atr.yonson.morales@energysupport.gt	6	5	153	112	75.23%
erwin.colucho@kingoenergy.com.gt	9	8	219	190	85.85%
Grand Total	8	6	3914	2757	70.17%

Cuadro 3 Resumen de cumplimiento de ruta

c. Análisis de cumplimiento de ruta

Para usar el cumplimiento de ruta como un parámetro en la simulación de Rhino, se busca la distribución estadística que mejor se ajuste a la información recolectada. Para este análisis se utiliza el set de datos de cumplimiento de todos los agentes durante el mes entero de julio; de esta manera se tiene la mayor cantidad de datos y se obtiene un mejor resultado.

La **Error! Reference source not found.** muestra el histograma de todos los datos de cumplimiento, así como la distribución que mejor se ajusta. Analizando los errores cuadrados del resumen de ajuste, se selecciona beta como la distribución con mejor ajuste. Los parámetros de la distribución Beta para el mejor ajuste son α y β de 1.7, 0.724, respectivamente.

Para validar el ajuste y determinar si la distribución Beta es de hecho la distribución de los datos obtenidos, se utiliza la prueba de Kolmogórov-Smirnov y su valor-P. El valor P obtenido de la prueba es menor a 0.01, lo

cual nos permite aceptar la hipótesis nula, la cual establece que los valores de cumplimiento provienen de una distribución Beta con parámetros α y β de 1.7, 0.724, respectivamente.

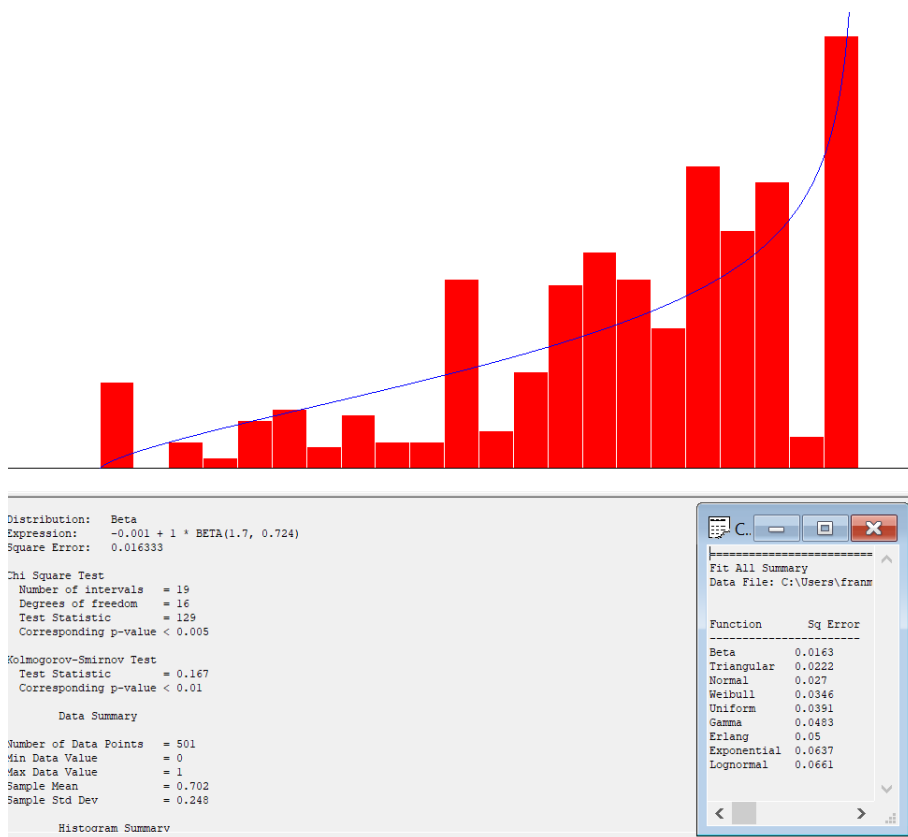


Ilustración 15 Histograma de cumplimiento de ruta

2. Tiempo de visita por tienda

a. Descripción del parámetro de tiempo de visita

Para poder simular adecuadamente la operación de Kingo, es necesario saber el tiempo que los agentes utilizan para realizar sus tareas asignadas en cada tienda de la ruta. Los agentes de ventas tienen dos tareas principales que deben ser realizadas en todas las tiendas a las que visiten: vender saldo y sincronizar la información del tendero. Estas tareas son realizadas por todos los agentes, lo que nos permite analizar los cientos de diferentes tiempos de visita y obtener una distribución estadística que describa el tiempo que se toma para hacer una visita de venta.

Para los agentes de abasto, quienes no existen actualmente en la operación, sino que son una adición del nuevo modelo Rhino, sus tareas en el tendero se dividen en dos partes. Primero, realizan la sincronización de datos del tendero y, de ser necesario, pueden vender saldo. El tiempo de ambas tareas se asume ser exactamente igual a las tareas de una agente de ventas actual. Adicional a estas tareas, el agente de abasto debe recibir y entregar todas las órdenes colocadas o procesadas. En base a la experiencia de campo y los procesos a realizar en las

aplicaciones móviles de trabajo, la entrega de órdenes se asume que toma el mismo tiempo que las tareas de ventas. Por lo tanto, se establece que una visita de abasto toma el doble de tiempo que una visita de ventas.

b. Análisis de geocercas para registro de ubicación de agentes

La distancia y aislamiento de los tenderos, falta de holguras en el día de trabajo y bajo nivel académico de los agentes de ventas imposibilitaron la recopilación de datos en campo a través de un estudio de tiempo. Como alternativa, se decidió utilizar un análisis de geocercas utilizando la ubicación del agente durante el día con granularidad de 30 segundos para poder obtener el tiempo de visita por tienda. La empresa lleva un registro automático de la ubicación de los agentes, el cual proporciona la ubicación real del agente cada 30 segundos y lo compila en un reporte de seguimiento, el cual permite llevar a cabo un análisis de los movimientos de los agentes. El registro de ubicaciones para uno de los agentes de ventas ubicaciones se muestra en la siguiente imagen.

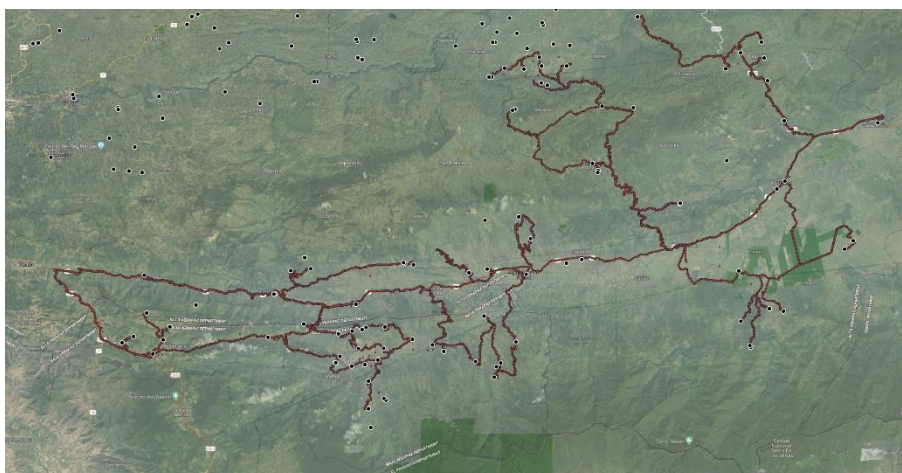


Ilustración 16 Registro de ubicación de agentes de ventas

El análisis de geocercas consiste en utilizar la ubicación de las tiendas asignadas y crear una cerca geográfica con un radio de 50 metros. Luego se aíslan los puntos del registro de ubicaciones que se encuentran contenidos dentro de la cerca. Las ubicaciones luego se agrupan por día y tendero; se ordenan según la marca temporal para seleccionar la mayor y la menor. De esta manera se obtiene la hora de llegada y salida del tendero. La resta de estas horas proporciona el tiempo que el agente pasa en la tienda y, por ende, un excelente estimado del tiempo de una visita de ventas. En la Ilustración 17 Visualización de análisis de geocercas se pueden observar los puntos del registro de ubicación en los que el agente se encuentra dentro de las geocercas, marcado en color azul y agrandado artificialmente para mejor visualización. Esta información luego es exportada para ser procesada en Jupyter Notebooks, código anexo como *shopkeeper_visit_time.html*.

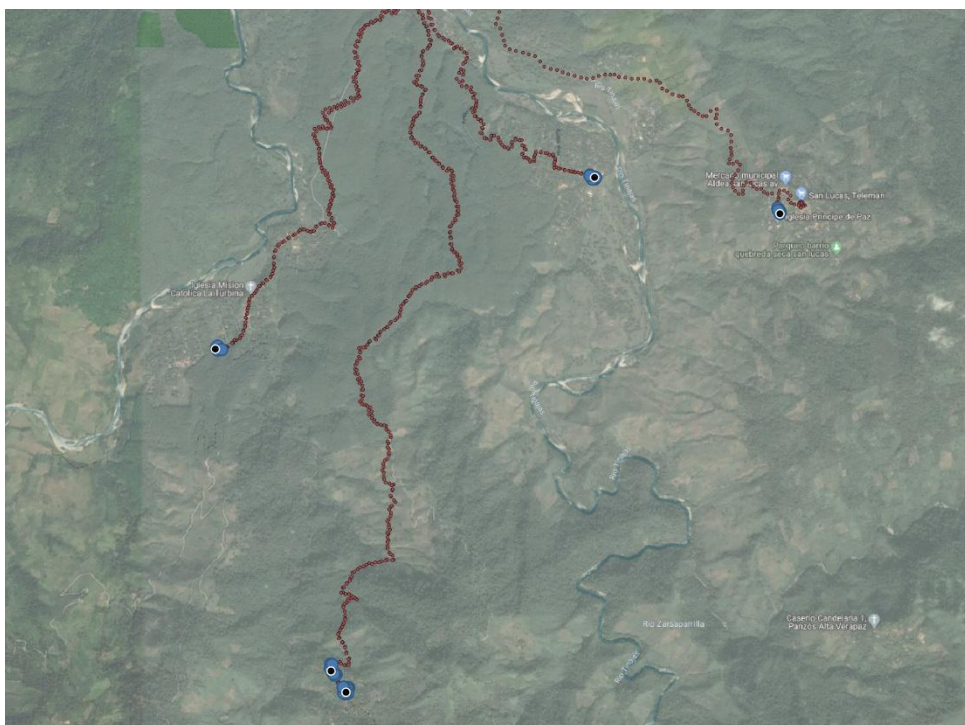


Ilustración 17 Visualización de análisis de geocercas

El procesamiento en Jupyter consiste en filtrar todos los puntos del registro que fueron contenidos dentro de alguna geocerca y, por lo tanto, cuenta con un identificador del tendero correspondiente. Luego, se agrupan por fecha y tendero para poder trabajar cada grupo por individual y encontrar la diferencia entre hora de entrada y hora de salida. El Cuadro 4, permite observar los primeros valores de la tabla resultante del análisis en Jupyter. Este resultado se ingresa a Input Analyzer para encontrar la distribución que mejor se ajusta y describe los datos obtenidos.

Fecha	ID de Tendero	Tiempo de Visita
3/22/2021	gtm-pet:pos:916947	8.82
3/22/2021	gtm-pet:pos:916948	32.13
3/22/2021	gtm-pet:pos:916950	45.58
3/22/2021	gtm-pet:pos:916951	23.07
3/22/2021	gtm-pet:pos:916953	10.52
3/22/2021	gtm-pet:pos:916954	23.07
3/22/2021	gtm-pet:pos:917295	60.00
3/22/2021	gtm-pet:pos:917296	43.08
3/22/2021	gtm-pet:pos:917344	22.02
3/22/2021	gtm-pet:pos:917546	58.05

Cuadro 4 Ejemplo de resultados análisis tiempo de visita

c. Resultado del análisis de geocercas para calcular tiempo de visita de usuario

La distribución estadística que mejor describe el comportamiento de los datos es la distribución gamma con parámetros α y θ de 64.1 y 0.4, respectivamente. El valor esperado de la distribución es de 25.24 minutos. Los valor-p de la prueba de Chi-Squared y Kolmogórov-Smirnov son de 0.254 y menor que 0.01, respectivamente, lo cual nos permite aceptar la hipótesis nula que establece que los datos provienen de una distribución Gamma con parámetros 64.1 y 0.4. En la Ilustración 18 se observa el histograma de los datos, así como la gráfica de la distribución con mejor ajuste, Gamma en este caso.

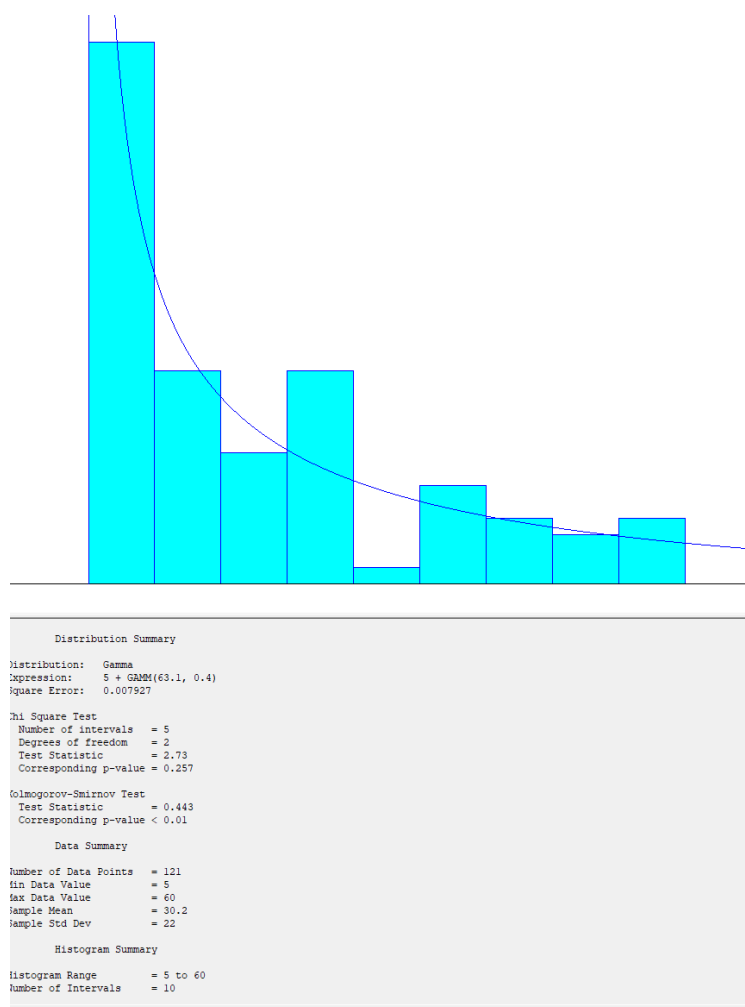


Ilustración 18 Histograma y resultados de tiempo de visita

3. Selección de territorios para simulación

a. Selección de territorios de venta

En directiva de la empresa, se establece en el presupuesto anual que por cada 2 agentes de ventas habrá un agente de abasto para la entrega de órdenes de servicio, recogidas y Kingos nuevos. La simulación busca validar que esa relación sea adecuada y que permita el cumplimiento de entregas a tiempo. Debido a la abundante cantidad de entidades y procesos, el modelo a simular debe ser acotado para no sobrepasar los límites del

software de simulación y del equipo de cómputo que se utiliza. Por lo tanto, se decide que solo se creará un agente de abasto y dos agentes de ventas. Esto forma la unidad operativa mínima necesaria para que la simulación y sus resultados sean válidos y realistas.

Para la simulación se seleccionaron los polígonos de ventas de Purulha y Panzos (nombres establecidos por municipio o microrregión predominantes del área), ubicados en el área sur de Alta Verapaz y abarcando pedazos de Baja Verapaz norte. Las razones de la selección serán explicadas a continuación.

b. Selección de rutas de abasto

El diseño de las áreas de cobertura de los agentes de ventas no cambiara en Rhino, más el área de cobertura de los agentes de abasto se diseñó desde cero utilizando conocimientos empíricos y experiencia operativa de campo y tomando en cuenta restricciones como la geografía de la región y la disponibilidad y calidad de las redes viales. Es así como la empresa diseñó los polígonos geográficos que abarcan cada territorio de abasto buscando distribuir la cantidad de tenderos equitativamente entre los diferentes agentes sin exceder el tiempo de transporte total, buscando crear la ruta optima.

La selección de Purulha y Panzos como polígonos de venta fue estratégica para la simulación y se basa en las siguientes razones:

- Esta región geográfica de Guatemala cuenta con un sistema vial en muy malas condiciones; una numerosa cantidad de carreteras y calles del área no están pavimentadas. Los tiempos de recorrido son muy elevados y, por lo tanto, este sirve como un modelo de un escenario crítico y, por lo tanto, validar el modelo en estos polígonos da mayor certeza de que funcionará en el resto.
- El área de cobertura de abasto #1 (nombre no representa ningún tipo de ranking ni información) cubre ambos polígonos de ventas a la perfección, permitiendo así la simulación de solo 2 de estos sin retraer validez al modelo.
 - o Este punto se aborda en la siguiente sección.
- La gerencia seleccionó los polígonos Purulhá y Panzos para realizar la primera implementación de Rhino en campo debido a su ubicación, cercana tanto a la Ciudad de Guatemala como a la sede regional en Santa Cruz, Alta Verapaz. Se desea utilizar la presente simulación como guía y modelo ajustable para lograr un lanzamiento exitoso y ágil del modelo Rhino.

c. Tiempos de ruta y tenderos contenidos

La simulación requiere el ingreso del tiempo de recorrido entre cada tendero, así como la cantidad de usuarios de cada tienda. Como fue mencionado anteriormente, Kingo cuenta con un mapa de segmentos de carreteras y caminos de toda el área de cobertura de la empresa, el cual se utiliza para el diseño de rutas y cálculo de tiempos. Durante la creación de dicho mapa, a cada segmento trazado se le agregó el tipo de camino que es. Los diferentes tipos de camino pueden ser observados en la Ilustración 19 por su color. Los segmentos rojos representan carreteras primarias o de alta velocidad, los azules, las secundarias y, por último, los blancos son calles terciarias. Esta información nos permite asignar una velocidad promedio de recorrido en cada uno en base al

tipo de camino, mostrados en el Cuadro 5. Utilizando la distancia del camino, se puede calcular el tiempo de recorrido estimado.

Tipo de Camino	Velocidad Promedio	Color en el mapa
1 – Primario	60 km/h	Rojo
2 – Secundario	50 km/h	Azul
3 – Terciario	20 km/h	Blanco

Cuadro 5 Velocidad por tipo de camino



Ilustración 19 Mapa de caminos Kingo

Utilizando este mapa se desarrollaron las rutas de ventas para cada agente y se calcula el tiempo de ruta para día de trabajo utilizando el de recorrido por ruta y el esperado de atención por tienda. Las siguientes tablas muestran un ejemplo del resultado de la ruta de Purulha y los parámetros que se agregarán a la simulación.

Viernes						Jueves						Miercoles					
Tienda	ID	Kingos	Tiempo Llegada	Tiempo Salida	Total	Tienda	ID	Kingos	Tiempo Llegada	Tiempo Salida	Total	Tienda	ID	Kingos	Tiempo Llegada	Tiempo Salida	Total
1	916661	29	35.97	5	40.97	1	917200	24	37.25	0	37.25	1	917585	45	142.58	0	142.58
2	915544	11	18.78	1.9	20.68	2	912163	64	1.24	0	1.24	2	917083	21	15.37	0	15.37
3	916718	33	24.97	20.1	45.07	3	917080	25	43.71	0	43.71	3	917179	44	7.91	0	7.91
4	303580	6	13.49	13.25	26.74	4	917077	19	29.07	0	29.07	4	917180	31	3.15	0	3.15
5	916634	34	41.65	5	46.65	5	917076	16	12.3	36.79	49.09	5	917181	58	6.97	0	6.97
6	915994	58	5	36.65	41.65	6	917186	16	13.7	13.7	27.4	6	917081	53	26.4	0	26.4
7	916636	40	11.795	0	11.795	7	912959	14	56.76	7.01	63.77	7	915844	20	16.15	9.47	25.62
8	914958	8	11.795	0	11.795	8	917075	2	5.63	5.63	11.26	8	917184	37	15.59	0	15.59
9	915542	47	7.97	88.22	96.19	9	913216	21	15.34	15.34	30.68	9	917184	37	81.68	71.79	153.47
Tiempo en Ruta					5.692333	10	917079	23	12.78	0	12.78	Tiempo en Ruta					6.617667
Tiempo atencion					3.75	11	917078	14	5.53	40.59	46.12	Tiempo atencion					3.75
					9.442333	Tiempo en Ruta					5.872833						10.36767
						Tiempo atencion					4.583333						
											10.45617						

Cuadro 6 Tiempos y kingos ruta de ventas

4. Ruta de abasto

a. Creación de polígonos de abasto

No todos los tenderos colocarán órdenes todas las semanas. Esto impide que se creen rutas con una cronología fija para todas las semanas. Todas las semanas se compilan las órdenes colocadas en las tiendas y se le asignan a la ruta de cada agente de abasto. Para realizar esta asignación, se utiliza la ubicación del tendero que coloca la orden y se asigna al agente de abasto correspondiente geográficamente. Con todas las órdenes asignadas a su agente, se comienza el proceso de ruteo buscando que los agentes recorran la menor cantidad de kilómetros para cumplir con su asignación. Tomando en cuenta que no se puede crear una ruta o cronología de visita igual para todas las semanas y el proceso de ruteo es una tarea extensa, se decide crear un recorrido base uniforme donde semana con semana solo es preciso agregar los desvíos necesarios según la asignación.

Para el proceso de asignar la entrega de órdenes y crear el recorrido base, la empresa debe crear polígonos de abasto. La cantidad de polígonos está definida a nivel dirección por razones de presupuesto, pero la forma de los polígonos y cobertura de tiendas es una decisión estratégica. El dibujo de polígonos es una tarea que se ha realizado previamente para los agentes de ventas y se revisa trimestralmente, por lo que la empresa ya cuenta con extensa experiencia y conocimiento de campo. La diferencia principal entre los polígonos de abasto y los polígonos de ventas es que el diseño debe seguir el modelo de estrella o centro y periferia, ya que el punto de partida no es el hogar del agente, sino las sedes regionales de la empresa. El dibujo inicial de los polígonos de abasto se realiza analizando la ubicación de los tenderos, los polígonos actuales de ventas y la red vial guatemalteca para diseñar aquellos iniciales. El cambio de paradigma en el diseño de rutas fuerza a la empresa a validar el diseño de los polígonos por medio de una simulación sencilla utilizando el método Monte Carlo. El diseño inicial de los polígonos es realizado por la empresa y la simulación de validación se trabaja dentro del marco de este proyecto como validación inicial de la viabilidad operativa del Modelo Rhino.

b. Estimación de métricas para simulación

La viabilidad operativa de los polígonos requiere tomar en cuenta dos restricciones principales: tiempo de la jornada de trabajo y capacidad física de los camiones de entregas. Para poder obtener una simulación válida, es necesario poder medir ambas variables y comprobar que no sobrepasen los valores de restricción. De cumplir adecuadamente, se concluye que los polígonos se encuentran correctamente diseñados y es posible proceder a la simulación del modelo completo y validar la mejor en el nivel de servicio.

Las dos restricciones dependen de la cantidad de tenderos que colocan órdenes y de la de órdenes que cada uno coloca; por lo tanto, es necesario estimar estas variables por medio de información histórica. Tomando en cuenta que el modelo Phoenix no le da seguimiento a ninguna de estas métricas, es necesario utilizar el servicio actual de Phoenix (AT's) y las tareas que realizan como base para obtener un valor estimado de tasa de tiendas que colocarán órdenes, así como de la cantidad de órdenes que realizarán. El análisis de datos realizado para estimar estas variables se trabaja en un cuaderno de Jupyter y el proceso es el siguiente:

1. Se extrae de la base de datos y se limpia toda la información con relación a las visitas de servicio de los AT's durante 6 meses, comenzando el 1 de enero de 2020 y terminando el 30 de julio de 2020.
2. Se filtran todas las visitas que no fueron una tarea de servicio o instalación, excluyendo ventas de saldo, visitas o instalaciones a tenderos, y tareas genéricas o sin información.
3. Se agrupan las tareas por semana de realización y por comunidad de la visita. La agrupación por semana nos permite equiparar el resultado a Rhino y poder estimar las métricas necesarias utilizando la misma ventana de tiempo como referencia.
4. Cada grupo se procesa individualmente para tres variables nuevas: cantidad de visitas que se agendaron, cantidad de visitas no agendadas y la cantidad de visitas total. Los resultados se resumen en una nueva tabla.
5. El resumen se filtra para obtener solo aquellas comunidades donde se hizo alguna visita planeada. Esto se debe a que cuando un agente visita alguna comunidad fuera de su agenda, visita no planeada, no es parte de la "ruta" de Rhino y, por tanto, no se puede considerar como integrante de la estimación semanal para la tasa de tenderos con orden.
6. La tabla resultante se agrupa únicamente por semana y se procesa cada grupo individualmente para calcular dos variables:
 - a. Porcentaje de comunidades durante la semana en las que, además de su visita al cliente agendado, realizaron alguna tarea extra. Esto nos permite obtener la tasa de tiendas de la ruta de Rhino en las que se colocarán órdenes.
 - b. Mediana de la cantidad de tareas que se realizan en la comunidad. Se utiliza la mediana para evitar un sesgo de los datos causado por datos atípicos.

La tabla resultante de estas estimaciones semanales de la tasa de tenderos que colocarán órdenes y cantidad de órdenes por tendero se procesa en Input Analyzer para buscar la distribución de mejor ajuste a los datos que se utilizará en la simulación de las rutas de abasto. Los resultados se observan en las siguientes ilustraciones.

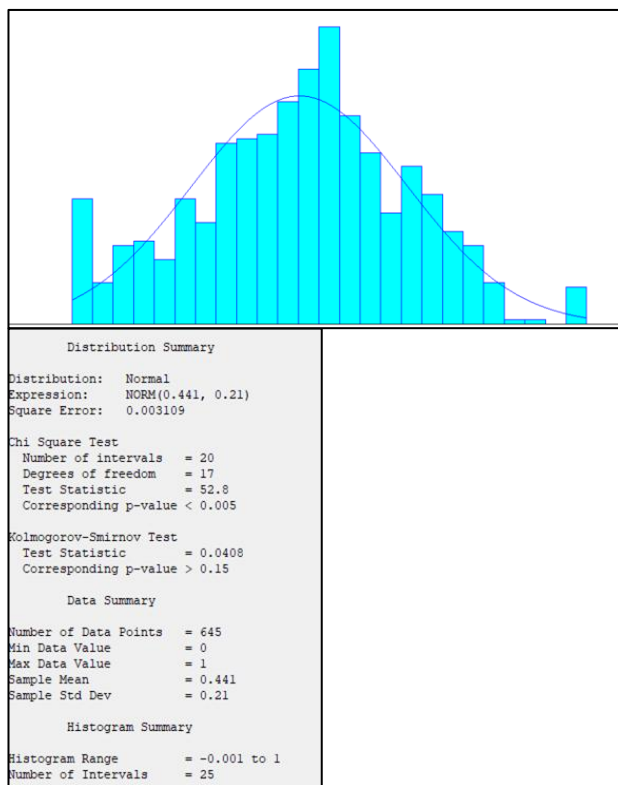


Ilustración 20 Estimación de cantidad de órdenes por tendero

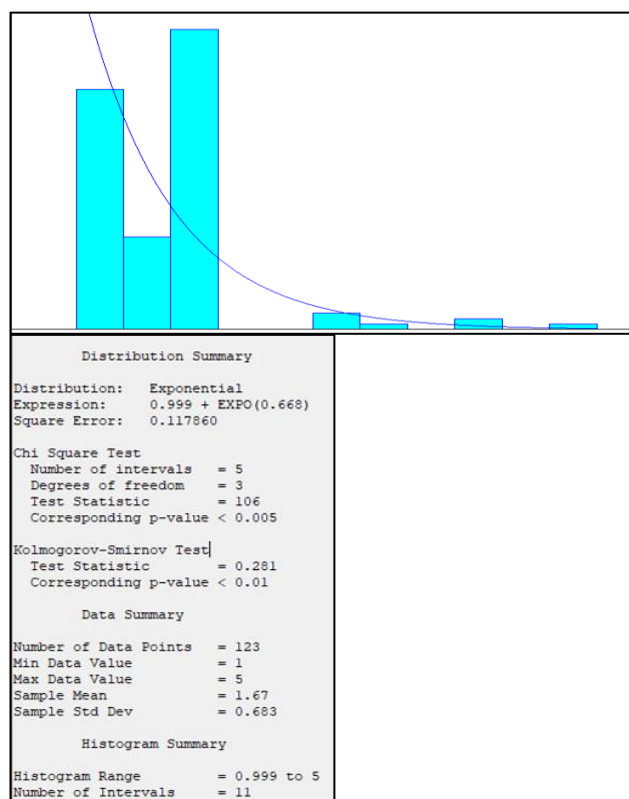


Ilustración 21 Estimación de tasa semanal de tenderos con órdenes

La estimación de la tasa semanal de tenderos que colocarán órdenes se describe con una distribución Normal con parámetros de media y desviación estándar de 44.1% y 21%, respectivamente. El valor esperado de esta distribución es la media.

La estimación de la cantidad de órdenes colocadas por tienda se describe por una distribución Exponencial con parámetro Lambda de 0.668 y un ajuste vertical de 0.999. El valor esperado de esta distribución es del 2.496.

c. Simulación Monte Carlo para la validación de polígonos de abasto

Utilizando los parámetros previamente descritos de tiempo de visita, tasa de órdenes y cantidad de órdenes colocadas por tenderos y los polígonos de abasto diseñados, se realiza una simulación Monte Carlo para validar que haya suficiente tiempo para cumplir con las órdenes que se coloquen. Para realizar la simulación, se utiliza una herramienta creada por la empresa para encontrar la ruta óptima en tiempo entre cualquier set de puntos geográficos, en este caso los tenderos. Utilizando el paquete de Python Shapely, módulo especializado para trabajos con objetos geográficos y marcos de referencia cartesianos y geodésicos, se procesa la base de tenderos Kingo para agregarle a cada uno su polígono de abasto correspondiente según su ubicación geográfica de

manera automática. Con la información de tendero y el polígono de abasto se llevan a cabo 100 corridas de una simulación Monte Carlo para obtener un amplio set de datos.

Pasos de la corrida:

1. Utiliza la distribución Normal con media de 0.441 y desviación estándar de 0.21 que describe la tasa de tenderos que colocarán órdenes; se crea un valor aleatorio para marcar el tamaño de la muestra.
2. Para cada polígono se crea una muestra de tenderos en base a la tasa de órdenes colocadas. La función de muestreo utiliza un parámetro de priorización probabilística para tenderos con más clientes, ya que tienen mayor probabilidad de colocar órdenes. Todas las muestras comienzan en la ubicación de la sede regional más cercana.
3. El tiempo de cada visita se calcula usando la distribución Gamma con parámetros Alpha y Beta de 63.1 y 0.4, respectivamente. Luego, se ajusta con una traslación vertical de 5 y un multiplicador por ser vista de abasto para crear un tiempo de visita.
4. Para cada tienda de la muestra se genera una cantidad de órdenes por entregar utilizando la distribución Exponencial con parámetro lambda de 0.668 y ajuste vertical de 0.999.
5. Se calcula tiempo de ruta de la muestra utilizando la herramienta de ruteo de la empresa.
 - a. La Ilustración 22 muestra la herramienta de ruteo, la cual devuelve el tiempo mínimo de recorrido y la distancia a recorrer, así como la ilustración de la ruta. Para la simulación solo se utilizan los valores y no la imagen.
6. Se almacena el tiempo de visita, cantidad de tiendas, cantidad órdenes, y distancia de la ruta variable para su posterior análisis.

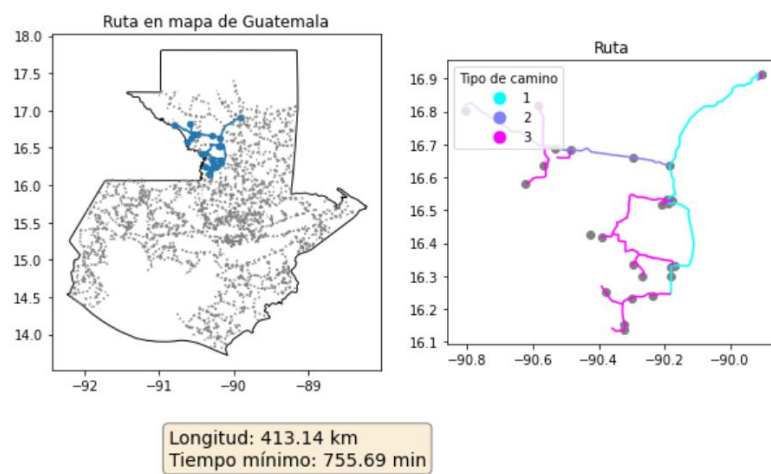


Ilustración 22 Herramienta de ruteo Kingo

Luego de realizar 100 corridas, se agrega toda la información de cada corrida en una tabla para analizar los resultados. Se tienen resultados de 100 corridas por cada polígono. El Cuadro 7 ilustra los resultados de la simulación Monte Carlo resumidos. Tomando en cuenta el valor máximo en cantidad de días de trabajo que se obtiene y el valor máximo de la cantidad de órdenes a entregar, se puede concluir que los polígonos están

correctamente diseñados y no se espera que haya incumplimiento de ruta por falta de tiempo. Vale la pena mencionar que la simulación demuestra que sí es posible realizar las rutas para los polígonos diseñados, mas no comprueba que sea el mejor diseño. La variabilidad entre las rutas es indicativa de que puede haber mejora, pero se realizará una vez se implemente el proyecto y utilizando información real y no estimada.

Polígono	Tenderos total	Promedio de tenderos visitados	Promedio de tiempo total de ruta	Total, de días de trabajo	Máximo de días de trabajo	Máximo de cantidad de órdenes
Ruta 1	113	28.6	2165.75	3.61	4.09	97.00
Ruta 2	63	15	1441.09	2.40	2.67	37.00
Ruta 3	112	26	2614.73	4.36	4.90	197.00
Ruta 4	87	19	1294.58	2.16	2.28	46.00
Ruta 5	101	23.2	1710.79	2.85	3.36	156.00
Ruta 6	84	21.4	1506.02	2.51	2.73	28.00
Ruta 7	82	19.4	1785.00	2.98	3.19	175.00
Grand Total	91.71	21.8	1788.28	2.98	4.90	197.00

Cuadro 7 Resumen de simulación de polígonos de abasto

d. Cronología de ruta de abasto

Con los polígonos de abasto validados y la selección del polígono a utilizar en la simulación, el siguiente paso es la creación de la ruta base de abasto para la ruta #1. La ruta base está compuesta de porciones de las rutas de venta contenidas dentro de la ruta de abasto, en este caso Purulha y Panzos. Las rutas de ventas están creadas con gran cantidad de análisis y han sido validadas en la operación por más de 6 meses, por lo que se pueden utilizar como recorridos guía. La ruta de abasto consiste en la agrupación cronológica de diferentes días de las rutas de venta para crear el orden en el que el agente recorrerá el polígono. Esto permite simplificar el proceso de ruteo semanal a tan solo agregar todas las paradas y desvíos de la ruta base que deberán ser realizados. La ruta base para la Ruta #1 de abastos se muestra en la Ilustración 23. Los diferentes días de ventas se ordenan de la mejor manera para que el agente de abasto siga una ruta lógica y los desvíos sean mínimos.

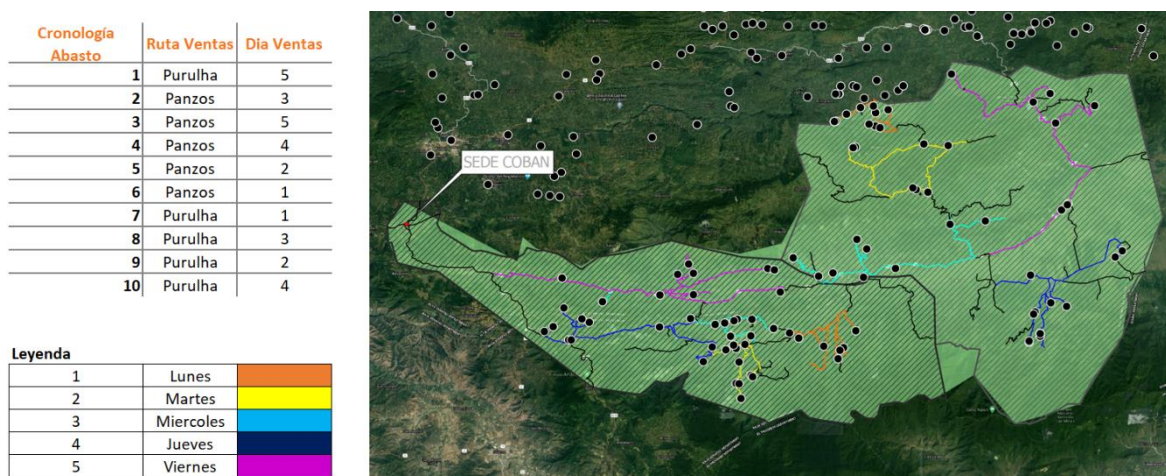


Ilustración 23 Cronología de ruta base de abasto

5. Edad de los usuarios

Los sistemas solares aislados con los que opera la empresa se componen de 2 principales componentes: el panel solar y la batería. La batería es el punto crítico del sistema debido a su limitado tiempo de vida y sensibilidad al mal uso. El panel solar tiene una vida útil de hasta 15 años, mientras que las baterías de ácido-plomo tan solo tienen 2 años de vida útil bajo las mejores condiciones de uso. La empresa ofrece una garantía perpetua de servicio que cubre cambios de batería sin importar la razón de fallo. Para estimar la probabilidad de fallo de cada usuario, valor que define la simulación y el comportamiento de los usuarios, la variable que mejor los define es la edad. Los sistemas tienen una alta confiabilidad en todos sus componentes electrónicos, desde el controlador de carga al módulo prepago, mientras la batería de ácido plomo es susceptible al consumo, cuidado y especialmente al tiempo de vida y cantidad de ciclos (cargas y descargas) que han pasado. Por lo tanto, es necesario agregar la edad del cliente a la simulación como variable directamente relacionada con la probabilidad de fallo.

Para calcular la edad que se utilizará en la simulación, se extrae la información de la edad de todos los sistemas instalados, tomando el sistema más reciente de cada cliente en dado caso de que este haya recibido algún cambio de sistema previo. Para agregar a la simulación un valor de la edad y no tener que ingresar a la información de cada usuario uno por uno, lo cual le reduciría repetibilidad y versatilidad a la simulación, se procesan los datos utilizando Input Analyzer para encontrar la distribución de mejor ajuste. La siguiente ilustración muestra el resumen de los datos obtenidos y la distribución de mejor ajuste. Según se observa, el valor-p se encuentra por debajo de 0.05, lo que nos permite acertar que la edad de los usuarios se ajusta significativamente a una distribución gamma con parámetros 462, 1.07.

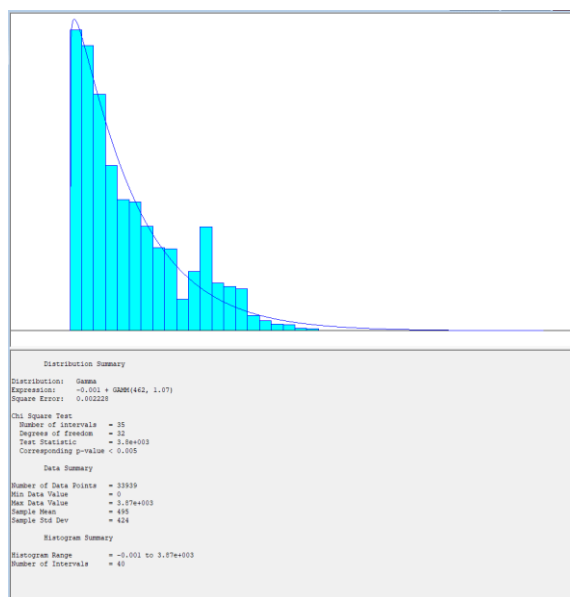


Ilustración 24 Distribución de la edad de los sistemas instalados

6. Corrida de la simulación

Para extraer la mayor cantidad de datos, las corridas de la simulación se configuran con los siguientes parámetros.

- Duración: 52 semanas, un año calendario.
 - o Cada corrida de la simulación durará un año, lo que permite entender el comportamiento temporal de la simulación y, por ende, del modelo Rhino. Se espera que, dada la antigüedad de los sistemas instalados y el mal nivel de servicio del modelo Phoenix, exista una gran cantidad de órdenes durante el principio de la simulación y que este valor tenga un decremento significativo conforme corre el tiempo y se cambian los sistemas con problemas.
- Comienzo: 1 de enero de 2021

- El año y fecha son arbitrarios y no tienen efecto en el desarrollo y comportamiento de la simulación. Se selecciona el primero de enero para que los datos resultantes sean más fáciles de analizar.
- Semilla de Aleatorización: se incrementa en 15 para cada una de las corridas comenzando en uno.
 - La semilla de aleatorización es el valor que se utiliza por los algoritmos de aleatorización dentro de toda la corrida. Cada parámetro o suposición que se introduce como una variable aleatoria debe ser revisado durante la simulación, y es la semilla de aleatorización la que hace posible obtener resultados diferentes en cada ejecución. El valor no define ni afecta el comportamiento y se cambia solo para agregar aleatorización.
- Cantidad de corridas: diez
 - Se realizarán diez corridas distintas de la simulación para validar que los resultados sean consistentes entre ellos y comprender el efecto de las variables estocásticas dentro del modelo.

B. Supuestos de la simulación

1. Tiempo de visita de usuario a tendero

El tiempo de visita del usuario no fue posible calcularlo utilizando datos históricos, ya que no se cuentan, y la ubicación de los tenderos junto con la falta de cobertura celular que se da en las comunidades rurales donde opera la empresa lo hacen un dato difícil de extraer, ya que habría que los agentes tendrían que permanecer en la tienda hasta que un usuario se presente. Por lo tanto, el tiempo de visita del usuario en el tendero se asume que es representado por una distribución triangular con parámetros moda, mínimo y máximo de dos, uno, cinco minutos respectivamente, lo cual considera que el colocar una orden toma significativamente más tiempo que simplemente comprar saldo, pero es más común que el usuario solamente compre saldo y no coloque una orden.

2. Patrones de consumo

Kingo ofrece varios planes de saldo, con el propósito de evitar que el nivel económico de los clientes sea una barrera para la adquisición y utilización del servicio. Históricamente, la gran mayoría de usuarios Kingo consumen diferentes tipos de planes por razones que se desconocen. Unas veces compran semana, el siguiente mes, y otras días individuales. Con el fin de simplificar la simulación, sin perder realismo, se decide suponer que todos los usuarios mantienen un patrón de consumo que sigue la proporción de compra de cada plan según el consumo histórico real.

a. Proporción de usuarios en cada patrón de consumo

Para calcular la proporción de compra de cada plan, se utiliza la información histórica de la venta de códigos según su plan. Tomando en cuenta que los códigos de día se requieren comprar más seguido que los de semana y mes, así como también los códigos de semana, se ajusta el conteo de códigos para compararlos entre sí. Los resultados se presentan en la tabla a continuación.

Plan	Conteo de códigos	Conteo ajustado	Proporción
Día	38403	1371	14%
Semana	21032	5258	54%
Mes	3188	3188	32%

Cuadro 8 Patrón de compra según proporción histórica

3. Actividad de los usuarios

Por motivos de simplicidad del modelo, se asume que los usuarios intentan mantener un nivel de utilización del 100%. Es decir, cada vez que un usuario se queda sin saldo, visita a su tendero e intenta comprar saldo para su sistema solar. La disponibilidad de saldo en el tendero puede impedir que el usuario compre saldo. En este caso, usuario pasa a estar inactivo y vuelve a intentar comprar cuando su patrón de consumo lo requiera. Si un usuario con patrón de consumo semanal visita a su tendero y este no tiene saldo para venderle, el usuario se desactivará y no lo visitará hasta que su contador de tiempo inactivo vuelva a cumplir la semana; de la misma manera sucede para consumidores de mes y de día.

Este supuesto no afecta la simulación, ya que el objetivo es validar que el nivel de servicio incrementa al cambiar a un modelo operativo de Rhino. El incremento en la compra de los usuarios no es relevante para el modelo, ya que es una variable de comportamiento humano; su simulación sería diferente. Cabe mencionar que, dado que se espera una mejora en el nivel de servicio, se asume que habrá un incremento en las ventas, ya que los usuarios previamente “churneados” se reactivarán y comenzarán a comprar saldo de nuevo. También se espera que los usuarios en espera de una reparación también volverán a comprar código antes, ya que existirá una mejora en tiempo de atención y cantidad de solicitudes de servicio atendidas.

4. Versión del sistema solar de los usuarios

Kingo actualmente tiene varios tipos de sistemas solares instalados en campo con varias versiones de cada uno. Las versiones y modelos son los siguientes:

Modelos	Conteo de Sistemas	Proporción de la Base
Kingo10	2	0.01%
Kingo 100	125	0.37%
Kingo Básico	5852	17.24%
Kingo Luz	27278	80.37%
Kingo TV	582	1.71%
Sin Modelo	100	0.29%
Grand Total	33939	100.00%

Cuadro 9 Modelos de sistemas instalados

Versiones	Conteo de Sistemas	Proporción de la Base
0	2	0.01%
1	575	1.69%
2	19156	56.44%
3	14106	41.56%
Sin Versión	100	0.29%
Grand Total	33939	100.00%

Cuadro 10 Versiones de sistemas instalados

Modelos y Versiones	Conteo de Sistemas	Proporción de la Base
0	2	0.01%
Kingo 10	2	0.01%
1	575	1.69%
Kingo 100	125	0.37%
Kingo Básico	48	0.14%
Kingo Luz	402	1.18%
2	19156	56.44%
Kingo Luz	18590	54.77%
Kingo TV	566	1.67%
3	14106	41.56%
Kingo Básico	5804	17.10%
Kingo Luz	8286	24.41%
Kingo TV	16	0.05%
Sin Versión	100	0.29%
Sin Modelo	100	0.29%
Grand Total	33939	100.00%

Cuadro 11 Modelos y versiones de sistemas instalados

Los sistemas con versión previa a la No. 3 utilizan una batería de ácido plomo para almacenar energía. Estas baterías tienen un tiempo de vida mucho más reducido, dos años vs. cinco años, que los sistemas versión No. 3, los cuales utilizan una batería de ion de litio. La versión n.º 3 de sistemas se diseñó para aumentar la durabilidad y reducir la cantidad de servicio necesario de los sistemas, lo cual ha dado un buen resultado. El problema es que la empresa no cuenta con el capital para cambiar todos los sistemas versión 2 y, por lo tanto, no dejará de utilizarlos hasta que estos terminen su vida útil y todos los repuestos en bodega se agoten; esto se estima que tomará como mínimo 5 años. Tomando en consideración este importante hecho, la simulación se enfocará en los sistemas versión 2, de los cuales se conoce mejor su confiabilidad en campo y la empresa le encuentra mayor utilidad al resultado, ya que, si el modelo Rhino se válida para los sistemas versión 2, con mayor requerimiento de servicio, se asume que lo será también para los sistemas versión 3.

Por simplicidad del modelo y tomando en cuenta la baja proporción que estos componen de la base total de sistemas instalados, se utilizará solamente los sistemas versión No. 2 y el modelo Kingo Luz. Los precios de los planes son la única diferencia entre un sistema Kingo Luz y uno Kingo TV.

5. Operación de bodega y talleres

La garantía perpetua de servicio que se ofrece a los clientes requiere que la empresa cuente con una bodega, así como con un taller para hacer las reparaciones y poder mantener un nivel más elevado de utilización de los activos. Actualmente, la bodega y taller cuentan con una capacidad de producción y almacenamiento superior a los requerimientos de la operación. Además, el inventario actual de partes de repuesto y de sistemas extras es superior a cualquier demanda previsible, esto debido a un mal manejo de la proyección de demanda y el equipo de compras. La simulación siempre tendrá suficiente inventario para reparar los Kingos.

6. Probabilidad de fallo

Se utiliza la información de los cambios, swaps, realizados durante un periodo de tiempo de 1 mes para calcular la cantidad de sistemas que fallan y deben ser cambiados. La cantidad de órdenes que se colocarán en los tenderos está directamente relacionada con la edad en días del sistema de cada usuario. Para estimar la probabilidad mensual de que un sistema falle, es necesario llevar a cabo un análisis con la información actual. Para dicho análisis se extrae la información acerca de los cambios de equipo (swaps) y se encuentra la edad del sistema saliente. Según la edad en días del sistema saliente, este se asigna a una categoría para compararlo con la cantidad de sistemas instalados de grupo de edad que había al inicio de mes. Esto entrega la probabilidad de que un sistema falle según la edad, la cual se ingresa a la simulación para controlar la cantidad de órdenes colocadas. Los resultados del análisis son los siguientes:

Categoría	Rangos de edad	Kingos instalados	Kingos cambiados	Probabilidad de fallo
7) Muy viejo	601+	806	130	16.13%
6) Viejo	501-600	825	45	5.45%
5) Adulto	401-500	767	40	5.22%
4) Adulto joven	301-400	619	20	3.23%
3) Joven	201-300	188	4	2.13%
2) Muy joven	101-200	1183	17	1.44%
1) Recién instalado	0-100	182	2	1.10%

Cuadro 12 Probabilidad mensual de fallo

El comportamiento observado es el esperado, en el cual los clientes con sistemas versión 2 más antiguos son los que más servicio solicitan. Como se menciona previamente, se asume que los clientes siguen su patrón de consumo y, por lo tanto, visitarán al tendero de manera uniforme según su patrón.

Para simular una probabilidad de fallo cada vez que el cliente visite al tendero, tomando en cuenta los distintos patrones de consumos, día, semana y mes; y que la probabilidad de fallo calculada es mensual. Se realiza un ajuste de la probabilidad según la cantidad de ocurrencias que el cliente tendrá durante un mes. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Probabilidad de fallo ajustada} = \frac{\text{Probabilidad de fallo mensual}}{\text{Visitas esperada al mes}}$$

Si el cliente tiene un patrón de visita diario, la probabilidad se ajustará dividiendo la correspondiente al período mensual correspondiente a la edad del cliente dentro de 28 veces (se asume cada semana de siete días y cada mes de cuatro semanas exactas).

IX. DESAROLLO DE MODELO PARA SIMULACIÓN

A. Estructuración jerárquica de objetos simulados

Simio es un software de simulación de procesos orientado a objetos y cuenta con una librería de elementos predeterminados, los cuales pueden ser utilizados para la gran mayoría de aplicaciones, como procesos industriales y de distribución. Además de utilizar estos objetos, Simio permite desarrollar objetos personalizados basados en procesos, elementos, propiedades e incluso otros objetos. Para una simulación tan compleja como la de una empresa de servicios de energía rural, no es posible utilizar los objetos predeterminados como tal, ya que esto requeriría una gran cantidad de repetición en el diseño y configuración de la simulación. Tan solo el polígono de abasto que se simulará contiene 93 tiendas con 2558 usuarios. Simular cada usuario y tienda junto a todos sus procesos y parámetros daría como resultado demasiado tiempo de trabajo y una simulación sin aplicación de experimentación, ya que cualquier cambio de parámetros o cambios en el proceso requeriría llevar a cabo el cambio en todas las instancias. Por lo tanto, la simulación utiliza el paradigma orientado a objetos de Simio para crear un elemento representativo de los elementos principales de Kingo y modelar jerárquicamente sus relaciones y comportamientos. Se decide crear objetos para los siguientes elementos: el usuario, el tendero, el agente de ventas, el agente de abasto, la orden de servicio y el modelo completo. Cada objeto cuenta con parámetros ajustables, variables de control internas, procesos que rigen su funcionamiento y visualización interna y externa. Los objetos personalizados están compuestos de objetos predeterminados, así como de otros objetos personalizados. Por ejemplo, dentro del modelo final, se encuentran contenidos todos los tenderos y dentro de estos se encuentran todos los usuarios. Esto permite que el llevar a cabo un cambio al funcionamiento interno del tendero se vea reflejado en todos los tenderos contenidos dentro del modelo. De igual manera, los agentes de ventas interactúan bajo los mismos supuestos con todos los tenderos, sin importar el tendero o la ruta asignada. La imagen inferior muestra la jerarquía básica de modelos y objetos que se simularán para obtener el modelo Rhino.

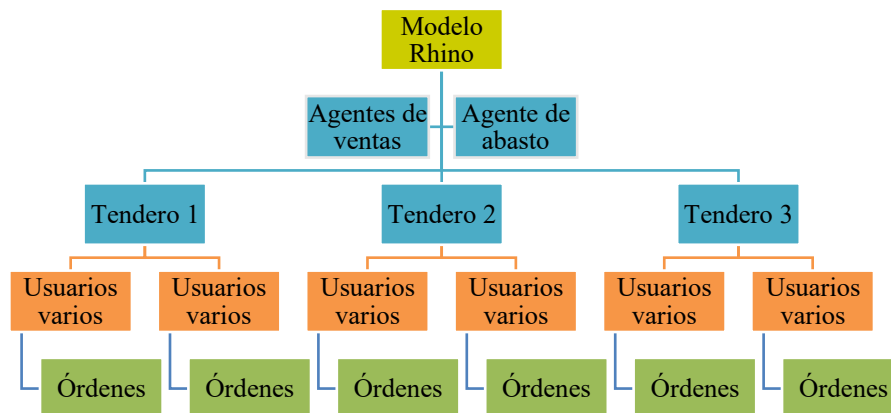


Ilustración 25 Árbol de jerarquía de objetos a modelar

B. Definición de objetos simulados

1. Usuario

El usuario debe representar a un cliente promedio y ejemplificar sus comportamientos de la mejor manera. En el modelo comercial y operativo de Rhino, la interacción del usuario con agentes es mínima, ya que se empodera al tendero para administrar su parque de clientes y ser él quien lleva la relación con los agentes de Kingo. Esto permite que el usuario sea simplemente una entidad en la simulación, ya que su comportamiento estará definido dentro del tendero y no intrínsecamente. Lo que sí es necesario agregar a la entidad del usuario son las variables que lo hacen único y definen su interacción y comportamiento con el tendero.

a. Variables de estado

- Edad: tiempo en días desde que el usuario fue instalado. Esta variable se define como un estado con crecimiento constante y se utiliza para calcular la probabilidad de fallo posteriormente. Al crearse, se establece la edad inicial del usuario para que la simulación se encuentre, en promedio, igual que al parque instalado en la realidad.
- Fecha de instalación: estado estático que marca la fecha en la que el usuario se creó o recibe un equipo nuevo.
- Recurrencia de visita: estado estático que define recurrencia de visita según la proporción previamente descrita.

El usuario habita dentro del objeto del tendero y sus comportamientos se encuentran definidos en el mismo. Cuando un usuario se crea, se le asignan todos los valores correspondientes a las variables de estado y recibe un identificador único. La cantidad de usuarios a crear en cada tendero se define para cada una de las tiendas y no cambia durante la simulación.

b. Visualización externa del usuario

El usuario es una entidad a la cual se le coloca el símbolo y apariencia de un humano genérico. Además, para facilitar la comprensión y realizar la depuración de la simulación, se le coloca un indicador del estatus en tiempo

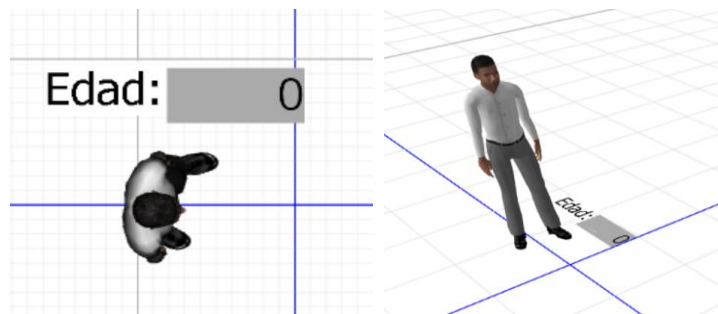


Ilustración 26 Visualización externa de la entidad de usuario

real de la variable edad; este permite validar que el incremento es correcto y que el comportamiento dependiente del valor es el indicado.

2. Orden

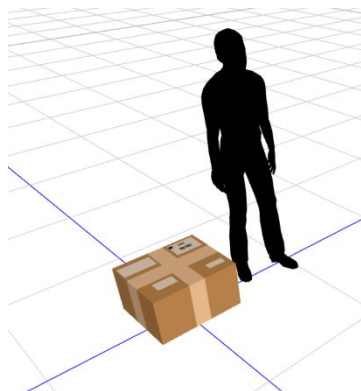
Los usuarios colocan órdenes de servicio en sus tenderos y estas deben ser procesadas, transferidas a bodegas, trabajadas y finalmente entregadas. La orden no tiene comportamiento en el modelo Rhino ni en la simulación. La orden funciona como papeleta de servicio y almacena la información requerida para trabajarla y completarla, cerrando así el caso para la posterior destrucción de esta. Dentro de la simulación, la orden se crea dentro del tendero durante la interacción entre el usuario y el tendero mismo. Luego, tomando en cuenta que la gran mayoría de los tenderos de Kingo no cuentan con cobertura celular y no pueden cargar la orden a la base de datos, esta es procesada y recibida por cualquier agente de Kingo, ya sea de ventas o de abasto. Al salir del tendero y obtener cobertura celular, el agente publica dicha orden para su trabajo en taller y bodega. Una vez completada, la orden se carga dentro del cambio de abasto para ser entregada en la tienda correspondiente. Cuando la orden se entrega, se completa el ciclo y esta se destruye.

a. Variables de estado

- Usuario padre: referencia a entidad del usuario que crea la orden y a quien se le debe entregar esta una vez completada.
- Tendero padre: referencia al objeto del tendero donde la orden es creada. Permite el ruteo del camión de abasto una vez que la orden esté completada.
- Hora creada: estado estático que almacena la hora exacta dentro de la simulación en la que la orden es creada por el tendero. Esto permite extraer las variables necesarias al restar el tiempo real (actual dentro de la simulación) y esta variable. Nos permite obtener estadísticas y métricas de rendimiento. Esto para validar el tiempo de entrega de la orden, lo cual forma parte esencial del nivel de servicio que el modelo Rhino busca mejorar.
- Hora recibida: estado estático que almacena la hora exacta en la que la orden es recibida por el software para que se inicie con su procesamiento en taller y bodega. Sirve para identificar si un elongado tiempo de entrega se debe a un fallo en las rutas de los agentes de ventas o en las de abasto. El tiempo de recepción debe mantenerse alrededor de 7 días, lo cual representa la máxima cadencia de visita de los agentes de ventas al tendero.
 - o Se profundizará en esto posteriormente.

b. Visualización externa de entidad orden

En la simulación, la orden se representa como un objeto físico con volumen y forma. Durante la amplia mayoría de su ciclo de vida, esto es meramente representativo, ya que esta es una orden digital hasta que es procesada y cargada dentro del agente de abasto.



*Ilustración 27 Visualización
externada de entidad orden*

3. Agente de ventas

Como se describe previamente, el agente de ventas es la unidad operativa responsable de mantener a los tenderos abastecidos de saldo y de revisar y recolectar las órdenes en todas las tiendas para que estas puedan ser enviadas a la base de datos para su posterior procesamiento. El agente sigue una ruta de visitas repetitiva semanalmente, durante la cual debe visitar a todas las tiendas dentro de su área de cobertura. Un fallo en el agente de ventas deja al tendero sin saldo para vender y los clientes se inactivan; además, al no visitar y recoger las órdenes semanalmente, se incrementa el tiempo de entrega de las órdenes y baja el nivel de servicio. Dentro de la simulación, el agente de ventas es un objeto de tipo vehículo/transporte, ya que acarrea entidades de punto a punto y viaja por medio de la red de conectores y caminos creados. El agente tiene la capacidad de entrar y salir de los distintos objetos e interactuar con ellos dentro de cada uno; ej., el agente contacta al tendero para que venda saldo y recolecte órdenes. El agente de ventas viaja en motocicleta y ya no requiere de espacio físico para el almacenamiento de bienes, estos siendo digitales en su totalidad. Como parte de la simulación, el agente de ventas cuenta con una estación de carga con capacidad infinita, la cual representa a las órdenes que este recolecta para su posterior carga a la base de datos.

a. Establecimiento de la ruta y tiempos

Como se describe en la sección 13.1.3.3, se extraen todas las tiendas que geográficamente se encuentran ubicadas dentro del área de cobertura del agente y se crea una ruta lógica de visita que busca minimizar el tiempo de transporte. El orden de visita a las tiendas establecido por la ruta creada se genera utilizando conectores que van de tienda a tienda según corresponde. Por simplicidad del modelo, el tiempo de ingreso y egreso del tendero se define dentro de su objeto como una propiedad no mutable y las conexiones de tienda a tienda tienen un tiempo de recorrido de 0. Cabe mencionar que, debido a que el tiempo de ingreso y egreso se define dentro del tendero y en el modelo general, la ubicación de la tienda es irrelevante. Estas se ordenan de manera cronológica por día de la semana de visita que les corresponde. Esto permite tener un modelo más ordenado y visualmente atractivo.

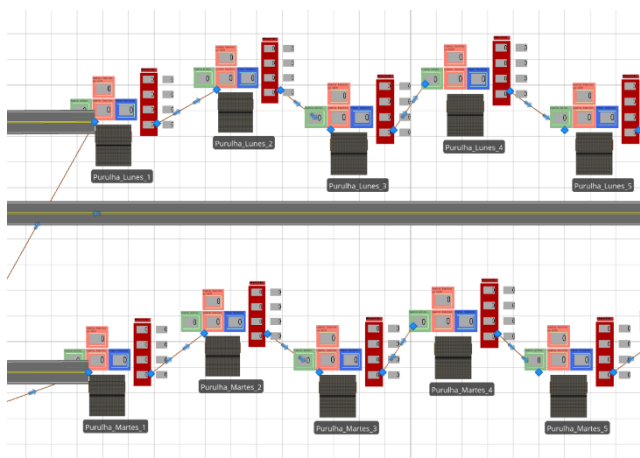


Ilustración 28 Conexión cronológica entre tenderos

En la ilustración superior se puede observar que cada tienda se identifica según el área de cobertura o polígono de ventas, seguido por el día de ruta y número de tienda en el día.

El tendero incorpora internamente como propiedades el tiempo que el agente tomará para llegar y salir de cada tienda. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo.

Properties: Purulha_Lunes_5 (Tendero)	
Ventas	
Cantidad Usuarios	148
Balance Recom...	7
Cumplimiento_d...	0.0
Probabilidad_Fa...	0.0
Tiempos	
Tiempo Entre...	0.0
Units	Hours
Tiempo Entra...	38.84
Tiempo Salid...	12.06
General	
Animation	

Ilustración 29 Tiempo de llegada y salida de tenderos

b. Horario de trabajo

El agente de ventas representa un recurso humano con capacidad limitada para realizar sus labores. El trabajo de graduación busca validar que el agente no requiera de días de labores extendidos, lo que causaría un fallo en la atención y, por ende, una reducción en el nivel de servicio que se busca mejorar. El horario de trabajo para el agente de ventas se establece de 6:00 am a 10:00 pm, de manera exagerada para evitar un error en la simulación. Para validar si el tiempo de ruta de los agentes de ventas es el adecuado, se emplean estadísticas de conteo nativas de Simio; en este caso se utiliza una estadística de tipo marcaje que registra el tiempo de ruta del agente. El tiempo de ruta se define como el tiempo desde la entrada a ruta hasta que termina el último tendero y este almacena el tiempo diario que cada agente utiliza para completar la suya. Los resultados se muestran a continuación.

c. Visualización externa de agente de ventas

La visualización gráfica del agente de ventas se define lo más parecido a la realidad, este siendo una motocicleta. Durante la simulación se puede observar en tiempo real la cantidad de órdenes que el agente ha recogido del tendero. Las órdenes se muestran como objetos (órdenes) sobre la línea verde y a la vez se mantiene el indicador de contenidos en la estación de carga; esto facilita la depuración del modelo durante su desarrollo.

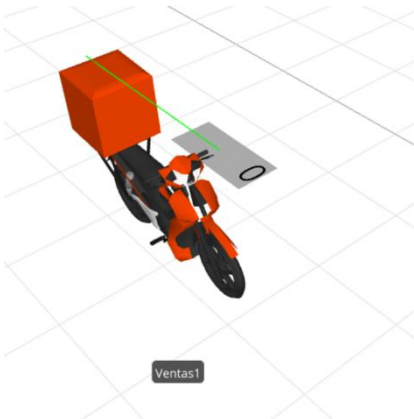


Ilustración 30 Visualización de agente de ventas

4. Agente de abasto

Como se describe previamente, el agente de abasto es una unidad operativa nueva del modelo Rhino que se dedica a completar las órdenes colocadas, llevando las mismas hasta los tenderos. El agente de abasto se limita a visitar únicamente a los tenderos designados para la entrega de órdenes, ignorando a los demás. Con el objeto de aprovechar todas las visitas, una vez el agente de abasto realiza la entrega de órdenes en un tendero, este reabastece al tendero a su nivel óptimo de balance de saldo y recoge los pedidos colocados hasta el momento; de esta manera se logra mejorar el tiempo de recepción de órdenes para los tenderos donde se entregan órdenes. El objeto de Agente de Abasto se asemeja al del agente de ventas y, por lo tanto, hereda sus propiedades con algunas adiciones y cambios al mismo para darle comportamiento adecuado.

Al igual que el agente de ventas, el agente de abasto se modela como un transporte, ya que mueve a entidades (órdenes) dentro del modelo. A diferencia del agente de ventas, el de abasto no solo recopila órdenes para ser enviadas a la base de datos, sino que también las entrega completadas. Las órdenes completadas sí ocupan espacio y, por lo tanto, se define una segunda estación de carga (Órdenes por Entregar), la cual sí tiene un límite de capacidad. Este límite permite agregar al modelo el realismo necesario para validar si el recurso estará sobreutilizado o subutilizado y hacer ajustes a la ejecución.

a. Establecimiento de ruta y tiempos

Como se describe en la sección 13.1.4, las rutas de abasto son un elemento nuevo para el modelo de Rhino y se busca validar que estas hayan sido correctamente diseñadas y dimensionadas. Para ellos se establece una ruta base que el agente seguirá todas las semanas, haciendo paradas solamente en las tiendas en las que sea necesario entregar una orden. Las rutas de abasto están definidas en el modelo por medio de conectores entre cada punto de ventas según corresponde y se observan como calles en la siguiente ilustración.

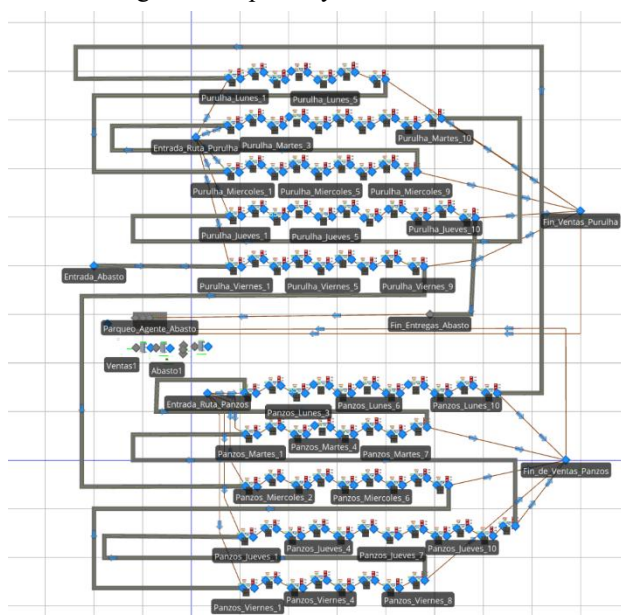


Ilustración 31 Rutas de abasto

El modelo solo toma en consideración una ruta de abasto seleccionada estratégicamente, la cual comienza en el nodo identificado como Entrada_Abasto. La ruta del agente de ventas, ordenada en filas para cada día, no afecta la del agente de abasto. Este solo ingresa a los tenderos en los que tiene que entregar órdenes. Por lo tanto, el resto de las tiendas no afectan su tiempo en ruta. Al concluir cada "día de ventas", el agente de abasto procede a la siguiente sección de su ruta base asignada. Las calles sirven como enlaces entre las distintas secciones de las rutas de abasto.

Los tiempos de entrada y salida de cada tendero son los mismos que para el agente de ventas, pero el del abasto solo ingresa si tiene órdenes para entregar.

a. Horario de trabajo

La labor del agente de abastos no requiere que este regrese a la bodega hasta completar la entrega de todas las órdenes que contiene. Por lo tanto, se busca que el agente de abasto trabaje a lo máximo 12 horas al día antes de buscar alojamiento y pasar la noche en ruta para continuar al día siguiente. El tiempo de la ruta no está completamente definido, y se pretende utilizar esta simulación para validar su duración. El agente de abasto se presentará a bodega todos los lunes, de ser posible, ya que podría haber tomado más de una semana para realizar las entregas de la ruta previa. En la bodega, se lleva a cabo el llenado de las pickups con las órdenes preparadas para su entrega. El martes, el agente comenzará su ruta a las 7:00 am y regresará hasta que finalice todas las entregas. Tomando en cuenta que se requiere validar los tiempos, se incorpora a la simulación estadísticas de marcaje y conteo para medir el largo de la ruta de abasto, así como la cantidad de órdenes cargadas al pickup. Un elevado tiempo para completar la ruta de abasto indicará que los polígonos de abasto son extensos y requieren de ajuste; los resultados se presentarán a continuación.

b. Visualización externa de agente de abasto

De la misma manera que con el agente de ventas, al agente de abasto se le asigna un símbolo para representarlo gráficamente. En el caso de abasto, este es un pickup. En la siguiente imagen se observa el símbolo, así como las estaciones de carga para órdenes recibidas y por entregar, en las cuales se observa gráficamente las órdenes dentro del agente, así como el indicador de estado de contenidos en cada estación de carga. Esto facilita la depuración del sistema para validar que el comportamiento sea el deseado.

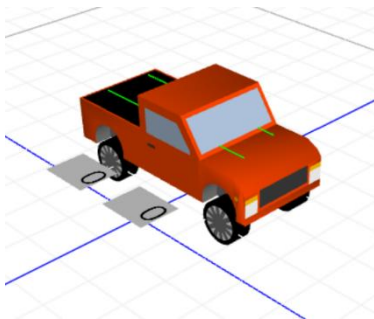


Ilustración 32 Visualización de agente de abasto

5. Tendero

El foco principal del modelo Rhino es empoderar al tendero para que sea el protagonista del modelo de negocios. A diferencia del modelo Phoenix, el tendero es responsable de mantener a su parque de usuarios y solicitar el servicio para sus clientes. Por lo tanto, el tendero es el objeto más complejo de la simulación ya que controla y define el comportamiento de las órdenes, usuarios y agentes. Dentro del tendero se contienen los procesos clave de la simulación para definir cómo interactúan los clientes y agentes con dicho tendero. Siendo un recurso real, el tendero es modelado como un trabajador con horario definido y los diferentes procesos que realiza dependen de su presencia, por lo que, de estar ocupado atendiendo a un cliente, el tendero tendrá en espera al resto de clientes que presenten, así como a cualquier agente que llegue. El horario del tendero está definido según la siguiente ilustración. El tendero está disponible para atender clientes o agentes de 6:00 am a 8:00 pm entre semana y de 8:00 am a 5:00 pm durante el fin de semana.

Day Patterns						
Name	Description					
13 Dia_Trabajo_Semana	Dia regular de trabajo de un tendero					
Work Periods						
N	Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description
1	6:00 AM	8 hours	12:00 PM	1	1	
2	12:00 PM	30 minutes	12:30 PM	0	1	Almuerzo
3	12:30 PM	7.5 hours	8:00 PM	1	1	
4	8:00 PM	4 hours	12:00 AM	0	1	Fuera de Servicio, Noche
5	12:00 AM	6 hours	6:00 AM	0	1	Fuera de Servicio, noche
14 Fin_de_Semana						
Para Sabados y Domingos						
Work Periods						
N	Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description
1	12:00 AM	8 hours	8:00 AM	0	1	
2	8:00 AM	4 hours	12:00 PM	1	1	
3	12:00 PM	30 minutes	12:30 PM	0	1	
4	12:30 PM	4.5 hours	5:00 PM	1	1	
5	5:00 PM	7 hours	12:00 AM	0	1	

Ilustración 33 Horario de atención tendero

La Ilustración 34 presenta la visualización interna del punto de venta y sus diferentes áreas de atención y estaciones de usuarios y órdenes. El usuario es la principal entidad dentro del tendero. Este reside en las estaciones de usuarios según sea el estado de actividad y visita al tendero según su recurrencia de visita asignada. Al presentarse al tendero, el usuario es atendido en su respectivo punto de atención, Atención al Usuario (verde), que representa el mostrador de atención de una tienda real. Los agentes se presentan a diferentes puestos de trabajo del tendero: Atención Ventas (amarillo) y Atención Abasto (rojo); ambos representan el mismo mostrador donde se atienden a los clientes, pero por motivos de facilidad para la depuración y definición de procesos son diferenciados en la simulación. Los tenderos son el principal objeto que pobla el modelo general de la simulación y los agentes entran y salen de tiendas durante sus rutas. Como es mencionado previamente, los agentes tienen un tiempo de entrada y un tiempo de salida del tendero, los cuales representan el tiempo de transporte a lo largo de sus rutas. Estos tiempos están contenidos dentro del tendero y se observan en dicha ilustración con los caminos negros y azules que salen y llegan a los nodos de salida del objeto. El agente de ventas siempre entra al tendero para realizar su visita, mientras el agente de abasto solo entra cuando tiene órdenes que entregar; de lo contrario, es enviado sin tiempo de recorrido al nodo No_Orden_Abasto, el cual conecta con la salida del tendero.

Para representar la situación actual de la empresa, se agregan al tendero los siguientes parámetros ajustables:

- Cantidad de usuarios: representando a los clientes según la realidad de la empresa actualmente.

- Tiempo de entrada y tiempo de salida
- Días de saldo mínimo: utilizable para calcular el monto de reabastecimiento.
- Cumplimiento de ruta y probabilidad de orden falsa o errónea: valores fijos establecidos en simulación general y aplicados a todas las tiendas.

Además de los parámetros, se define un inventario de saldo (balance) y un material consumible (saldo). El valor del saldo no se define de manera monetaria, sino en cantidad de días. Por lo tanto, un usuario con recurrencia semanal compra 7 días de saldo en el tendero y el inventario se reduce en esta cantidad. Para mantener el comportamiento de la simulación lo más apegado a la realidad, se configura un inventario mínimo que debe tener el tendero, igual al que se maneja en la empresa, este siendo: una semana de saldo por cada cliente asignado al tendero. Se trabaja como parámetro para poder realizar futuras experimentaciones fuera del alcance de este proyecto.

a. Procesos tendero

i. Atención al usuario

El proceso de atención al usuario encapsula la interacción del usuario con el agente dentro de la simulación y representa con precisión el comportamiento y excepciones que se pueden dar. El proceso real y el de la simulación difieren solamente en la frecuencia de visita, la cual se asume es constante y cronológica, y la cantidad de saldo que consume el cliente en base a su recurrencia de visita. El siguiente proceso describe dicha interacción entre usuario y tendero desde la llegada del primero hasta el fin de su visita. Como ya se mencionó,

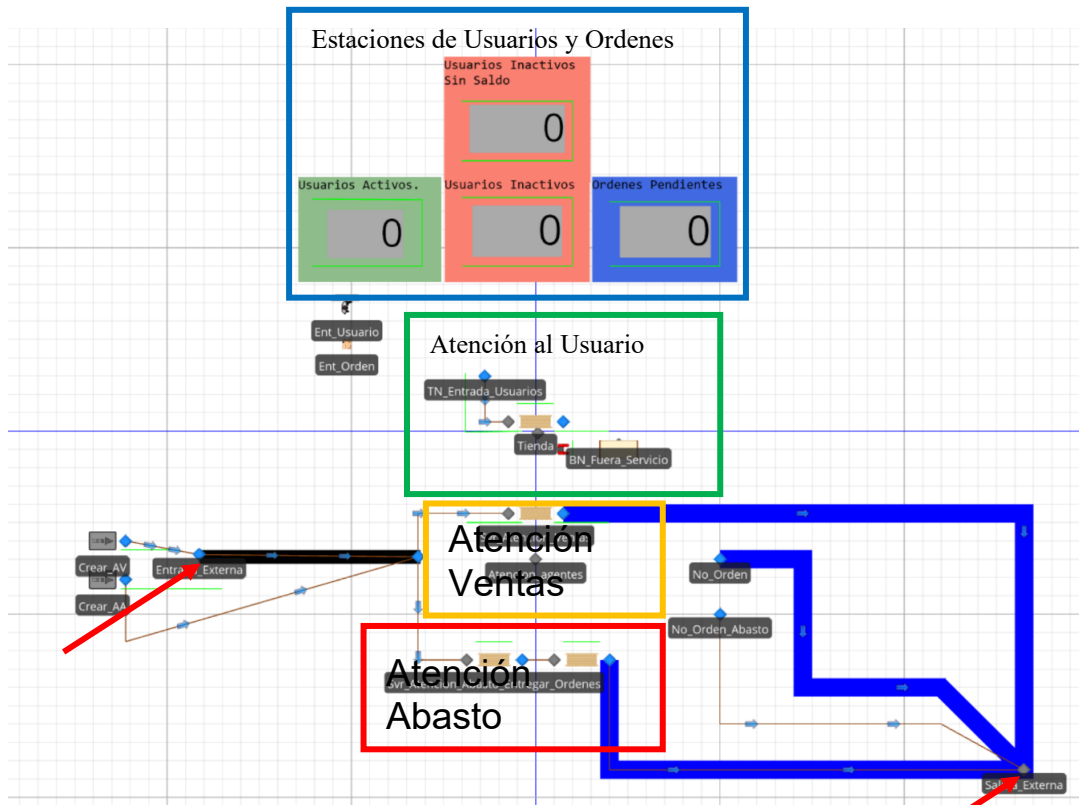


Ilustración 34 Visualización interna del tendero

La Ilustración 35, muestra el flujo del proceso, al cual se le comienza con el temporizador de tiempo de recurrencia y termina en diferentes puntos según el escenario. En la simulación, este proceso se define dentro del Svr Atencion Usuario con una secuencia de tareas. La tarea de Selección de Tipo de Visita representa un

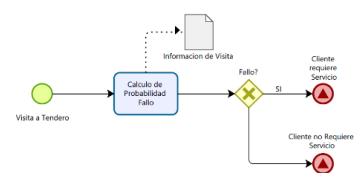


Ilustración 36 Subproceso selección de tipo de tarea

58

Proceso de atención al usuario en tendero. El proceso de atención al usuario definido en la ilustración inferior es el proceso modificado para Rhino.

La mayor parte del proceso está definida con la funcionalidad estándar de la secuencia de tareas que ofrece Simio. La Ilustración 37 Procesos Simio de compra de saldo y creación de orden muestra los procesos que fue necesario modelar fuera de la funcionalidad estándar. En los que se define la creación de órdenes cuando es necesario, la asignación de las variables de la orden y la revisión del inventario de saldo del tendero para abastecer al cliente. El resto de las tareas y decisiones del flujo de proceso se adicionan en la lógica de tareas del tendero y se puede consultar en el Anexo 10 - Documentación del modelo de Rhino.

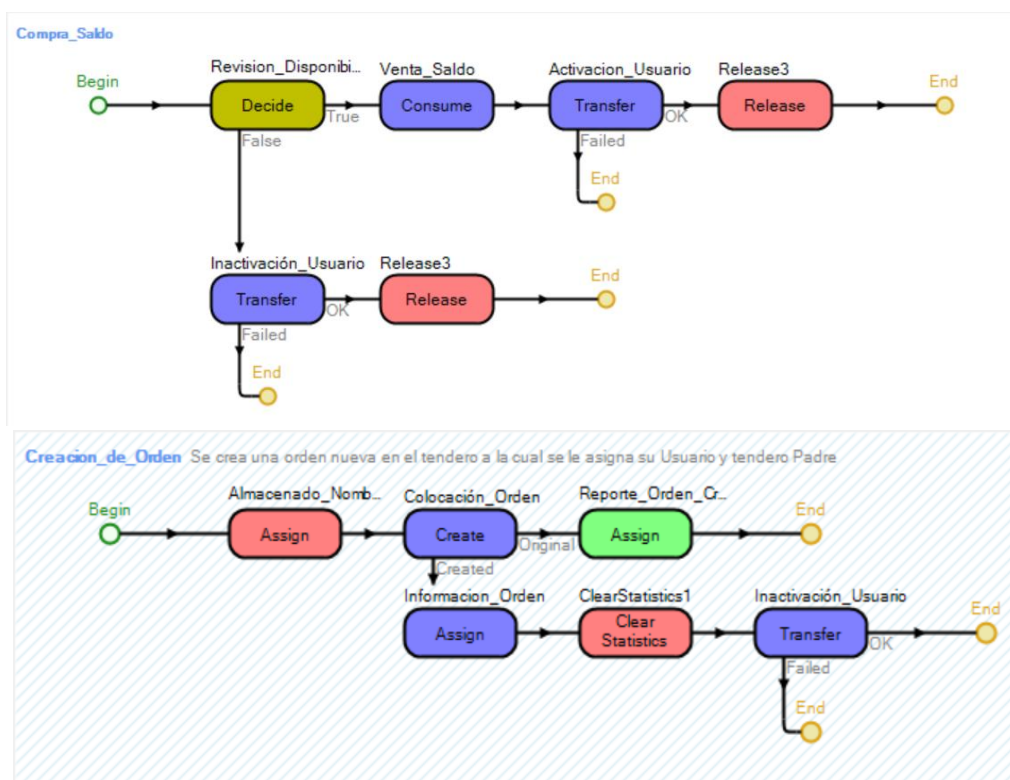


Ilustración 37 Procesos Simio de compra de saldo y creación de orden

ii. Atención al agente de ventas

En el modelo Rhino, el agente de ventas es el responsable de la relación con el tendero y, por ende, del mantenimiento del parque de clientes. El agente de ventas debe visitar al tendero semanalmente y vender saldo según el inventario mínimo establecido. Además de vender saldo, el agente de ventas debe revisar las órdenes colocadas por los clientes para validar que estén correctamente ingresadas y que cumplan con los requisitos

básicos para cargarlas al sistema. Tomando en consideración que la mayoría de los tenderos no cuentan con cobertura celular, el agente realiza una transferencia de las órdenes de manera digital para cargarlas al sistema posteriormente cuando se encuentre en un área con cobertura. Las órdenes ingresadas al sistema por tenderos con cobertura celular no se procesan hasta que un agente de ventas las carga, evitando así el manejo de órdenes incorrectas.

El proceso de una visita del agente de ventas se ejemplifica en la Ilustración 38 Proceso de atención al agente de ventas, el cual se separa en dos partes principales:

- La revisión de órdenes
- La venta de saldo

La revisión de órdenes es un proceso cíclico, el cual se repite la cantidad de veces necesarias hasta que ya no haya más órdenes por revisar. Consiste en los siguientes pasos: control de cantidad de órdenes en base de datos del tendero, revisión de la orden, transferencia a base de datos del agente. Cuando la orden está incorrecta, esta se elimina. Para avanzar a la siguiente parte, deben recorrer todas las órdenes colocadas. La venta de saldo consiste en la revisión del balance actual del tendero, solicitud de compra y cierre de la venta. Cuando el saldo del tendero es mayor al balance mínimo, no se solicita una compra de saldo. Los objetos de data en el flujograma del proceso muestran el flujo de información a lo largo del proceso, incluyendo la interacción con las actividades y su almacenamiento en bases de datos.

El tiempo de duración de este proceso se encuentra definido en la sección 13.1.2.3. Dentro de la simulación, se define este proceso con una secuencia de tareas, las cuales están contenidas en tres de estos: el tiempo de atención definido, la revisión de órdenes y la venta de saldo.

La Ilustración 39 Proceso de revisión de ordenes, es un proceso recursivo, el cual se repite mientras haya órdenes en la estación de órdenes en espera de recoger. Cuando una orden es incorrecta, se le notifica al usuario y este se transfiere de su estación de inactivo a la de activo, desde la cual deberá visitar al tendero nuevamente si desea colocar una nueva orden. Por otro lado, el proceso de venta de saldo se representa solamente de esa

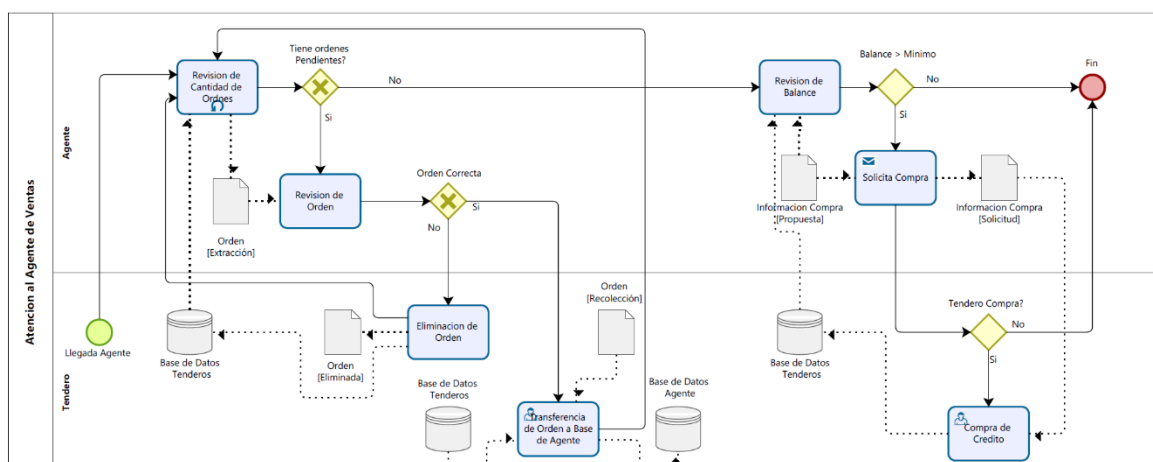


Ilustración 38 Proceso de atención al agente de ventas

forma, ya que el balance del tendero es constantemente monitoreado por un elemento estándar de inventario con la configuración adecuada para mantener el nivel de stock en el mínimo requerido.

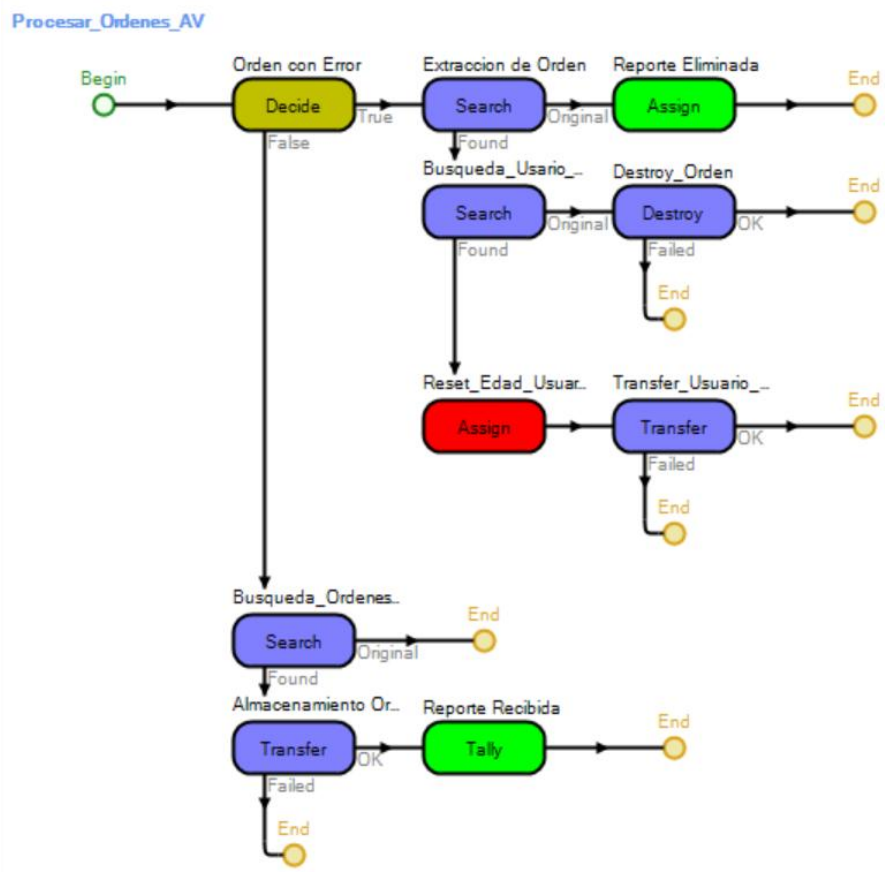


Ilustración 39 Proceso de revisión de ordenes

La Ilustración 40 Configuración de modelo de inventario para balance del tendero, muestra cómo se define este elemento de inventario. Esto es para que, cuando un agente visita, tan solo sea necesario acceder al elemento y revisar cuánto balance hay que vender para llevar al tendero de regreso a su inventario mínimo.

Basic Logic	
Material Name	Mt_Credit
Site Object Name	Tienda
Initial Quantity	Cantidad_Usuarios*Umbral_Sin_Saldo
Review Period	Continuous
☒ Replenishment Policy	Order-Up-To
Order-Up-To-Level	Cantidad_Usuarios*Umbral_Sin_Saldo
On Replenishment Order Process	
Advanced Options	
☒ General	

Ilustración 40 Configuración de modelo de inventario para balance del tendero

iii. Atención al agente de abasto

A diferencia del agente de ventas, el agente de abasto no visita al tendero todas las semanas, sino solo aquellas en las que debe entregar alguna orden en la tienda. La visita del agente de abasto se estima que toma el doble de tiempo que la de uno de ventas, ya que, además de realizar la entrega de órdenes, este aprovecha la visita para cumplir con las mismas tareas que el agente de ventas. La Ilustración 41 Proceso de visita de abasto, muestra dicho proceso y el debido flujo de datos. Los pasos se definen de la siguiente manera: revisión de órdenes en el camión, entrada de orden al tendero, este revisa y da el visto bueno, firma de recibido, revisión de firma, proceso de agente de ventas. En el caso en el que el tendero no dé el visto bueno de la orden entregada, esta se devuelve al camión y se elimina el documento de entrega. Posterior a la eliminación o entrega de la orden (validada por el tendero y con recibo de entrega firmado), se notifica al cliente y este debe ser activado nuevamente, ya sea por entrega correcta o por incorrecta. En caso de que la orden sea incorrecta, se procederá a su inactivación durante la próxima visita al tendero.

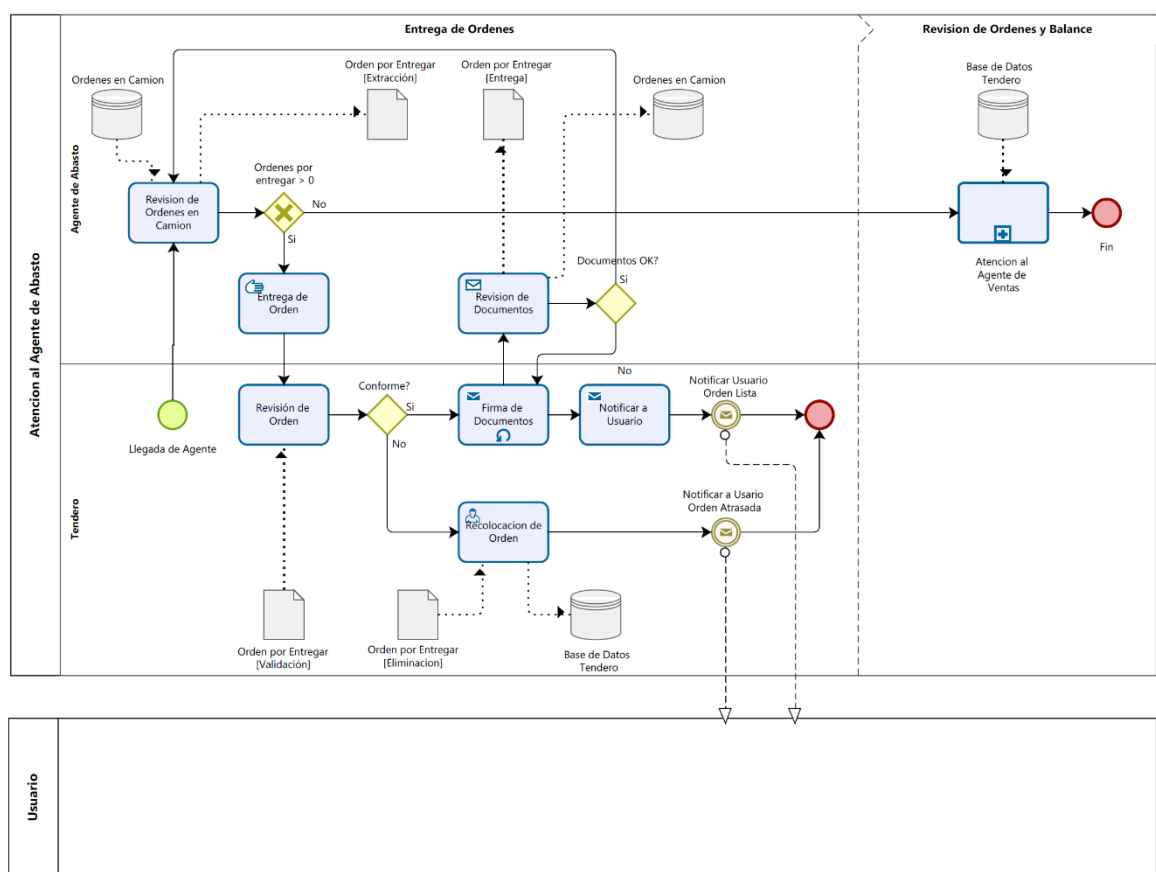


Ilustración 41 Proceso de visita de abasto

Dentro de la simulación, el proceso de entrega de órdenes se modela según la Ilustración 42 Proceso simulación de entrega de órdenes, en el cual se toma el tiempo definido, se notifica y transfiere a estación de activos al usuario correspondiente y se repite hasta que se hayan repartido todas las órdenes. En este caso, la repetición

se trabaja por medio de tokens internos del proceso en el elemento Search_Ordenes_en_Camion, el cual recorre las órdenes en el camión y crea un token por cada una que debe entregar. Cada token debe pasar por la notificación del usuario, transferencia a estación de activos y eliminación de la orden. Al concluir este proceso, se procede al servicio de atención al usuario de ventas.

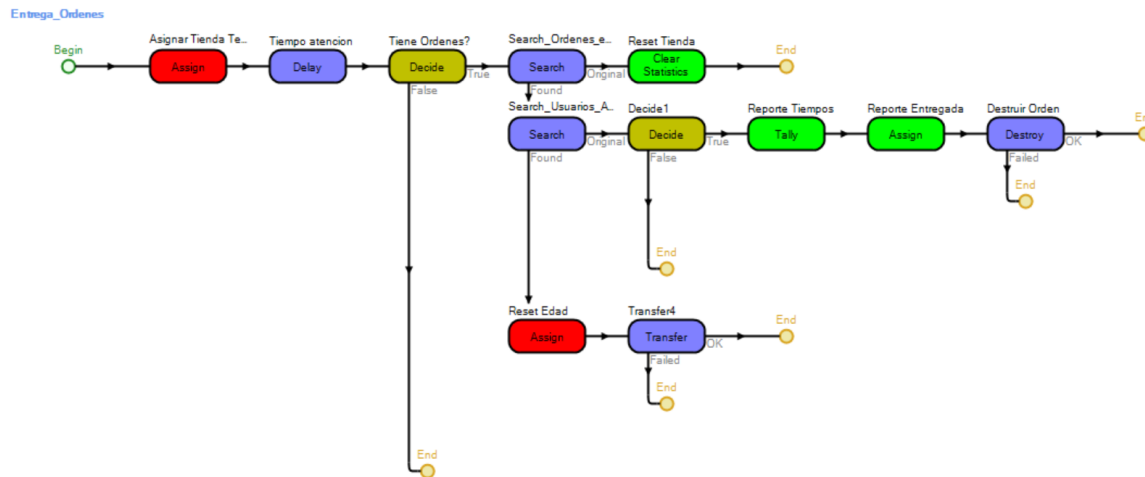


Ilustración 42 Proceso simulación de entrega de órdenes

Para modelar el comportamiento de las rutas de abasto, en las cuales solo se visita a los tenderos a los que se les debe entregar órdenes e integrar el parámetro de cumplimiento de visitas, fue necesario agregar el proceso definido en Ilustración 43 Revisión de ingreso a tienda. Este proceso se compone de una serie de condicionales que permiten o niegan la entrada al tendero a los agentes de abasto. Las condicionales son las siguientes:

- La visita es efectiva; utilizando el parámetro de cumplimiento de ruta, se calcula la probabilidad de que la visita sea efectiva. Si la visita no es efectiva, el agente de abasto abandona el tendero a pesar de tener órdenes pendientes de entrega.
- El agente es de abasto (en caso contrario continúa su camino y entra a la tienda).
- Hay clientes inactivos por espera de orden.
- El agente tiene órdenes por entregar.
- Las órdenes por entregar son de este tendero.

De cumplir con todas las condicionales, el agente entra a la tienda y los procesos mencionados anteriormente se ejecutan.

Revision_Ordenes_en_Tienda

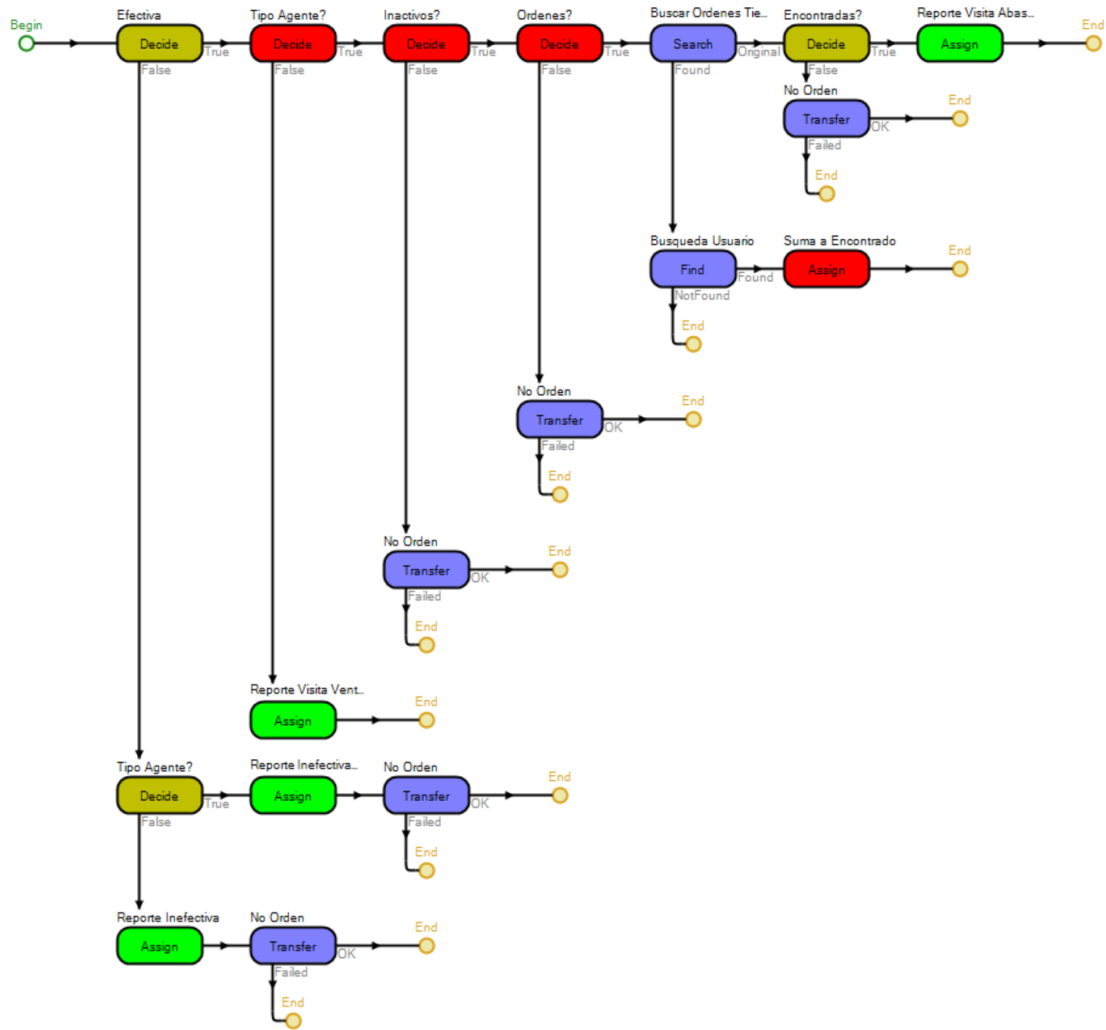


Ilustración 43 Revisión de ingreso a tienda

C. Modelo Rhino

Como se mencionó antes, el modelo general incluye objetos personalizados que representan a los tenderos, usuarios, agentes, órdenes y usuarios para formar una simulación completa del modelo operativo Rhino. Para ello se utiliza la información real de los tiempos y orden de rutas, así como la cantidad de tenderos, agentes y usuarios por tendero. Adicional a contener a los tenderos y agentes, el modelo general contiene la bodega y taller; como se menciona en la sección 13.2.5, se toman en cuenta varios supuestos para simplificar la simulación y a la vez llevar a cabo ajustes posteriores y con alcance fuera de los límites de este proyecto.

1. Sincronización de órdenes

Previamente, se describe que los agentes de abasto y ventas reciben órdenes digitales en los tenderos y las cargan a sus teléfonos celulares para ser posteriormente cargadas a la base de datos cuando obtengan señal telefónica. Este proceso se realiza a la salida de cada tendero y es automático, ya que en la realidad la aplicación de los agentes publica el repertorio de órdenes sin sincronizar en el primer momento en que obtenga cobertura celular. Este proceso se modeló de la siguiente manera: revisión de tipo de agente, revisión de existencia de órdenes en su base de datos, transferencia de entidades de órdenes a entrada de taller, reporte de estadísticas de tiempo de recepción de orden. La Ilustración 44 Proceso de sincronización de órdenes muestra este proceso.

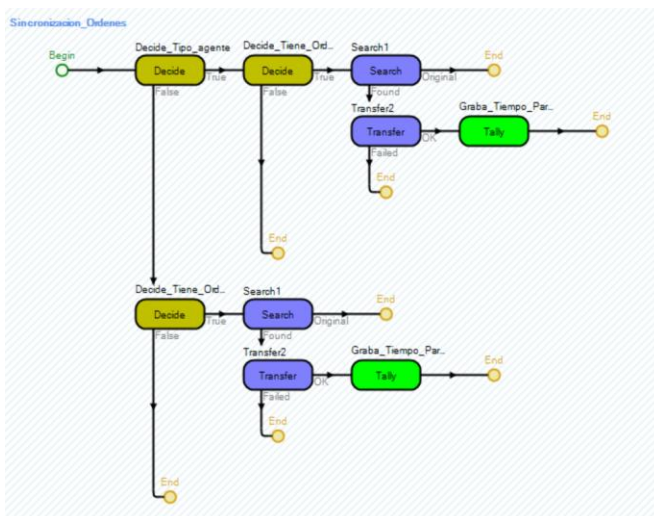


Ilustración 44 Proceso de sincronización de órdenes

2. Taller y bodega

El taller y la bodega son donde se procesan y preparan las órdenes para su entrega por medio de un agente de abasto. Para darle la mayor realidad posible, se incluyen en el modelo recursos humanos necesarios para operar las órdenes que se rigen por un horario de trabajo. Los tiempos y consumo de materiales no fueron de alta importancia para la simulación y se establecen de tal manera que no restringen ni afectan los tiempos de entrega, ya que, en la operación real, el taller no procesa órdenes, sino que se encuentra en constante preparación de kits completos de sistemas reparados para que cualquier orden, sin importar la falla, pueda utilizarlo. La bodega se divide en dos partes: el trabajo de almacenado de sistemas, el cual se rige bajo el mismo principio que el taller y manteniendo el inventario de sistemas reparados y organizando aquellos que deben ser enviados a entrega. La segunda parte de la bodega es la que se encarga de llenar el camión de abasto con las órdenes que este debe entregar durante su ruta. Este proceso se realiza todos los lunes y se guía por las siguientes restricciones: el camión de abasto tiene una capacidad máxima de 200 sistemas y se llena con órdenes utilizando el modelo de primero en entrar, primero en salir. Mientras más vieja es la orden, más prioridad tendrá para ser alocada en el camión; esto incluye aquellas órdenes que no fue posible entregar en una ruta previa debido a una visita no efectiva. La Ilustración 45 Visualización taller y bodega muestra cómo se ve la bodega y taller en la simulación. El proceso por seguir es el siguiente: taller recibe orden, la procesa, bodega la almacena, unidad de picking y llenado de camión carga órdenes a camión para su entrega en ruta. El proceso de picking de órdenes se simula utilizando la restricción de capacidad ajustable (para motivos de experimentación posterior) del camión de abasto y se observa en la Ilustración 46 Proceso de picking y llenado de camión.

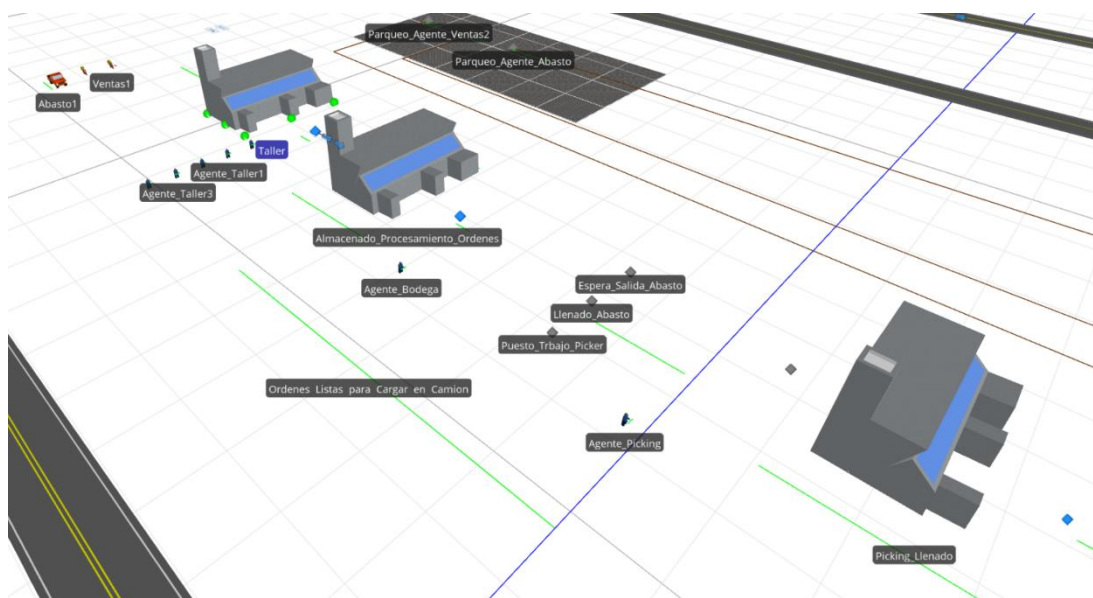


Ilustración 45 Visualización taller y bodega

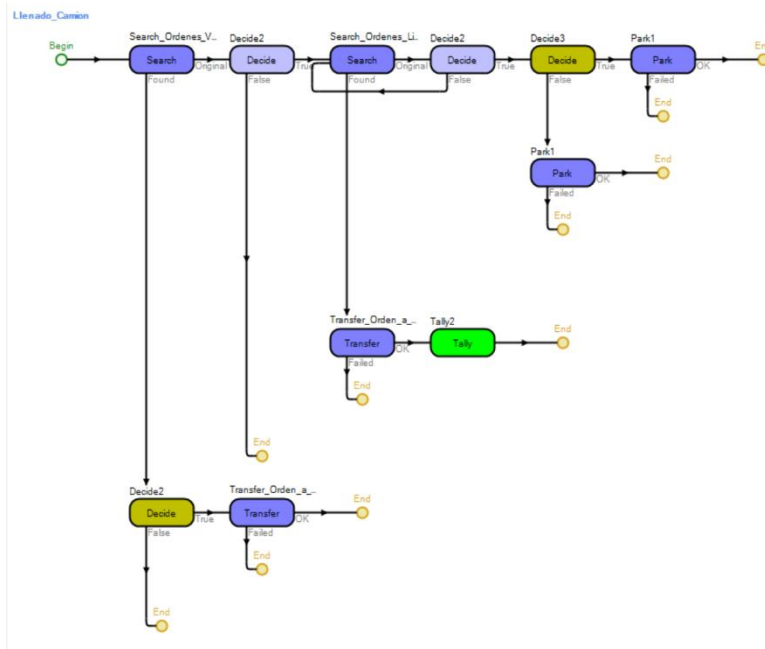


Ilustración 46 Proceso de picking y llenado de camión

D. Resultados preliminares de la simulación

Una vez se completa el desarrollo del modelo, se depura de errores, se valida su funcionamiento adecuado y se integran los diferentes objetos, entidades, parámetros y supuestos; se realizan las corridas para obtener los datos preliminares. Como se describe en la sección 11.3 y 13.1.6, se realizan 10 corridas, cada una de 1 año de duración. De estas corridas preliminares se busca comprender el comportamiento de la simulación y el modelo de Rhino, por lo que se extraen varias métricas que proporcionan información de lo que sucede en la simulación en relación con el nivel de servicio al usuario, el cual se busca que mejore en el modelo Rhino. La extracción de información se genera durante la simulación en diferentes puntos clave o críticos para el nivel de servicio y el ciclo de vida de una orden.

- Tiempo de entrega total de una orden, desde su creación hasta su resolución y entrega al cliente, se calcula por medio de la resta de la fecha y hora actual en horas dentro de la simulación menos la fecha y hora. El resultado representa el tiempo transcurrido en horas desde la creación hasta la entrega de la orden.
- Tiempo en taller, tiempo que una orden pasa dentro del taller.
- Tiempo de espera a abasto; la orden está lista para ser cargada a la ruta. Puede ser poco tiempo en el caso de que se cargue al camión en la primera ruta posterior a su salida del taller, pero por restricciones de capacidad no puede ser alocada a ruta.
- Tiempo de recepción en taller, desde que la orden se crea hasta que la orden se recibe en el taller, el cual representa la base de datos.

Se miden también diversas métricas que permitan identificar los causantes de los resultados en el tiempo de servicio. Por ejemplo, se sabe que la capacidad de carga del camión de abasto es una restricción que podría agregar un tiempo de espera a las órdenes listas para ser entregadas. Por lo tanto, es necesario medir la cantidad de órdenes en espera de ser cargadas al momento de comienzo de carga, así como la cantidad de órdenes que son cargadas al camión para cada ruta. Esta información nos permite analizar y comprender mejor los resultados del modelo.

De igual manera, se mide el tiempo de cada ruta de abasto; mostrarán la viabilidad del modelo, ya que si las rutas son demasiado largas, no solo se obtiene un efecto negativo en el nivel de servicio, ya que pasarán más tiempo en transporte las órdenes, sino que pueden mostrar la posibilidad de una alta rotación de colaboradores por exceso de carga laboral. Se miden varias métricas cuyo propósito es proveer más información acerca del comportamiento del modelo Rhino y así analizar, prever y comprender mejor el modelo.

1. Nivel de servicio

En la sección 12.1 se muestra el proceso de generación del nivel de servicio del modelo Phoenix, en el cual se obtienen las variables de control contra las que se compararán los resultados de la simulación, la cual contiene varios elementos de medición para generar las métricas a comparar. En el modelo Phoenix existen dos métricas que muestran el nivel de servicio al cliente: el porcentaje de solicitudes atendidas y el tiempo promedio para la atención. En Rhino, el porcentaje de solicitudes atendidas es del 100%, ya que todas las órdenes deben ser procesadas y entregadas, con excepción de aquellas que tienen un error y se deben volver a crear. Cuando un cliente coloca una orden válida, esta se procesa y se lleva al cliente para ser entregada; en el caso en que el cliente no desea recibir la orden, se considera como una orden entregada, ya que de igual manera se proporciona el servicio y es el cliente quien no lo desea. Por lo tanto, queda fuera del alcance de la simulación y se asume que las órdenes siempre son entregadas. En el caso en que se da una visita inefectiva y el agente de abasto no visita al tendero para hacer entrega de las órdenes, estas permanecen en el camión y, al terminar la ruta, son enviadas a una estación de órdenes atrasadas para ser cargadas al camión en la siguiente ruta con prioridad. Por lo tanto, se observa una mejora definitiva en el porcentaje de órdenes atendidas en el modelo Rhino en comparación con el modelo Phoenix, con valores de 100% y 15.16% respectivamente.

Ahora bien, el tiempo de atención es fundamental calcularlo para el modelo de Rhino, ya que es la variable que determina si el modelo es, además de válido, eficiente. Un tiempo de entrega elevado impacta significativamente en el nivel de servicio. Un tiempo de entrega prolongado es, desde la perspectiva del cliente, equivalente a no haber recibido servicio, y, desde el punto de vista de la empresa, representa una notable reducción en el número de usuarios activos y una pérdida económica por ingresos no percibidos durante ese periodo. El tiempo de atención se determina utilizando la métrica establecida en la simulación del tiempo de entrega total de una orden.

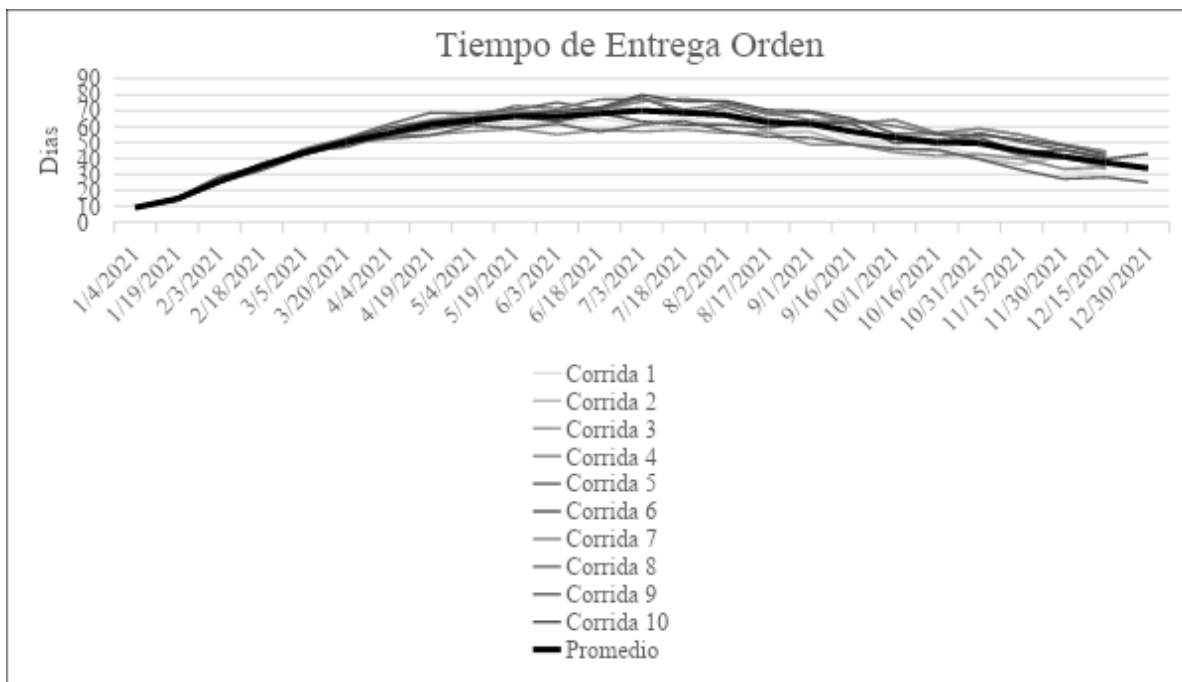


Ilustración 47 Tiempo de entrega de órdenes

Fecha	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6	Corrida 7	Corrida 8	Corrida 9	Corrida 10	Promedio
1/4/2021	9.03	9.52	8.63	8.63	8.67	9.35	9.1	8.92	9.14	9.16	9.015
1/19/2021	13.7	13.44	15.24	15.24	14.41	14.98	14.79	13.52	15.06	15.09	14.547
2/3/2021	25.15	25.7	25.15	25.15	24.46	25.38	27.53	24.69	28.61	24.82	25.664
2/18/2021	33.14	37.1	36.32	36.32	34.8	34.63	35.86	36.53	35.23	32.58	35.251
3/5/2021	42.23	43.97	44.11	44.11	45.84	44.44	42.92	42.19	42.78	42.37	43.496
3/20/2021	48.49	51.16	51.17	51.17	52.61	47.08	49.09	49.47	49.75	51.86	50.185
4/4/2021	51.92	59.17	55.74	55.74	61.3	55.24	53.98	53.3	52.43	59.14	55.796
4/19/2021	59.89	64.32	63.54	63.54	68.58	58.4	54.85	61.56	54.37	63.08	61.213
5/4/2021	60.47	68.15	65.74	65.74	68.05	62.28	56.99	65.64	60.72	65.47	63.925
5/19/2021	62.18	71.23	68.7	68.7	70.52	66	58.46	72.88	58.8	67.06	66.453
6/3/2021	61.77	66.92	68.77	68.77	75.02	63.28	54.96	71.16	61.72	69.74	66.211
6/18/2021	64.97	72.32	70.86	70.86	70.61	68.37	57.84	76.97	56.57	71.81	68.118
7/3/2021	61.1	70.57	75.75	75.75	78.42	63.17	56.82	77.17	61.12	79.87	69.974
7/18/2021	65.54	69.73	77.25	77.25	67.49	61.07	58.03	70.54	63.38	75.7	68.598
8/2/2021	59.52	66.24	75.04	75.04	71.99	61.21	55.89	73.87	57.01	76.03	67.184
8/17/2021	61.11	56.21	67.57	67.57	64.48	59.05	56.31	68.51	53.54	70.23	62.458
9/1/2021	62.14	56.61	68.64	68.64	62.09	62.41	48.57	63.98	52.94	69.51	61.553
9/16/2021	51.64	48.53	61.92	61.92	56.23	61.55	48.56	63.36	48.75	64.73	56.719
10/1/2021	49.75	46.61	63.99	63.99	52.22	49.47	43.72	60.27	45.79	55.46	53.127
10/16/2021	48.57	44.85	55.94	55.94	48.58	50.74	41.6	55.27	45.46	55.26	50.221
10/31/2021	41.8	39.75	58.63	58.63	55.98	53.04	42.59	49.97	39.37	54.7	49.446
11/15/2021	40.65	36.12	54.67	54.67	50.17	43.41	39.63	41.63	32.58	51.74	44.527
11/30/2021	32.92	41.39	48.49	48.49	45.27	45.38	33.39	40.22	27.09	48.04	41.068
12/15/2021	29.83	33.09	44.34	44.34	40.96	39.55	34.38	35.42	28.11	42.42	37.244

Cuadro 13 Tiempo de entrega orden

Tanto en la Ilustración 47 Tiempo de entrega de órdenes como en el Cuadro 13 Tiempo de entrega orden se observa el tiempo total de entrega de la orden promedio para las 10 corridas a lo largo del año de simulación con un incremento severo en el tiempo de entrega durante el principio de la simulación el cual comienza a disminuir al pasar del tiempo. Para explicar este comportamiento, es necesario comprender las restricciones al sistema. En este caso hay varias métricas y parámetros sospechosos del elevado tiempo de entrega; entre ellos,

los principales son la capacidad del camión, el tiempo de transporte para la entrega, el cumplimiento de ruta, la cantidad de órdenes creadas y la efectividad de abasto. En la fase de experimentación se abordará el procedimiento para identificar la correlación entre las variables y llevar a cabo corridas con ajustes buscando disminuir el tiempo de entrega.

a. Comparación con de modelo Rhino y Phoenix

El objetivo del modelo Rhino es mejorar el nivel de servicio, por lo que a continuación se muestra la comparación entre las variables de interés que representan dicha categoría en el modelo Phoenix y los resultados de la simulación del modelo Rhino. Para comprender los resultados, es necesario tomar en cuenta varios aspectos, tanto de los resultados como de las variables de control/interés.

Primero, la simulación toma en cuenta solo una porción de la operación; como se describe en la sección 13.1.3, se seleccionan solamente dos territorios de ventas, mientras el cálculo del nivel de servicio del modelo Phoenix toma en cuenta las solicitudes de servicio realizadas en toda el área de cobertura de la empresa, que contiene 26 territorios de agentes de ventas. Esta cantidad está directamente relacionada con la cantidad de clientes que colocan órdenes.

Segundo, el periodo de muestra de la simulación es de 1 año, mientras que el de la muestra de Phoenix es de 3 meses

Tercero, en la simulación, con el propósito de obtener los resultados que muestren el caso límite en el que los valores obtenidos evidencian el peor de los escenarios, se asume que todos los clientes que requieren de servicio lo solicitan en vez de inactivarse.

En base a los puntos previamente mencionados, se espera que la cantidad de órdenes en la simulación incluso ajustada para cubrir el mismo periodo y cantidad de clientes, sea más elevada que la observada en el modelo Phoenix.

El Cuadro 14 ilustra el cálculo de la cantidad promedio de órdenes creadas y entregadas en la simulación. Cabe mencionar que la diferencia entre las órdenes entregadas y creadas surge debido al fin súbito en la simulación, en el cual aún se tienen órdenes en espera de entrega o recién creadas en la tienda.

Sum of Value											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
StateValue											
Conteo_Ordenes_Creadas	3730	3704	3758	3741	3680	3589	3654	3806	3736	3665	3706.3
Conteo_Ordenes_Entregadas	3533	3535	3621	3519	3538	3457	3488	3557	3616	3444	3530.8

Cuadro 14 Cantidad de órdenes creadas y entregadas

El Cuadro 16, Comparación del tiempo de atención Phoenix-Rhino, muestra los parámetros y el ajuste realizado para comparar valores equivalentes entre el modelo antiguo, Phoenix, y el modelo Rhino. Los cuales toman en cuenta los puntos previamente descritos, como la diferencia de tiempos de análisis y la cantidad de usuarios en la muestra.

Metrica	Phoenix	Rhino		Unidades
Cantidad de Solicitudes Brutas	1418	3706	Total	Solicitudes
Tiempo de la Muestra	11	52		Semanas
Kingos en la Muestra	29668	2858		Kingos
Factor de Diferencia Temporal	473%	21%		
Factor de Diferencia Kingos	10%	1038%		
Cantidad de Solicitudes Ajustadas a Rhino	646	3706		
Cantidad de Solicitudes Ajustadas a Phoenix	1418	8139		
Tiempo de Entrega Ordenes	25.998	69.97	Maximo	Dias
		54.46	Mediana	
		50.92	Promedio	
Desviacion Estandar Tiempo de Entrega	22.00129	19.81523	Std	Dias

Cuadro 16 Comparación del tiempo de atención Phoenix-Rhino

Results

Difference	24.922
Standard error	0.638
95% CI	23.6705 to 26.1735
t-statistic	39.041
DF	5122
Significance level	P < 0.0001

Cuadro 15 Prueba T de significancia de diferencia de medias

En comparación con el nivel de servicio del modelo Phoenix, se observa un incremento significativo en el tiempo de servicio a los clientes. El Cuadro 15 ilustra los resultados de la prueba T de diferencia de medias utilizada para validar que la diferencia es estadísticamente significativa. El nivel de significancia (significance level) es menor a 0.05, por lo que se puede afirmar que las medias son significativamente diferentes. En el caso de los resultados preliminares, en dirección opuesta al objetivo de implementar Rhino, es decir, se tenía un menor tiempo de atención en el modelo Phoenix que en Rhino.

Este incremento no necesariamente desapueba el modelo Rhino, ya que, a pesar de haber un incremento en el tiempo de atención, este no solamente muestra el tiempo de visita como lo hacía la métrica de tiempo de atención del modelo Phoenix, el cual no necesariamente refleja el tiempo de resolución, ya que una visita puede no lograr cumplir con las necesidades del cliente. Para el caso de una orden completada de Rhino, y el hecho de que se reparan todos los sistemas que llegan a taller, ofrece mejor posibilidad de cumplir con la solicitud y dar un servicio satisfactorio al usuario. De igual manera, la métrica que muestra una significativa mejora en el nivel de servicio es el hecho de que se entregan el 100% de las órdenes recogidas, así como la cantidad de órdenes que es posible atender bajo el modelo Rhino. Como parte del alcance y objetivo de este trabajo, se desarrollarán

experimentos que buscan mejorar el modelo Rhino para que el nivel de servicio mejore en todo sentido ante el modelo Phoenix.

2. Tiempo por etapa de la orden

a. Tiempo de recepción de orden

El tiempo de recepción de la orden marca la cantidad de tiempo en días que transcurren desde el momento en que una orden de servicio es creada por el tendero hasta que dicha orden es recibida por la base de datos es a través de la sincronización de un teléfono de algún agente de la empresa. Dentro de la simulación, la única manera que una orden llegue a bodega es por medio de una agente. Esto se debe a que, aunque el tendero también puede sincronizar su teléfono y publicar la orden, en taller no se procesara ninguna orden que no haya sido validada por un agente previamente. El tiempo de recepción muestra que mientras los agentes de ventas mantengan un nivel de cumplimiento equivalente al actualmente sostenido, el valor se mantendrá en el rango de 4.2-5.4 días. La grafica muestra el tiempo de recepción promedio a lo largo de la simulación.

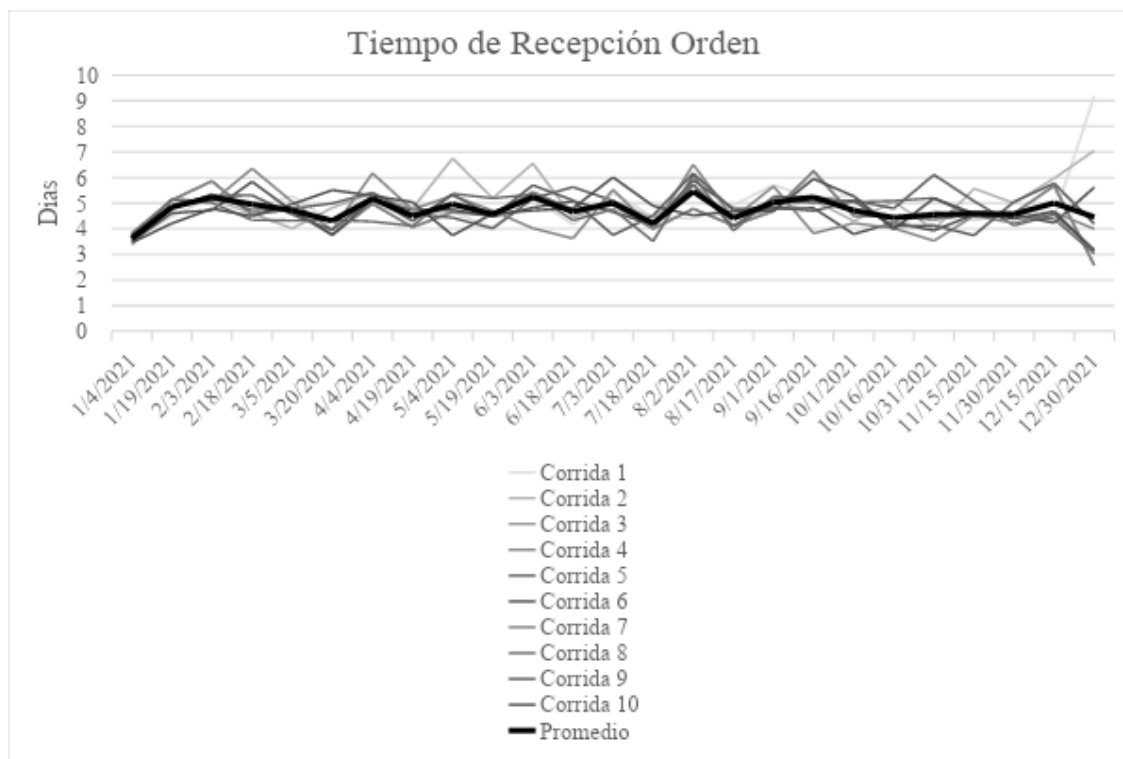


Ilustración 48 Tiempo de recepción orden

La siguiente tabla ilustra un resumen de los resultados. Cabe mencionar que los valores se comienzan a considerar empezando en el mes de marzo; de esta manera se evita tomar valores atípicos resultantes del periodo de calentamiento de la simulación. Lo que la gráfica y la tabla permiten observar es que el tiempo de recepción de las órdenes se mantiene dentro de un rango estrecho y su comportamiento es estable a lo largo de las diferentes corridas.

Resumen		
Promedio	4.752	Dias
Maximo	5.459	Dias
Minimo	4.204	Dias
Desviacion Estandar	0.406	Dias

Cuadro 17 Resumen de tiempo de recepción de orden

b. Tiempo en taller

El tiempo que la orden pasa en el taller se modela bajo el supuesto de que siempre habrá inventario, por lo que su efecto no es relevante ante el tiempo de entrega total de la orden. Se procesó el tiempo como medida preparativa para que, si dado fuese el caso, en un futuro la empresa desea llevar a cabo algún estudio de capacidades o reestructuración estratégica del taller, pudiese ser integrado al modelo con facilidad. A continuación, se muestran los resultados a lo largo de la simulación y el resumen de estos.

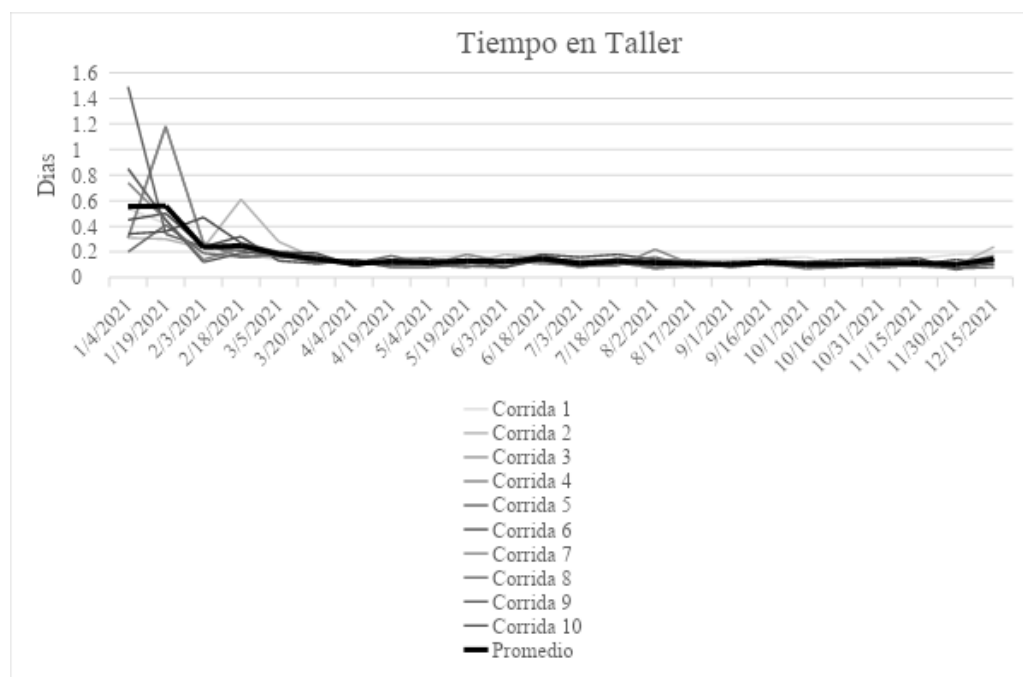


Ilustración 49 Tiempo en taller de la orden

Resumen		
Promedio	0.122	Dias
Maximo	0.182	Dias
Minimo	0.102	Dias
Desviación Estandar	0.406151244	Dias

Cuadro 18 Resumen de tiempo en taller de la orden

c. Tiempo en espera de abasto

Este indicador muestra el tiempo que las órdenes ya procesadas por el taller y listas para ser entregadas pasan en espera de ser cargadas al camión de abasto y salir a ruta. En la Ilustración 50 Tiempo en espera abasto preliminar, se observa que el tiempo de espera a abasto sigue un comportamiento similar al obtenido para el tiempo total de entrega, lo cual permite inferir que, por alguna razón, las órdenes están pasando demasiado tiempo esperando al abasto y que esta etapa de la orden tiene un alto impacto en el nivel de servicio. A continuación, se analizará la correlación entre este indicador y el tiempo total de entrega de la orden y otras métricas con el propósito de identificar mejoras posibles y realizar corridas experimentales para validar su efecto positivo en el nivel de servicio.

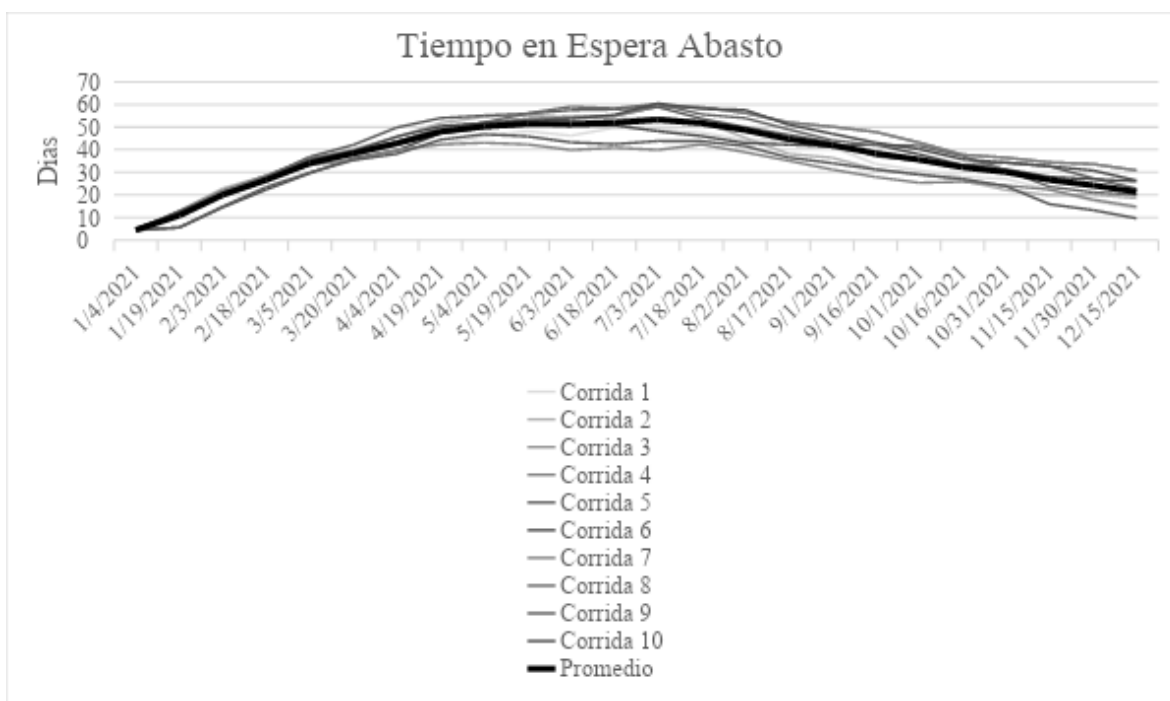


Ilustración 50 Tiempo en espera abasto preliminar

Resumen		
Promedio	40.85	Días
Maximo	53.28	Días
Minimo	21.39	Días
Desviacion Estandar	0.406	Días

Cuadro 19 Resumen de tiempo en espera de abasto de la orden

d. Resumen de etapas

Según todos los tiempos de las etapas, se obtiene la siguiente gráfica con el porcentaje de tiempo que la orden pasa en cada una de ellas como proporción del tiempo total de entrega. Se observa que el tiempo de espera a abasto es el porcentaje más elevado, por lo que se espera que disminuirlo logre reducir el tiempo de entrega total significativamente.

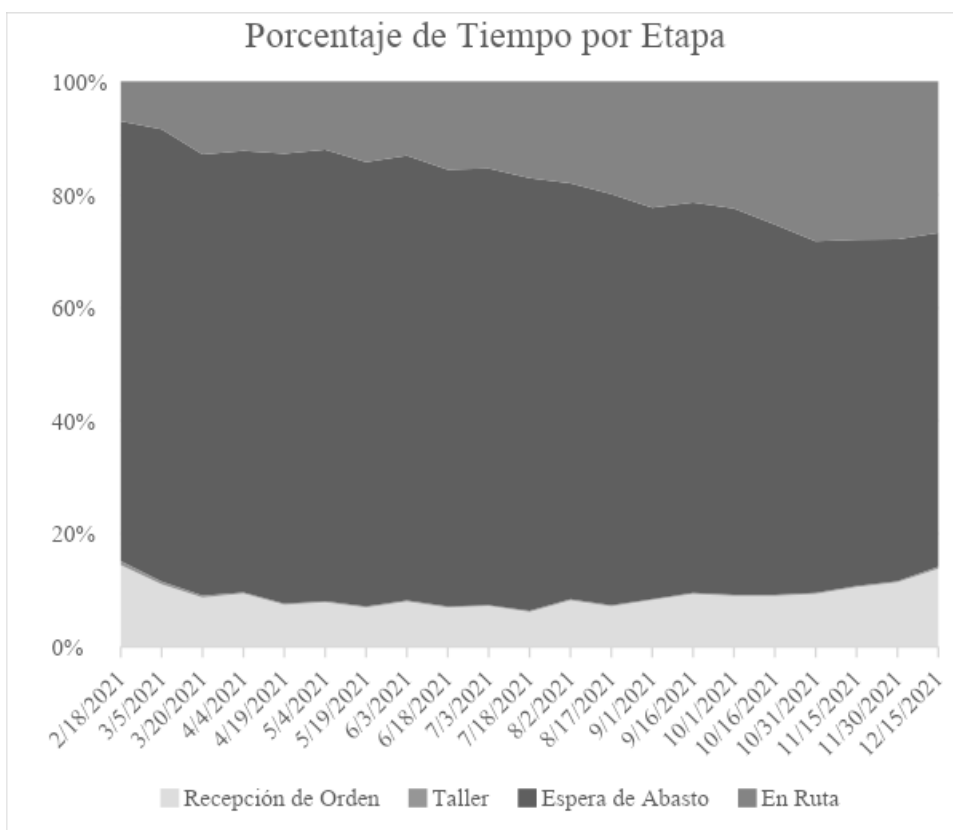


Ilustración 51 Porcentaje de tiempo por etapa de la orden

3. Otros resultados relevantes

Además de los resultados directamente relacionados con el nivel de servicio, se configura la simulación para proveer información acerca de la viabilidad operativa del modelo y otros indicadores que puedan dar datos relevantes para la mejora del modelo.

a. Tiempo de la ruta de abasto

Es importante comprender el tiempo de la ruta de abasto, ya que un tiempo extendido significará que los polígonos de abasto están grandes o que tienen demasiados usuarios bajo su cobertura. En dado caso que la ruta se extienda por más de los 5 días (de martes a sábado), el conductor que realizará la labor estará sobrecargado, habrá que pagarle más y su puesto tendrá una elevada rotación en el caso en el que no pueda regresar hasta que su ruta haya finalizado; así se configura la simulación para obtener la información acerca de los tiempos de los ajustes que son necesarios hacer previo al lanzamiento. La siguiente gráfica ilustra los tiempos a lo largo de la simulación y el resumen de estos.

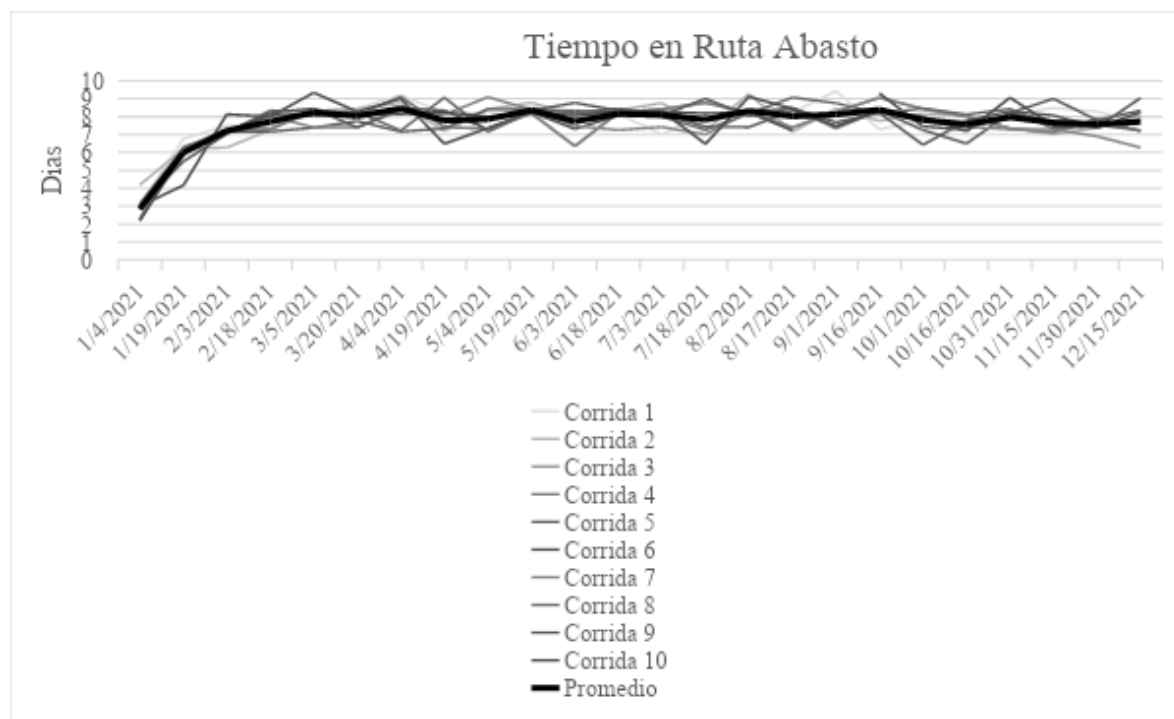


Ilustración 52 Tiempo de la ruta de abasto

Resumen		
Promedio	7.983206	Días
Maximo	8.452	Días
Minimo	7.579	Días
Desviación Estandar	0.406151	Días

Cuadro 20 Resumen del tiempo de la ruta de abasto

En base a los resultados, se observa que el tiempo de ruta del agente de abasto se encuentra por encima de lo esperado y se buscará disminuir el tiempo en la experimentación a continuación.

b. Órdenes en espera de carga

Esta métrica nos brinda información acerca de la cantidad de órdenes que se intentará cargar al camión, el cual tiene una capacidad limitada, cada vez que este visite la bodega el día antes de salir en ruta. Cuando este número

sobrepasa la capacidad del camión, se comienza a crear un acumulado de órdenes, ya que las órdenes seguirán llegando y el camión ni siquiera ha podido salir a entregar lo que le correspondía la semana previa. En base al tiempo de espera a abasto de las órdenes, era de anticiparse que la cantidad de estas que se debiesen cargar en el camión supere la capacidad de este y, tomando en cuenta que las nuevas órdenes siguen llegando, esto causa un serio atraso al tiempo de entrega total.

Los resultados obtenidos muestran el comportamiento esperado: la cantidad de órdenes por entregar supera la capacidad del camión de abasto y, por lo tanto, deben esperar a la siguiente ruta para ser cargadas. La siguiente gráfica ilustra los resultados.

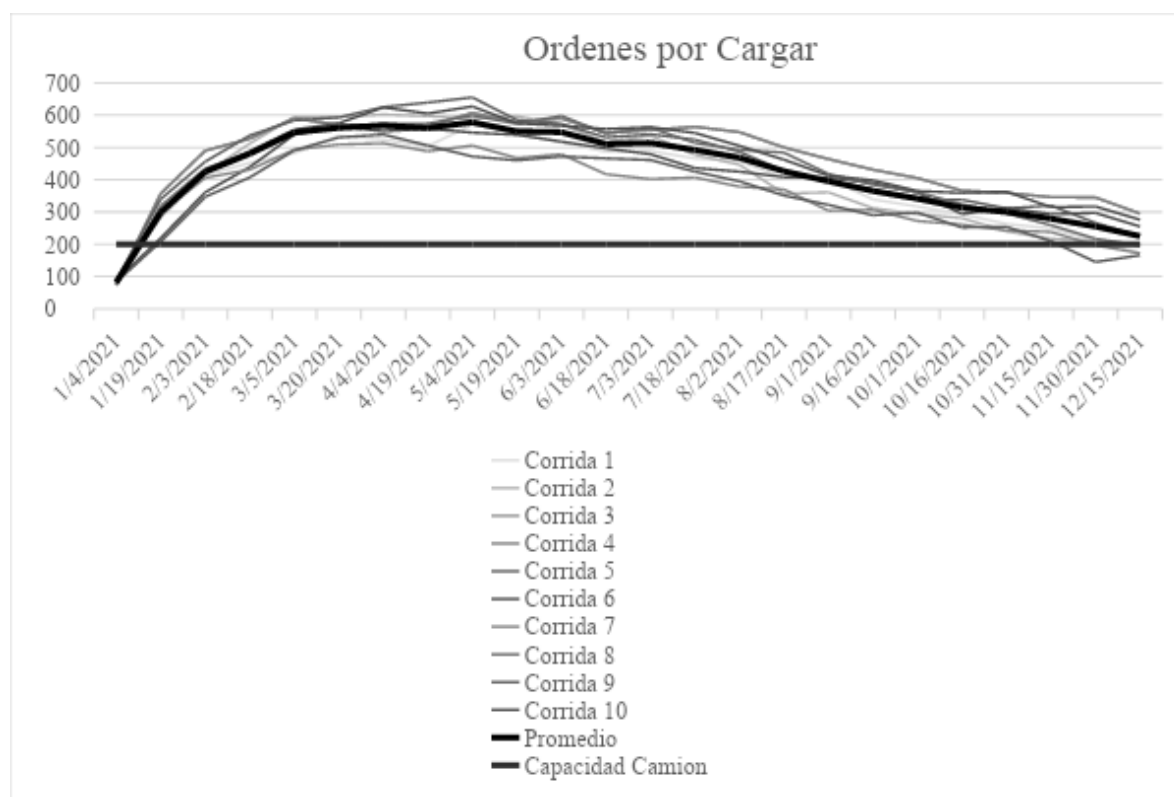


Ilustración 53 Cantidad de órdenes por cargar a la ruta

La gráfica muestra cómo la cantidad de órdenes por cargar a la ruta se mantiene por encima de la capacidad del camión, causando un retraso significativo en el tiempo de entrega de las órdenes subsecuentes. Es hasta que, poco a poco, el camión entrega las órdenes pendientes que a su vez causan una reducción en la cantidad de órdenes creadas, ya que cada vez hay más usuarios con equipos reparados y, por lo tanto, menos probabilidad de fallo.

c. Cantidad de órdenes creadas

La cantidad de órdenes creadas define la cantidad de órdenes que se deberán cargar en el camión previo a la ruta, con la excepción de que se deben cargar las órdenes que no cupieron en la ruta anterior, las cuales tienen

prioridad ante las nuevas. Como se muestra en la Ilustración 54 Cantidad de órdenes creadas, conforme las órdenes se van entregando a lo largo de la simulación, así mismo la cantidad de órdenes creadas disminuye hasta llegar a un nivel menor a la capacidad del camión. Con cada ruta se disminuye la cantidad de órdenes por entregar y se mejora el tiempo de entrega total.

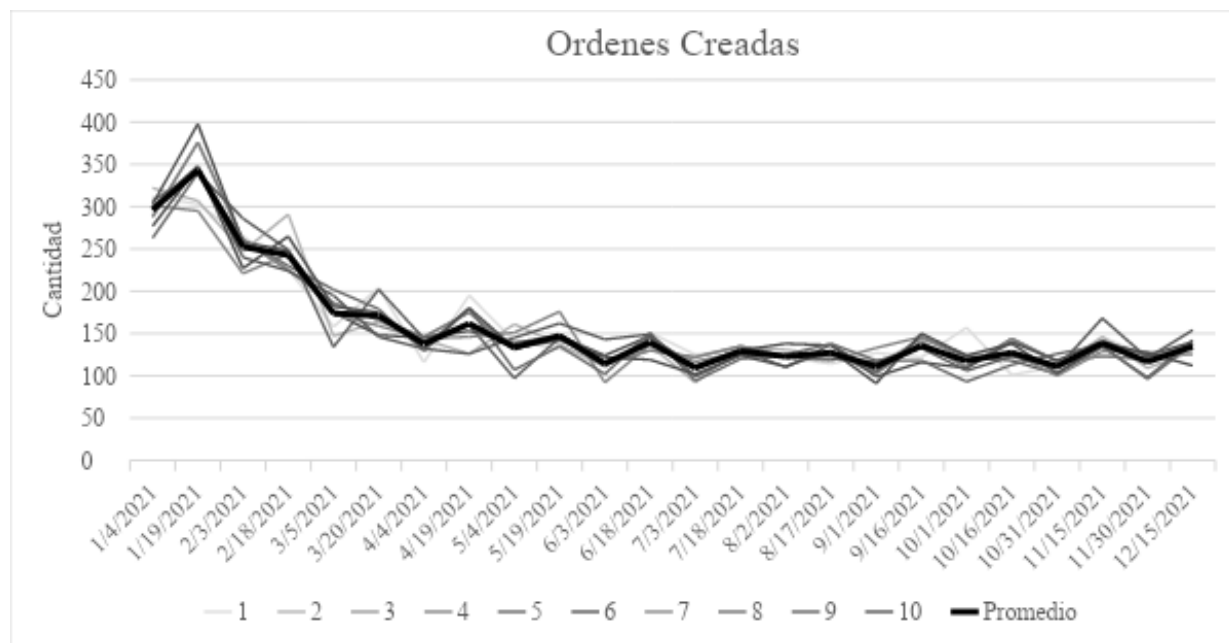


Ilustración 54 Cantidad de órdenes creadas

d. Órdenes en ruta

Los dos indicadores previos, cantidad de órdenes creadas y cantidad de órdenes por cargar, causan un atraso en las entregas debido a la limitante de capacidad que se tiene en el camión. La siguiente gráfica muestra la cantidad de órdenes que se cargan en cada ruta y, como se puede observar, el camión está al límite en todas las rutas que realiza durante la simulación.

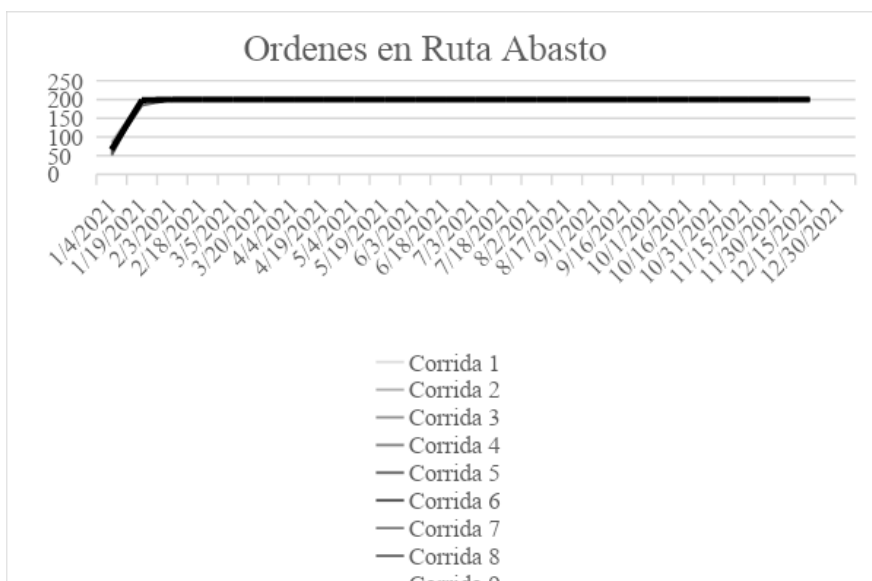


Ilustración 55 Órdenes en ruta

e. Tiendas visitas por ruta de abasto

Se extrae la cantidad de tiendas que son visitadas durante la ruta de abasto para tener una mejor idea del origen de las órdenes y poder analizar los resultados de la experimentación. Era necesario comprender de cuántos tenderos están proviniendo las órdenes y si existe una correlación entre la cantidad de tiendas visitadas y el tiempo de entrega de la orden y de la ruta de abasto. La siguiente gráfica muestra los resultados.

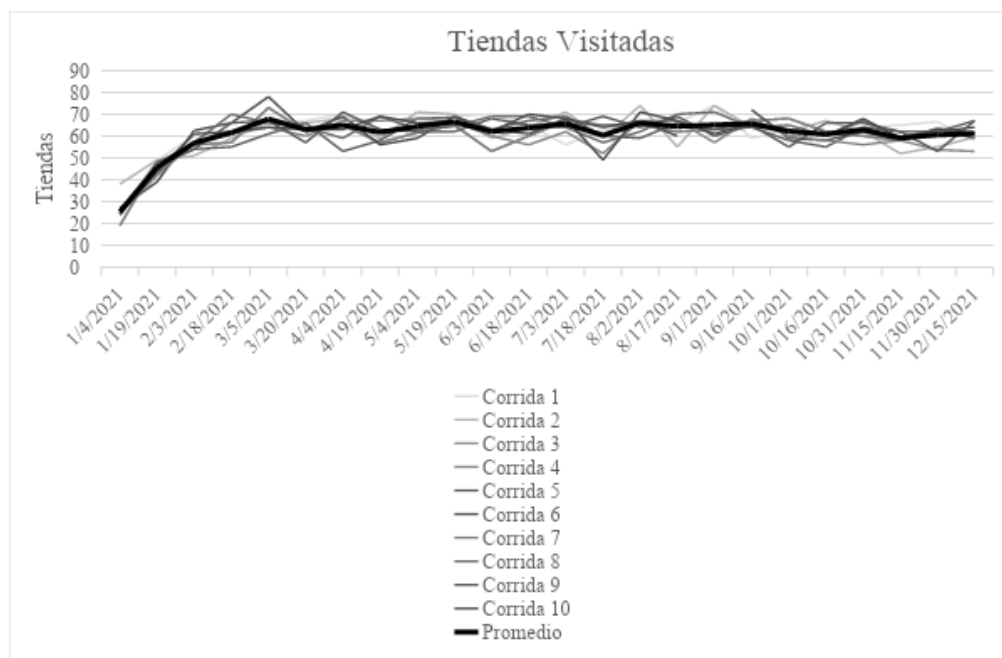


Ilustración 56 Tiendas visitadas por ruta de abasto

La gráfica muestra que las tiendas visitadas se mantienen constantes durante la simulación y, por lo tanto, no parece haber una relación elevada entre la cantidad de tiendas visitadas y los demás indicadores. Recordemos que el agente de abasto solo visita a las tiendas en las que tiene alguna orden que entregar.

X. EXPERIMENTACIÓN CON PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados previamente descritos muestran que el tiempo de entrega de las órdenes tiene un incremento significativo durante el principio de la simulación. En una ejecución real del modelo Rhino, esto se vería reflejado como un fallo en el modelo en comparación con el modelo previo, lo cual tendría efectos negativos en la confianza de los clientes y la aceptación del modelo como tal. Por lo tanto, se decide experimentar con algunos parámetros para mitigar el pico en el tiempo de entrega de las órdenes creado al inicio de la corrida. La sospecha principal sobre la causa de este pico en el tiempo de entrega es la elevada edad del parque de clientes actual, que potencializa la probabilidad de que un usuario entre en fallo y requiera de servicio. Por lo tanto, se esperaba que en el inicio de las corridas se tuviera un pico en la cantidad de órdenes colocadas.

El primer punto de este proceso consiste en identificar las métricas correlacionadas para poder identificar causantes puntuales del pico para, posteriormente, diseñar experimentos donde se prueban cambios a los diferentes parámetros para intentar resolver el problema.

Como se describe previamente, se tienen varios parámetros y métricas sospechosas de afectar negativamente al nivel de servicio. Para poder identificarlos de manera estadística y no basarse solamente en un análisis empírico, es necesario realizar un análisis de correlación entre las diferentes variables; para esto se utiliza el método de correlación de Pearson y el paquete de análisis estadístico y numérico de Python, Numpy. El algoritmo genera una matriz de momentos de Pearson para cada variable en relación con el resto. Se busca identificar qué variables están fuertemente correlacionadas entre sí, ya que una alta correlación en los resultados preliminares indica un alto potencial de que, al modificar estas variables, se pueda mejorar el tiempo de servicio.

La siguiente tabla muestra los resultados de la correlación de Pearson cuando se corre el algoritmo a los promedios de las 10 corridas para varias variables sospechosas. Mientras más cerca de 1 o -1 esté el resultado de la prueba de Pearson, mayor es la correlación. La correlación puede ser negativa: mientras más crece una, más disminuye la otra, o positiva: ambas crecen juntas. Los resultados se muestran en la tabla a continuación.

	Tiempo de Entrega Orden	Tiempo de Recepción Orden	Tiempo en Ruta Abasto	Tiempo en Espera Abasto	Ordenes en Taller	Ordenes Por Cargar	Ordenes en Ruta	Ordenes Entregadas	Tiendas Visitadas Abasto		
Tiempo de Entrega Orden		0.290	0.729	0.975	-0.740	0.681	0.515	0.522	0.746		Correlacion Importante
Tiempo de Recepción Orden	0.290		0.546	0.299	-0.283	0.386	0.572	0.584	0.537		Correlacion Semi-Importante
Tiempo en Ruta Abasto	0.729	0.546		0.684	-0.844	0.616	0.906	0.913	0.990		Correlacion Normal
Tiempo en Espera Abasto	0.975	0.299	0.684		-0.640	0.806	0.481	0.498	0.703		Correlacion Esperada
Tiempo en Taller	-0.740	-0.283	-0.844	-0.640		-0.374	-0.664	-0.662	-0.859		
Ordenes Por Cargar	0.681	0.386	0.616	0.806	-0.374		0.507	0.537	0.629		
Ordenes en Ruta	0.515	0.572	0.906	0.481	-0.664	0.507		0.992	0.872		
Ordenes Entregadas	0.522	0.584	0.913	0.498	-0.662	0.537	0.992		0.884		
Tiendas Visitadas Abasto	0.746	0.537	0.990	0.703	-0.859	0.629	0.872	0.884			

Cuadro 21 Matriz de correlación de variables

Las correlaciones se clasifican según su valor y relevancia para el modelo. Los valores identificados en rojo muestran aquellas correlaciones de alta importancia para el modelo; esto se debe a que es una relación que no se esperaba que existiera o que es más elevada de lo esperado. Las variables coloreadas en amarillo muestran una relación importante y fuerte, pero su valor de momento de Pearson no es tan elevado como el de las identificadas con rojo y, finalmente, las variables identificadas en verde o azul muestran correlaciones esperadas de la simulación.

A. Diseño de Experimentos

Según los resultados del análisis de correlación previamente descrito en la sección anterior y en base al conocimiento empírico de la operación, se seleccionan parámetros que se considera tienen un alto impacto en el *tiempo de entrega de orden* para realizar una serie de experimentos con factores de ajuste. Esta selección se realiza en base a los resultados del análisis de correlación, el cual muestra que el *Tiempo de Entrega de la Orden* se encuentra fuertemente correlacionado con el *Tiempo en espera de abasto* de la orden, el cual a su vez se encuentra fuertemente correlacionado con la *Cantidad de órdenes por cargar*. Por medio del conocimiento empírico y restricciones conocidas del sistema, se puede inferir qué parámetros pueden ser ajustados o modificados para cambiar el resultado de las métricas de alto impacto. Se evita cambiar algún parámetro que provenga de alguna entidad física o dato histórico, ya que modificarlo involucra una inversión extra o rediseño significativo del modelo, o bien puede reflejar un parámetro que describe el comportamiento del usuario sobre el cual es difícil hacer cambios.

Por lo tanto, es necesario buscar aquellos que con relativa facilidad pueden ser modificados en la operación y ejecución del Proyecto Rhino. Se seleccionan dos parámetros principales y un tercero que es dependiente de los dos anteriores: la capacidad del camión de abasto, agregar un segundo camión de abasto y el tiempo de entrada y salida de los tenderos, respectivamente. Para poder probar los efectos aislados de los cambios seleccionados, se realizarán dos series de experimentos distintas. La primera serie solamente se enfocará en el ajuste de la capacidad del camión de abasto y en la segunda se experimentará con la capacidad del camión, habiendo agregado un segundo camión a la ecuación. Para cada experimento se realizarán tres corridas para obtener una mayor cantidad de datos.

1. Experimentación con capacidad del camión de abasto

Tomando en cuenta que el tiempo de espera a abasto es muy elevado, se infiere que incrementar la capacidad del camión de abasto puede tener un efecto positivo en el nivel de servicio. En la vida real, este cambio se ve reflejado como la selección de un pickup más grande o la compra de cajuelas de mayor altura que permitan el apilamiento de las cajas con sistemas reparados y, por ende, incrementan la capacidad máxima del camión/pickup. Este incremento en la capacidad del camión va directamente relacionado con la velocidad que se puede alcanzar durante la ruta y, por lo tanto, con el tiempo de transporte entre tiendas, en especial tomando en cuenta que se debe transitar por caminos de terracería. Por lo tanto, al incrementar la capacidad, es necesario incrementar también el tiempo que el camión tomará para entrar y salir de cada tendero. Se seleccionan dos factores porcentuales de ajuste y experimentación para la capacidad del camión. Estos son un incremento de 25% y 50%, los cuales representan el cambio hacia un pickup de mayor tamaño y capacidad de carga mayor, como lo son los pickups de cabina sencilla que cuentan con una cajuela más grande, a un camión de carga pequeño o la introducción de una cajuela para el pickup de mayor capacidad. Estos factores son estimados, ya que se busca entender el efecto que dichos cambios tendrán antes de realizar cualquier inversión o solicitud formal. Como es mencionado previamente, también se experimentará con un incremento del 25% en el tiempo de transporte, es decir, entrada y salida de las tiendas, para poder comprender el efecto real estimado de

incrementar la capacidad. La experimentación y los factores de ajuste para estas dos variables se definen en la siguiente tabla.

Serie de Experimentos #1		Experimento 1.1	Experimento 1.2	Experimento 1.3	Experimento 1.4
Variable/Parametro a Ajustar		Factor de Ajuste			
Capacidad del Camion		125%	150%	125%	150%
Tiempo de Entrada y Salida de Tenderos		100%	100%	125%	125%
Segundo Camion de Abasto		No	No	No	No

Cuadro 22 Serie de experimentación #1

2. Experimentación con camión de abasto adicional

El segundo parámetro que se ajustará es la cantidad de camiones y agentes de abasto que se tendrán por polígono. Agregar un camión adicional permite realizar dos rutas en paralelo con un desfase de tres días. El desfase se integra para evitar que las órdenes recibidas al principio de una ruta tengan que esperar como mínimo a que dicha ruta regrese de todo su recorrido para poder ser entregadas, ya que pueden ser cargadas en el segundo camión adicionado. Se espera que esta adición en capacidad de la ruta total permita reducir el tiempo de espera a abasto de la orden y, por lo tanto, reducir el tiempo de entrega total y mejorar el nivel de servicio. Esta serie de experimentos consiste en el ajuste de varias variables, para poder validar y buscar la mejor alternativa. Las diferentes corridas se describen en la siguiente tabla.

Serie de Experimentos #2						
Variable/Parametro a Ajustar						
Capacidad del Camion	100%	125%	80%	75%	80%	75%
Tiempo de Entrada y Salida de Tenderos	100%	100%	80%	80%	100%	100%
Segundo Camion de Abasto	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Cuadro 23 Serie de experimentación #2

El experimento 2.1 busca comprender el efecto aislado de agregar otro camión de abasto sin ningún otro ajuste, ya que este sería el que menor efecto tendría en el diseño del modelo actual. En el Experimento 2.2, además de agregar un agente de abasto, se ajustará la capacidad del camión en 25%, asumiendo que no habrá efecto en el tiempo de transporte. Finalmente, se realizan 4 experimentos en los cuales se disminuye la capacidad de los camiones de abasto al 80% y 75%, además de hacer corridas para cada uno con el tiempo de transporte sin ajuste y otra con el tiempo de transporte disminuido, asumiendo que reducir la carga del camión permitirá un viaje más rápido y eficiente.

XI. RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

A. Resumen de los resultados

A continuación, se presentan las gráficas de las variables más importantes comparadas con el resultado preliminar y la variable de interés de Phoenix.

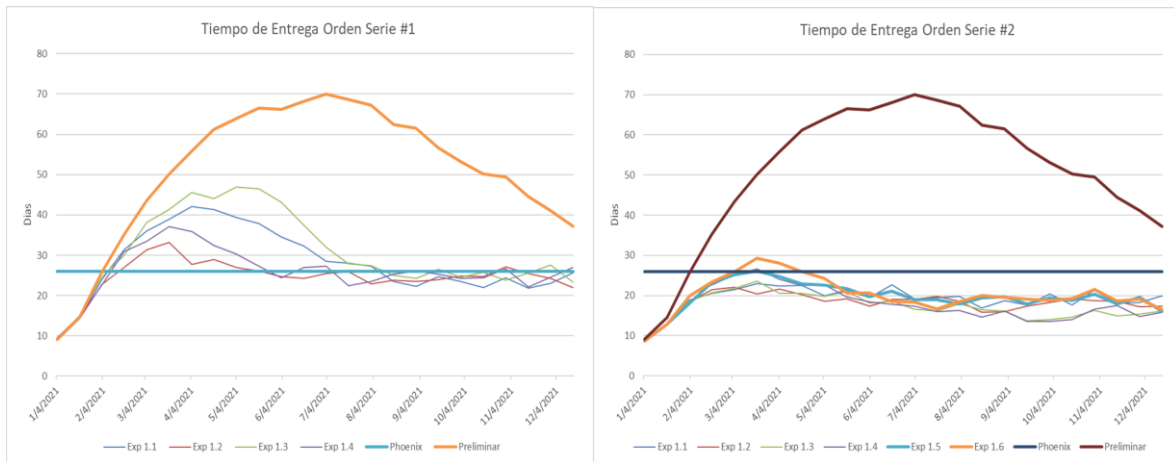


Ilustración 57 Tiempo de entrega de la orden en experimentos

Los resultados de la experimentación muestran que el ajuste realizado en las variables, capacidad del camión, tiempo de entrega y cantidad de camiones, resulta en una mejora en el tiempo de entrega de la orden. En la serie #1 se observa que el experimento dos incrementó en 50% la capacidad del camión de abasto, siendo el mejor tiempo de entrega de la orden. Cabe tomar en consideración que incrementar la capacidad del camión de una manera tan grande como lo es 50% representa una inversión y cambios significativos en el modelo. Por otro lado, la serie número dos de experimento muestra que agregar un camión de abasto resulta en tiempos de entrega menores que Phoenix.

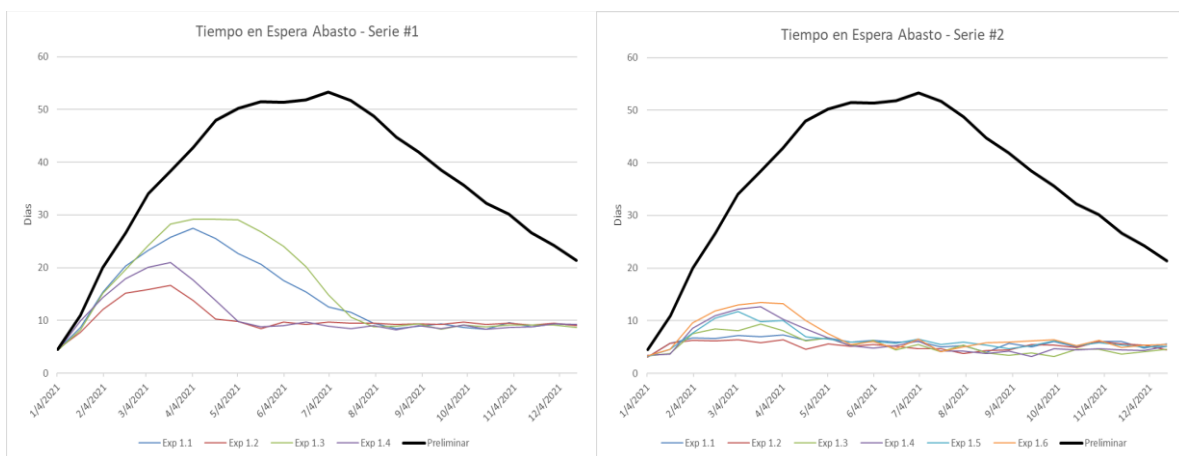


Ilustración 58 Tiempo en espera de abasto de la orden en experimentos

Como era de esperarse, según los hallazgos de la matriz de momentos Pearson, que el tiempo en espera de abasto de la orden tenga un comportamiento muy parecido al comportamiento del tiempo de entrega de la orden. En ambos tiempos se observa un incremento inicial, que representa la gran cantidad de órdenes que se colocan durante el principio de la simulación.

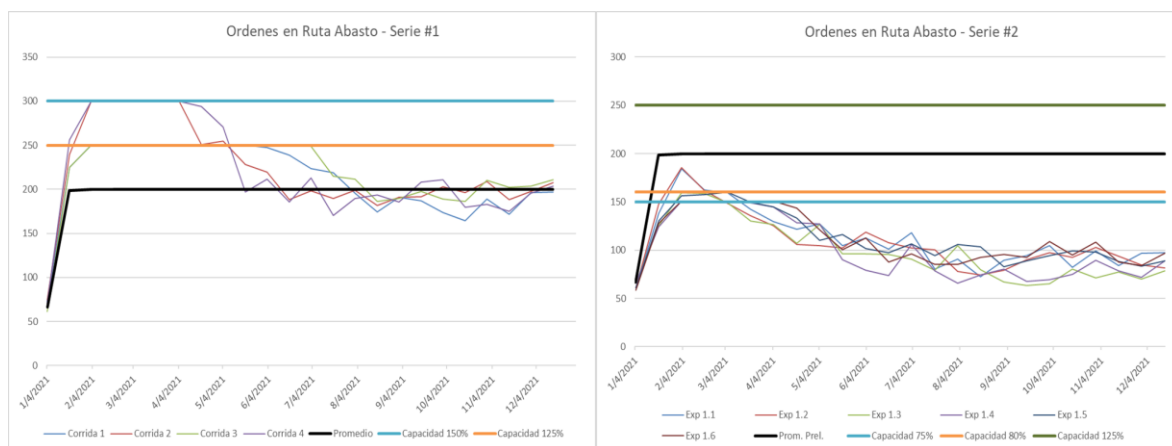


Ilustración 59 Ordenes en ruta en experimentos

La cantidad de órdenes en ruta, para la serie de experimentos #1, muestra cómo al principio de la simulación el camión sale a su ruta completamente lleno y a su máxima capacidad, sin importar el factor de ajuste. Conforme pasa el tiempo y se entregan las órdenes, con sistemas reparados y, por ende, con menor probabilidad de fallar, disminuye la cantidad de órdenes colocadas. La reducción en la cantidad de órdenes que hay que entregar sucede junto con la reducción en el tiempo de entrega, ya que se comienzan a entregar las órdenes que estaban atrasadas de la semana anterior debido a que el camión había llegado a su máxima capacidad. En la serie dos de experimentos, la cantidad de veces que los camiones son llenados a su máxima capacidad es muy reducida y solo sucede para las corridas en las que la capacidad se disminuye a 80% y 75%. Cabe mencionar que para la corrida uno del segundo experimento, llega un punto alrededor de la mitad de la simulación en la que la cantidad de órdenes en ruta se mantiene por debajo de la capacidad media del camión, cien unidades. Es posible asumir que, a partir de la mitad de la simulación, se podría operar con solo un camión sin tener una acumulación de órdenes y, por ende, un incremento en el tiempo de entrega de las órdenes.

B. Comparación de Resultados

La siguiente tabla muestra el tiempo de entrega de la orden de cada una de las corridas, la diferencia con los resultados preliminares y la diferencia con Phoenix. Adicionalmente a la diferencia se realizan pruebas T de diferencias de media para validar estadísticamente la significancia de estas diferencias.

Métrica	Phoenix	Preliminar	Exp 1-1	Exp 1-2	Exp 1-3	Exp 1-4	Exp 2-1	Exp 2-2	Exp 2-3	Exp 2-4	Exp 2-5	Exp 2-6	Medida	Unidades
Cantidad de Solicitudes Brutas	1418	3706	3924	3974	3906	3915	4168	4192	4236	4250	4126	4125	Total	Ordenes
Tiempo de la Muestra	11	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52		Semanas
Kingos en la Muestra	29668	2858	2858	2858	2858	2858	2858	2858	2858	2858	2858	2858		Kingos
Factor de Diferencia Temporal	473%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%		
Factor de Diferencia Kingos	10%	1038%	1038%	1038%	1038%	1038%	1038%	1038%	1038%	1038%	1038%	1038%		
Cantidad de Solicitudes Ajustadas a Rhino	646	3706	3924	3974	3906	3915	4168	4192	4236	4250	4126	4125		Ordenes
Cantidad de Solicitudes Ajustadas a Phoenix	1418	8139	8617	8727	8577	8597	9153	9205	9302	9333	9060	9058		Ordenes
Tiempo de Entrega Ordenes	25.998	69.97	42.11	33.15	46.92	37.06	23.01	22.01	23.58	26.62	26.13	29.28	Máximo	Días
		54.46	26.44	24.83	27.46	25.70	19.66	18.54	16.48	16.94	19.42	19.37	Mediana	
		50.92	28.16	24.60	30.64	25.99	19.209	18.135	17.195	17.780	19.641	20.167	Promedio	
Desviación Estándar Tiempo de Entrega	22.00129	19.81523	14.72	13.49	15.53	13.90	12.06	11.15	10.24	10.69	11.73	11.92	Std	Días
Factores de Ajuste en Experimentos														
Capacidad del Camión			Exp 1-1	Exp 1-2	Exp 1-3	Exp 1-4	Exp 2-1	Exp 2-2	Exp 2-3	Exp 2-4	Exp 2-5	Exp 2-6		
Tiempo de Entrada y Salida de Tenderos			125%	150%	125%	150%	100%	125%	80%	75%	80%	75%		
Segundo Camión de Abasto			100%	100%	125%	125%	100%	100%	80%	80%	100%	100%		
			No	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si		
Comparación con Resultado Preliminar														
Diferencia entre Medias			22.756	26.317	20.273	24.922	31.707	32.782	33.721	33.137	31.276	30.749		
Significativa			Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si		
Comparación con Phoenix														
Diferencia entre Medias			-2.163	1.398	-4.645	0.003	6.789	7.863	8.802	8.218	6.357	5.831		
Significativa			NA	Si	NA	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si		

Cuadro 24 Comparación de resultados de los experimentos

La mayoría de los experimentos tuvieron éxito en reducir significativamente el tiempo de entrega de la orden y, por lo tanto, el nivel de servicio. Esto se evidencia mediante la realización de una prueba T para comparar la diferencia de medias entre el tiempo de entrega de órdenes en la corrida del experimento con mayor duración y los resultados preliminares. Esta prueba permite determinar si la variación observada es estadísticamente significativa, aportando mayor rigor al análisis del desempeño del modelo. El Cuadro 24 muestra el resultado dicha prueba. En la cual se observa que la diferencia de -26.28 días entre los tiempos de entrega de orden preliminar y la tercera corrida de la primera serie es diferente con un nivel de significancia mayor a 99.999%.

Comparison of means calculator

Sample 1

Mean:

Standard deviation:

Sample size:

Sample 2

Mean:

Standard deviation:

Sample size:

Results

Difference	-20.280
Standard error	0.407
95% CI	-21.0776 to -19.4824
t-statistic	-49.843
DF	7610
Significance level	P < 0.0001

Ilustración 60 Prueba T de diferencia de media para experimento número 1.3 y resultado preliminar

Con la serie número uno de experimentos, en la cual solo se ajusta el tiempo de transporte y/o la capacidad máxima del camión de abasto. Los tiempos de entrega de la orden obtenidos en las corridas uno y tres, en las

cuales se incrementa la capacidad del camión en 25%, no resultan menores al tiempo de entrega de Phoenix y, por lo tanto, no se validará la significancia de la diferencia y se puede acertar que el incremento de 125%, a pesar de lograr una reducción en el tiempo de entrega de la orden en comparación con la corrida preliminar, no resulta en reducciones ante el modelo de Phoenix.

Por otro lado, se comparan las corridas dos y cuatro con el tiempo de entrega en Phoenix. En ambas, el tiempo de entrega de la orden resulta menor que el obtenido para el modelo Phoenix y, por lo tanto, se valida que esta diferencia sea significativa. Los resultados de la prueba t de diferencia de medias, presentados en la Ilustración 61 Resultados de prueba T de diferencia de medias para Experimentos 1.2 y 1.4 contra Phoenix, evidencian que la reducción de 1,39 días en el tiempo de entrega de órdenes en la segunda corrida es significativamente menor en comparación con el tiempo de entrega de Phoenix, con un nivel de significancia del 99,65 %. Mientras tanto, la diferencia entre el tiempo de Phoenix y el tiempo de la cuarta corrida no resulta significativamente distinta. Tanto la segunda como la cuarta tienen en común que el incremento en la capacidad del camión es de 150%, es decir, que la capacidad se incrementa de doscientos a trescientos. En la corrida dos, en la cual se muestra una reducción significativa en el tiempo de entrega, se incrementó la capacidad del camión de abasto en un 50%, mas no se incrementó el tiempo de transporte. El problema de esta es que lograr el incremento de capacidad sin una reducción en el tiempo de transporte requiere de mayor inversión y ajuste al modelo y diseño planificado y aprobado.

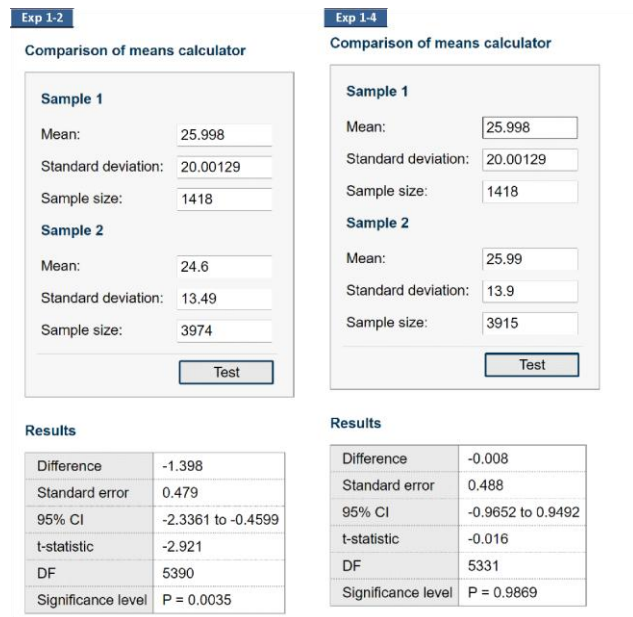


Ilustración 61 Resultados de prueba T de diferencia de medias para Experimentos 1.2 y 1.4 contra Phoenix

En la serie número dos de experimentos, se agrega un segundo camión de abasto al modelo para validar si de esta manera, es decir, agregando más rutas de abasto, es posible reducir el tiempo de entrega de la orden. En este caso, los resultados fueron sorprendentes; todas las corridas mostraron una reducción significativa en el tiempo de entrega vs. Phoenix, incluyendo la corrida número seis, en la cual se reduce la capacidad de ambos camiones de abasto en 75%, es decir, de doscientos a ciento cincuenta unidades máximo. Para esta corrida, la cual muestra el tiempo de entrega más elevado, se observa una reducción del tiempo a comparación de Phoenix; es de 5.831 días. Esta diferencia es significativamente distinta al tiempo de Phoenix con un nivel de significancia mayor a 99.999%; los resultados se observan en la Ilustración 62 Resultados de prueba T de diferencia de medias para experimento 2.6 y Phoenix. En base a estos resultados, se puede asegurar que adicionar un camión de abasto, incluso reduciendo la capacidad de este, resulta en tiempos significativamente menores, tanto comparándolo con los resultados preliminares como contra el tiempo de Phoenix.

Exp 2-6

Comparison of means calculator

Sample 1

Mean: 25.998
Standard deviation: 20.00129
Sample size: 1418

Sample 2

Mean: 20.167
Standard deviation: 11.92
Sample size: 4125

Test

Results

Difference	-5.831
Standard error	0.444
95% CI	-6.7015 to -4.9605
t-statistic	-13.132
DF	5541
Significance level	P < 0.0001

Ilustración 62 Resultados de prueba T de diferencia de medias para experimento 2.6 y Phoenix

C. Propuesta de mejoras al modelo

En base a los resultados de la experimentación sobre el modelo, se define el adicionar un camión adicional como la mejor manera de implementar el nuevo modelo de negocios, Rhino. Tomando en cuenta las restricciones presupuestarias previamente descritas, adquirir camiones adicionales para cada polígono de abasto no es viable. La gran cantidad de información obtenida de las corridas de la simulación y de los experimentos presenta una alternativa que no requiere de inversión económica en la que se puede utilizar un segundo camión de abasto. En lugar de adquirir camiones adicionales, se recomienda a Kingo Energy optar por un despliegue del modelo de negocios Rhino de forma escalonada, utilizando un camión como comodín, apoyando durante el inicio del despliegue del modelo de negocios. Según los resultados de los experimentos, llega un punto en el modelo en el que deja de ser necesario el segundo camión para mantener el nivel de servicio satisfactorio, ya que ambos camiones salen a ruta con menos de la mitad de su capacidad alocada. No se recomienda modificar el tipo de camión a utilizar, incluso tomando en cuenta la mejora de nivel de servicio que incrementar el tamaño provee. Finalmente, la sensibilidad del modelo a un pico en la cantidad de órdenes es significativa y, por lo tanto, se recomienda desarrollar o adicionar a la plataforma de métricas e indicadores aquellos indicadores que permitan monitorear la cantidad de órdenes que van llegando constantemente. Para poder identificar un pico en órdenes previo a que se llegue a acumular una cola mayor a la capacidad del camión de abasto y poder tomar medidas correctivas ágilmente. Tener un camión de repuesto y trabajando como comodín solventaría este posible pico.

D. Recomendaciones y aplicaciones del modelo

El modelo simulado de Rhino no se limita a los cambios recomendados con relación al despliegue e inicio de la implementación del nuevo modelo de negocios. El fuerte enfoque en los datos, validez y realidad que se les aplica a los parámetros, variables y procesos de modelo lo convierte en una importante herramienta para la mejora continua y experimentación a futuro. El modelo evita la necesidad de levantar costosas pruebas piloto para hacer cambios en los procesos internos y, por medio de la parametrización, modificación o ajuste a los parámetros utilizados, es posible continuar haciendo experimentos y utilizando el modelo herramienta para la proyección y diseño de los proyectos a futuro.

El modelo simulado de Rhino se limita a la representación de la operación logística y validación de la utilización. Para darle un mayor nivel de realismo, así como de utilidad a futuro, se puede continuar agregándole diversos aspectos de la operación de la empresa, desde el modelado de los talleres y bodegas hasta la operación financiera del mismo. Agregando parámetros financieros al modelo, se puede trazar el movimiento de fondos desde los clientes y tiendas a los agentes de ventas o abasto; el costo operativo de la logística con alta granularidad, el costo de inventario y reparaciones de los talleres, etc.

XII. CONCLUSIONES

1. Utilizando la información histórica disponible y un profundo análisis y procesamiento de datos, fue posible obtener las variables de interés sobre el nivel de servicio que permiten comparar los resultados de la simulación y, por ende, del nuevo modelo de negocios Rhino contra el modelo actual, Phoenix. El resto de los parámetros necesarios para poder desarrollar una simulación realista y fundamentada en información histórica son calculados utilizando reportes existentes, así como métodos no convencionales para extraer de la data disponible la información requerida para la simulación.
2. Se desarrolló una simulación basada en parámetros y supuestos estocásticos que provee métricas de rendimiento, como el tiempo de entrega de una orden. Habilitando una mejor comprensión del modelo y brindando la capacidad de experimentar sobre este para reducir la incertidumbre de la implementación, así como optimizar aspectos y procesos del modelo Rhino que lleven a un mejor nivel de servicio para los usuarios de la compañía.
3. Se utilizó el método de correlación de Pearson para identificar la correlación entre las métricas obtenidas de corridas preliminares. Se analizaron los resultados de la matriz de momentos de Pearson para identificar métricas con un potencial efecto beneficioso en el *tiempo de entrega de la orden* y diseñar experimentos para validar dicho efecto y poder tomar decisiones acerca de la optimización del modelo Rhino.
4. Con base en los resultados obtenidos de la serie de experimentos número dos, se puede acertar que: con modificaciones temporales, es decir, la adición de un camión de abasto durante el tiempo de estabilización del modelo, hacer el cambio hacia el modelo de negocios Rhino resultará en una mejora, estadísticamente significativa en el nivel de servicio al usuario; el cual se observó como una reducción en el tiempo de entrega de solicitudes/órdenes así como un incremento en el porcentaje de solicitudes atendidas.
5. La implementación del método de simulación cumplió su objetivo al evitar la necesidad de realizar pruebas piloto, cuyo elevado costo, tanto actual como costo de oportunidad, y prolongado tiempo de ejecución redujeron la incertidumbre del cambio y optimizaron los procesos diseñados previo a realizar una inversión. Adicionalmente, y tomando en cuenta los paradigmas de desarrollo de la simulación, los ajustes al modelo pueden ser parametrizados en la simulación con facilidad, elevando la agilidad en el diseño.

XIII. RECOMENDACIONES

1. El diseño y desarrollo de una simulación es un proceso intensamente analítico y altamente consumidor de tiempo. Por lo que se recomienda al desarrollador conocer a profundidad los procesos, actores y entidades involucradas en lo que se desea modelar. Esto permite desarrollar un mapa de desarrollo y relaciones entre entidades que disminuyen la necesidad de hacer remodelar o repensar la estructura del modelo.
2. Cuando se desconoce algún parámetro, la solución nunca es asumirlo y perjudicar la fiabilidad del modelo. Se recomienda indagar y analizar la información disponible para buscar una alternativa o procesamiento que permita obtener el parámetro necesario o una serie de parámetros que lo reemplacen. Los datos contienen más información de lo esperado.
3. Evitar la introducción de datos manualmente en el modelo que disminuyen la reusabilidad de este y la capacidad de ajuste para la experimentación. Se recomienda parametrizar la mayor cantidad de valores posibles y desarrollar objetos personalizados para aquellas entidades que se utilizarán más de una vez. Esto permite ajustar el modelo en un solo lugar y ser más eficiente en la modificación y experimentación.
4. Definir el alcance y objetivos del modelo de manera precisa, acertada y honesta. Esto permite obtener resultados valiosos que no están sesgados y permiten que los objetivos de implementar métodos de simulación sean aprovechados. Un resultado sesgado no justifica el tiempo y esfuerzo invertido en la simulación.
5. Incrementar el nivel de realismo y utilidad de la simulación para poder entregar métricas e indicadores financieros que permitan tomar decisiones de alto nivel y con precisión. El presente trabajo y la simulación desarrollada se limitan al modelado de la operación y logística de la empresa. Dado que el modelo Rhino, por su naturaleza y diseño original, permite una reducción significativa en los costos operativos al disminuir considerablemente la fuerza laboral requerida, es fundamental validar este aspecto dentro del nuevo modelo de negocios.

XIV. REFERENCIAS

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., William, T. A., Camm, D. J., & Cochran, J. J. (2016). *Estadística para Negocios y Economía* (12a ed.). Mexico D.F.: Cengage.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Ingeniería Económica*. Mexico DF: McGraw Hill.
- Freidvalds, A., & Niebel, B. W. (2014). *Ingeniería Industrial de Niebel*. Mexico DF: McGraw Hill.
- Goldratt, E. M. (1990). *Theory of Constraints*. Great Barrington: The North River Press Publishing Corporation.
- Goldratt, E. M. (2009). *Isnt It Obvious?: A Business Novel on Retailing Using the Theory of Constraints*. Great Barrington, MA: The North River Press Publishing Corporation.
- Goldratt, E. M. (2014). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Great Barrington, MA: The North River Press Publishing Corporation.
- Harnish, V., & Gazelles Team. (2014). *Scaling Up: How a Few Companies Make It and Why the Rest Don't*. Gazelles.
- Huelsbeck, D. P., Merchant, K. A., & Sandino, T. (2011). ON TESTING BUSINESS MODELS. *The Accounting Review*, 1-11. Obtenido de <https://msbfile03.usc.edu/>
- International Encyclopedia of the Social Sciences. (s.f.). *Normal Distribution*. Obtenido de Encyclopedia.com: <https://www.encyclopedia.com/social-sciences/applied-and-social-sciences-magazines/distribution-normal>
- Knill, O. (2009). *Probability and Stochastic Processes with Applications*. New Delhi: Overseas Press.
- Kumar, R. (2016). Economic Order Quantity (EOQ) Model. *Global Journal of Finance and Economic Management*, 1-5.
- Llamas Fernández, F. J., & Fernández Rodríguez, J. C. (Marzo 2017). La metodología Lean Startup: desarrollo y aplicación para el emprendimiento. *Revista EAN*, 84,, 79-95.
- Meadows, D. H., & Wright, D. (2008). *Thinking in Systems - A Primer*. White River Junction: Sustainability Institute.
- Paltani, S. (2010-2011). *Monte Carlo Methods*. Geneva: ISDC Data Center for Astrophysics.
- Reed, M. (2022). *Pyhton Programming for Beginners*.
- Savage, S. L. (2012). *The Flaw of Averages: Why We Underestimate Risk in the Face of Uncertainty*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Universidad de las Palmas de Gran Canaria. (s.f.). *Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov-Smirnov*. Las Palmas, Gran Canaria: ULPGC.

Veloudis, S., Mark Ryan, Berliri, M., Alfonsi, A., & Declich, A. (2022). *Pilot Methodology*. European Union Horizon.

XV. ANEXOS

1. Nivel de servicio – Phoenix. Documento PDF del cuaderno Jupyter utilizado para la generación del nivel de servicio de Phoenix (modelo actual). Incluye los resultados y comentarios necesarios.
2. Tiempo de visita por tienda. Documento PDF del cuaderno de Jupyter utilizado para la generación del parámetro.
3. Mapas y análisis de geocercas. Folder ZIP del directorio principal del proyecto para el análisis de geocercas realizado en QGIS.
4. Selección de Ruta. Folder ZIP del directorio principal del proyecto de análisis de polígonos para la selección de rutas de abasto.
5. Edad de los Usuarios. Documento de Excel con el análisis de datos para calcular la edad de los usuarios.
6. Probabilidad de Fallo. Documento PDF con el cuaderno de Jupyter utilizado para el cálculo de la probabilidad de fallo con los resultados y comentarios.
7. Cantidad de tenderos y cantidad de órdenes. Documento PDF con el cuaderno de Jupyter utilizado para el cálculo de parámetros utilizados en la simulación Monter Carlo.
8. Simulación Monte Carlo – Validación de Rutas de Abasto. Documento PDF con el cuaderno de Jupyter desarrollado para la validación de los polígonos de abasto. Precaución al abrir debido al tamaño del archivo, los resultados de las iteraciones están incluidos.
9. Procesos tendero. Documento PDF con los flujogramas de procesos del tendero.
10. SIMIO - Documentation Report. Documento HTML de documentación de la simulación de SIMIO. Autogenerado por el software.
11. Modelo Rhino. Documento de Simio con la versión final del modelo desarrollado.
12. Análisis de resultados preliminares. Documento PDF con cuaderno de Jupyter utilizado para procesar los resultados preliminares.
13. Análisis de experimentos. Documento PDF con cuaderno de Jupyter utilizado para procesar los resultados de los experimentos.
14. Resultados Preliminares. Excel con análisis, tablas y graficas.
15. Resultados Experimento 1. Excel con análisis, tablas y graficas.
16. Resultados Experimento 2. Excel con análisis, tablas y graficas.
17. Comparaciones con Phoenix. Excel con la comparación de resultados con modelo Phoenix.
18. Repertorio completo de archivos utilizados para el proyecto.